



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

**GÜÇLENDİRİLMİŞ OKUL BİNALARININ DİNAMİK KARAKTERİSTİK
ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

ÜSTÜN ÜNLÜSOY

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Antakya/HATAY

TEMMUZ-2011

MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÜÇLENDİRİLMİŞ OKUL BİNALARININ DİNAMİK KARAKTERİSTİK
ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

ÜSTÜN ÜNLÜSOY
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Prof. Dr. Ali Osman ATAHAN ve Yrd. Doç. Dr. Selçuk KAÇIN danışmanlığında hazırlanan bu tez 06/07/2011 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Ali Osman ATAHAN
Başkan

Yrd. Doç. Dr. Cemal GENEŞ
Üye

Yrd. Doç. Dr. Serdar YILDIRIM
Üye

Bu tez Enstitümüz İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No:

Prof. Dr. Hüseyin GÖZÜBENLİ

Enstitü Müdürü

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.

Proje No: 110M371

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

ÖZET	III
ABSTRACT	IV
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	V
ÇİZELGELER DİZİNİ	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ	VIII
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM	10
3.1. Materyal	10
3.1.1. Titreşim Üretici	10
3.2. Yöntem	13
3.2.1. Deneyin Yapılışı	13
3.3. Bina Dinamik Parametrelerinin Belirlenmesi	14
3.3.1. Teorik Yöntemler	14
3.3.2. Deneysel Yöntemler	16
3.4. Modal Parametrelerin Elde Edilmesi	16
3.4.1. View2002 Paket Programı ile Dataların Analizi	16
3.4.1.1. Modal Frekansların Bulunması	18
3.4.1.2. Sönüm Oranlarının Bulunması	19
3.4.2. Matlab ile Ortam Titreşim Kayıtlarının Analizi	20
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	23
4.1. Güçlendirme Öncesi Malzeme Kabulleri	23
4.1.1. Güçlendirme Öncesi Model Kabulleri ve Özellikleri	23
4.2. İncelenen Binalar	23
4.2.1. Denizciler Lisesi	23
4.2.2. Hüseyin Özbuğday Lisesi	24
4.2.3. Antakya Ticaret Lisesi	24

4.3. Güçlendirme Öncesi Deneysel Ölçümler	25
4.3.1. Denizciler Lisesi Binasının Ölçümü	25
4.3.2. Hüseyin Özbuğday Lisesi Binasının Ölçümü	29
4.3.3. Antakya Ticaret Lisesi Binasının Ölçümü	33
4.4. Güçlendirme Çalışmaları	37
4.5. Güçlendirme Sonrası Malzeme Kabulleri	43
4.5.1. Güçlendirme Sonrası Model Kabulleri ve Özellikleri	43
4.6. Güçlendirme Sonrası Deneysel Ölçümler	45
4.6.1. Güçlendirme Sonrası Denizciler Lisesi Binasının Ölçümü	45
4.6.2. Güçlendirme Sonrası Hüseyin Özbuğday Lisesi Binasının Ölçümü	47
4.6.3. Güçlendirme Sonrası Antakya Ticaret Lisesi Binasının Ölçümü	51
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	59
5.1. Sonuç.....	59
5.2. Öneriler	60
KAYNAKLAR	62
TEŞEKKÜR.....	65
ÖZGEÇMİŞ	66

ÖZET**GÜÇLENDİRİLMİŞ OKUL BİNALARININ DİNAMİK KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLERİNİN TİTREŞİM DENEYLERİ İLE TESPİT EDİLMESİ**

Yapısal Analiz Teknolojisindeki hızlı gelişmeler, yapıların deprem etkisi altındaki dinamik davranışının analizini kolaylaştırmış bulunmaktadır. Yapıya kurulan titreşim üretici cihazlar ve izleme sistemleri kullanılması suretiyle yapılan deneysel incelemeler, artık analitik yöntemler kadar doğru sonuçlar vermektedir. Bu çalışma kapsamında güçlendirme uygulaması yapılan üç adet okul binasında güçlendirme öncesinde ve güçlendirme sonrasında zorlanmış titreşim deneyleri yapılmıştır. Güçlendirme öncesinde ilk deney Antakya Ticaret Lisesi binasında ikinci deney Antakya Hüseyin Özbuğday Lisesi binasında ve üçüncü deney İskenderun Denizciler Lisesi binasında yapılmıştır. Deney sırasında titreşimler bir titreşim üretici cihaz ile sağlanmıştır. Bu çalışmada deneyler için kullanılan titreşim cihazının nasıl yerleştirildiği ve kaydedilen verilerin nasıl analiz edildiği konusunda bilgiler verilmektedir. Mevcut durumu tespit etmek amacıyla yapılan titreşim deneylerinde titreşim üretici cihazdan ötürü harmonik yük etkisi altındaki binaların titreşim değerleri kayıt edilmiş; yapıların periyotları, sönüm oranları ve mod şekilleri hesaplanmıştır. Mantolama ve perde oluşturma şeklinde yapılan güçlendirme çalışmaları sonunda aynı deneyler tekrarlanmıştır. Ayrıca güçlendirme öncesi ve sonrası okul binaları ETABS paket programı ile modellenerek dinamik davranış karakteristikleri belirlenmiştir. Elde edilen bu sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu sonuçlara dayanılarak güçlendirme sonunda yapıların periyodunun, sönüm oranının ve mod şeklinin nasıl değiştiği belirlenmiştir. Böylece güçlendirmenin yapı davranışında ne gibi değişikliklere yol açtığı görülmüştür.

2011, 78 sayfa

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

ABSTRACT**DETERMINATION OF DYNAMIC CHARACTERISTICS OF
STRUCTURALLY STRENGTHENED BUILDINGS**

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 three structurally strengthened were evaluated before and after strengthening. These experiments were performed at Antakya Ticaret High School, Antakya Hüseyin Özbuğday High School and İskenderun Denizciler High School. 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 damping ratio and the mode shapes have been obtained. The same procedure was repeated after all the strengthening were done. The experimental results are then compared with the software based results obtained using ETABS. The effects of strengthening on the building performance was discussed.

2011, 78 pages

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

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A_0	Tepki Genliđi
B	Batı
C_t	Bina taşıyıcı sistemine bağlı olarak belirlenen bir katsayı
D	Doğu
E	Elastisite Modülü
f	Titreşim Frekansı, Doğal Frekans
f_1, f_2	Spektrum Genliğinin $A_0 / \sqrt{2}$ Kadar Azaldığı Yerlerdeki Frekanslar
f_0	Yapının doğal frekansı
$\{f(t)\}$	Kuvvet vektörü
G	Güney
H_n	Bina toplam yüksekliği
K	Kuzey
$[M], [K]$	Kütle ve rijitlik matrisleri
m	Yapının Kütleli
T	Periyot
t	Zaman
$\{\ddot{x}(t)\}$	İvme vektörü
$\{x(t)\}$	Yerdeğiştirme vektörü
ζ	Sönüm Oranı
ω	Titreşim Frekansı

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1. Yük Kombinasyonları için Maksimum Frekanslar (Hz)	13
Çizelge 4.1. Denizciler Lisesi binasının doğal titreşim frekansları	28
Çizelge 4.2. Denizciler Lisesi binasının doğal titreşim frekansları ve modal sönüm oranları	28
Çizelge 4.3. Güçlendirme Öncesi Denizciler Lisesi binasının ETABS programı ile elde edilen periyot değerleri	28
Çizelge 4.4. Hüseyin Özbuğday Lisesi binasının doğal titreşim frekansları	32
Çizelge 4.5. Hüseyin Özbuğday Lisesi binasının doğal titreşim frekansları ve modal sönüm oranları.....	32
Çizelge 4.6. Güçlendirme Öncesi Hüseyin Özbuğday Lisesi binasının ETABS programı ile elde edilen periyot değerleri.....	32
Çizelge 4.7. Antakya Ticaret Lisesi Lisesi binasının doğal titreşim frekansları	36
Çizelge 4.8. Antakya Ticaret Lisesi binasının doğal titreşim frekansları ve modal sönüm oranları	36
Çizelge 4.9. Güçlendirme Öncesi Antakya Ticaret Lisesi binasının ETABS programı ile elde edilen periyot değerleri.....	36
Çizelge 4.10. Güçlendirme Sonrası Denizciler Lisesi binasının doğal titreşim frekansları	45
Çizelge 4.11. Güçlendirme Sonrası Denizciler Lisesi binasının doğal titreşim frekansları ve modal sönüm oranları.....	46
Çizelge 4.12. Güçlendirme Sonrası Denizciler Lisesi binasının ETABS programı ile elde edilen periyot değerleri.....	46
Çizelge 4.13. Güçlendirme Sonrası Hüseyin Özbuğday Lisesi binasının doğal titreşim frekansları.....	49
Çizelge 4.14. Güçlendirme Sonrası Hüseyin Özbuğday Lisesi binasının doğal titreşim frekansları ve modal sönüm oranları	49
Çizelge 4.15. Güçlendirme Sonrası Hüseyin Özbuğday Lisesi binasının ETABS programı ile elde edilen periyot değerleri	49
Çizelge 4.16. Güçlendirme Sonrası Antakya Ticaret Lisesi binasının doğal titreşim frekansları.....	52

Çizelge 4.17. Güçlendirme Sonrası Antakya Ticaret Lisesi binasının doğal titreşim frekansları ve modal sönüm oranları.....	53
Çizelge 4.18. Güçlendirme Sonrası Antakya Ticaret Lisesi binasının ETABS programı ile elde edilen periyot değerleri.....	53
Çizelge 4.19. Güçlendirme öncesi ve sonrası Denizciler Lisesi için VIEW 2002 programından elde edilen doğal titreşim frekansları.....	54
Çizelge 4.20. Güçlendirme öncesi ve sonrası Denizciler Lisesi için elde edilen doğal titreşim frekansları	55
Çizelge 4.21. Güçlendirme öncesi ve sonrası Denizciler Lisesi için elde edilen modal sönüm oranları.....	55
Çizelge 4.22. Güçlendirme öncesi ve sonrası Hüseyin Özbuğday Lisesi için VIEW 2002 programından elde edilen doğal titreşim frekansları	56
Çizelge 4.23. Güçlendirme öncesi ve sonrası Hüseyin Özbuğday Lisesi için elde edilen doğal titreşim frekansları.....	56
Çizelge 4.24. Güçlendirme öncesi ve sonrası Hüseyin Özbuğday Lisesi için elde edilen modal sönüm oranları.....	56
Çizelge 4.25. Güçlendirme öncesi ve sonrası Antakya Ticaret Lisesi için VIEW 2002 programından elde edilen doğal titreşim frekansları.....	57
Çizelge 4.26. Güçlendirme öncesi ve sonrası Antakya Ticaret Lisesi için elde edilen doğal titreşim frekansları.....	57
Çizelge 4.27. Güçlendirme öncesi ve sonrası Antakya Ticaret Lisesi için elde edilen modal sönüm oranları.....	58

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1. Titreşim üreticinin karşıdan görüntüleri	11
Şekil 3.2. Ağırlıkların sarsma kollarına yerleştirilmesi	11
Şekil 3.3. Titreşim üretici ve kontrol ünitesi.....	12
Şekil 3.4. Maksimum hız ve hakim frekans değerleri.....	17
Şekil 3.5. Sensörün x yönündeki maksimum hız ve hakim frekans değerleri	18
Şekil 3.6. Fourier dönüşüm ile elde edilen frekansa bağlı genlik spektrumu	19
Şekil 3.7. Modal sönüm oranının hesaplanması.....	20
Şekil 3.8. Stabilization diagramı	21
Şekil 3.9. Açılan figure penceresi ve ekrana basılan frekans değerleri	22
Şekil 4.1. Denizciler Lisesi binasının görünüşleri	24
Şekil 4.2. Hüseyin Özbuğday Lisesi binasının farklı yönlerden görünüşleri.....	24
Şekil 4.3. Ticaret Lisesi binasının farklı yönlerden görünüşleri	25
Şekil 4.4. Denizciler Lisesi binasında titreşim üretici ve sensör yerleşim düzeni	25
Şekil 4.5. Denizciler Lisesi binasının ölçümünde kullanılan titreşim üretici	26
Şekil 4.6. Denizciler Lisesi binasının ölçümünde kullanılan sensörler	26
Şekil 4.7. Ölçümde kullanılan ana kayıt ünitesi (NCC).....	26
Şekil 4.8. Denizciler Lisesi binasının ETABS Modeli	27
Şekil 4.9. Denizciler Lisesi binasının ETABS Modelinden elde edilen mod şekilleri.....	29
Şekil 4.10. Hüseyin Özbuğday Lisesi binasında titreşim üretici ve sensör yerleşim düzeni	30
Şekil 4.11. Hüseyin Özbuğday Lisesi binasının ölçümünde kullanılan titreşim üretici.....	30
Şekil 4.12. Hüseyin Özbuğday Lisesi binasının ölçümünde kullanılan sensörler	31
Şekil 4.13. Hüseyin Özbuğday Lisesi binasının ETABS Modeli	31
Şekil 4.14. Hüseyin Özbuğday Lisesi binasının ETABS Modelinden elde edilen mod şekilleri.....	33
Şekil 4.15. Antakya Ticaret Lisesi binasında titreşim üretici ve sensör yerleşim düzeni	34

Şekil 4.16. Antakya Ticaret Lisesi binasının ölçümünde kullanılan titreşim üretici .	34
Şekil 4.17. Antakya Ticaret Lisesi binasının ölçümünde kullanılan sensörler	35
Şekil 4.18. Antakya Ticaret Lisesi binasının ETABS Modeli	35
Şekil 4.19. Antakya Ticaret Lisesi binasının ETABS Modelinden elde edilen mod şekilleri.....	37
Şekil 4.20. Denizciler Lisesi binasında güçlendirme çalışmaları	38
Şekil 4.21. Güçlendirme Sonrası Denizciler Lisesi binasının görünüşleri.....	38
Şekil 4.22. Güçlendirme Öncesi Denizciler Lisesi binasının kat planı.....	38
Şekil 4.23. Güçlendirme Sonrası Denizciler Lisesi binasının kat planı.....	39
Şekil 4.24. Güçlendirme Sonrası Hüseyin Özbuğday Lisesi binasının farklı yönlerden görünüşleri	39
Şekil 4.25. Güçlendirme Öncesi Hüseyin Özbuğday Lisesi binasının kat planı.....	40
Şekil 4.26. Güçlendirme Sonrası Hüseyin Özbuğday Lisesi binasının kat planı.....	40
Şekil 4.27. Ticaret Lisesi binasının güçlendirme aşamaları.....	41
Şekil 4.28. Güçlendirme Sonrası Ticaret Lisesi binasının farklı yönlerden görünüşleri	42
Şekil 4.29. Güçlendirme Öncesi Ticaret Lisesi binasının kat planı	42
Şekil 4.30. Güçlendirme Sonrası Ticaret Lisesi binasının kat planı	42
Şekil 4.31. Kolonda mantolama işlemi ve eski elemanın beton özelliklerinin düşürülmesi-ETABS Modeli	43
Şekil 4.32. Kolonda mantolama işlemi ve güçlendirmede kullanılan yeni beton sınıfı-ETABS Modeli.....	44
Şekil 4.33. Perde elemanda püskürtme beton uygulaması-ETABS Modeli	44
Şekil 4.34. Güçlendirme Sonrası Denizciler Lisesi binasının ETABS Modeli	45
Şekil 4.35. Güçlendirme Sonrası Denizciler Lisesi binasının ETABS Modelinden elde edilen mod şekilleri.....	47
Şekil 4.36. Güçlendirme Sonrası Hüseyin Özbuğday Lisesi binasının ölçümünde kullanılan titreşim üretici	47
Şekil 4.37. Güçlendirme Sonrası Hüseyin Özbuğday Lisesi binasının ölçümünde kullanılan sensörler	48
Şekil 4.38. Güçlendirme Sonrası Hüseyin Özbuğday Lisesi binasının ETABS Modeli.	48

Şekil 4.39. Güçlendirme Sonrası Hüseyin Özbuğday Lisesi binasının ETABS Modelinden elde edilen mod şekilleri	50
Şekil 4.40. Güçlendirme Sonrası Antakya Ticaret Lisesi binasının ölçümünde kullanılan titreşim üretici	51
Şekil 4.41. Güçlendirme Sonrası Antakya Ticaret Lisesi binasının ölçümünde kullanılan sensörler	51
Şekil 4.42. Güçlendirme Sonrası Antakya Ticaret Lisesi binasının ETABS Modeli	52
Şekil 4.43. Güçlendirme Sonrası Antakya Ticaret Lisesi binasının ETABS Modelinden elde edilen mod şekilleri	54

1. GİRİŞ

Yapıların dinamik yükler etkisindeki davranışları birçok belirsizliği içermektedir. Dinamik yüklerdeki belirsizliklerin yanı sıra dinamik davranışı etkileyen parametrelerdeki belirsizlikler, yapı dinamik davranışının gerçekçi olarak belirlenmesini zorlaştırmaktadır. Dinamik karakteristikler olarak adlandırılan doğal frekans, mod şekli ve sönüm oranının mevcut yapının özelliklerini yansıtacak şekilde deneysel yöntemler ile belirlenebilmesi, yapı dinamik davranışının daha gerçekçi elde edilmesine imkan sağlamaktadır.

Yapı dinamik karakteristikleri, oluşturulan analitik modellerin doğruluğunun kontrolü ve yapıya etkiyecek deprem kuvvetlerinin hesaplanmasında kullanılmaktadır. Yapının birinci periyot değerine bağlı olarak basitleştirilmiş yaklaşımlar kullanılarak dinamik analizler de yapılmaktadır. Ayrıca yapının modal davranışına bakılarak rijitlik dağılımı ve burulma düzensizliği olup olmadığı hakkında fikir sahibi olunabilmektedir. Bu nedenlerden dolayı dinamik karakteristiklerin yapılar üzerinde titreşim testleri yapılmak suretiyle gerçekçi olarak belirlenmesi oldukça önemlidir.

Geçmiş demiryolu raylarındaki hasarların çekiç darbeleriyle oluşturulan titreşimlerin dinlenilerek belirlenmesine dayalı olan deneysel modal analiz yöntemi, günümüzde yapıların dinamik karakteristiklerinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan bir yöntem haline gelmiştir. Bu yöntemin esası, yapıya uygulanan bir etki altında yapının göstermiş olduğu tepkilerin ölçülmesine dayanmaktadır. Ölçülen etki ve tepki sinyalleri arasında tanımlanan fonksiyon her bir yapı için karakteristik özellikte olan dinamik parametreleri içermektedir. Bu yöntem makine parçalarının titreşim analizleri, uçaklardaki titreşim problemlerinin belirlenmesi, yapı dinamik karakteristiklerinin belirlenmesi gibi birçok mühendislik alanında yaygın olarak kullanılmaktadır [Bayraktar, A., 2010]. Daha az olarak kullanılan yöntem olan zorlanmış titreşim testi 1935 yılında Stanford Üniversitesi'nde Blume ve Jacobsen tarafından geliştirilen titreşim üretici ile başladığı kabul edilmektedir. Bu yöntemde yapıya uygulanan bir harmonik yük altında yapının göstermiş olduğu tepkiler ölçülmektedir [Çelik, C.O., 2002].

Bu tezde, mantolama ve perde oluşturma suretiyle depreme dayanıklı hale getirilmek istenen betonarme okul binalarının dinamik parametreleri güçlendirme öncesi ve güçlendirme sonrasında zorlanmış titreşim testi yöntemiyle belirlenmiştir. Ölçümler Hatay İlinde bulunan Denizciler Lisesi, Hüseyin zbuđday Lisesi ve Antakya Ticaret Lisesi Binaları üzerinde gerçekleştirilmiştir. Okul binaları ETABS paket programı ile modellenerek doğal frekanslar ve mod şekilleri elde edilmiştir. Ölçülen ve elde edilen değerler karşılaştırılmıştır. Yapının dinamik karakteristiklerinde ne gibi değişiklikler olduğu belirlenmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Titreşim deneyleri ilk olarak 1967 yılında California Üniversitesi Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi (Earthquake Engineering Research Center (EERC)) tarafından yapılmıştır. Araştırmacılar bu deneyde McKinley okul binalarını seçmişlerdir. Okul binaları 6 adet olup genelinde ahşaptan inşa edilse de birleşimlerinde çeliğin kullanılmış olduğu yapılardır. Bu binalar California'daki tek katlı okul binalarının tipik örneklerini teşkil etmektedir. Titreşim üretici ile yapılan deneyden sonra yapıların üç modu hesaplanmıştır. Enine ve boyuna doğrultuda modların frekansları sırası ile 7 Hz ve 10 Hz, ortak sönüm oranları %3-%4 arasında değişmektedir. 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].

22 katlı çelik bina üzerinde zorlanmış ve çevresel titreşim deneyleri yapılarak, iki deney sonuçları arasında uyum olduğu kanaatine varılmıştır [Jennings ve arkadaşları, 1971].

1972 yılında EERC bu titreşim testini Transamerica binası 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 53m-53m kare şeklinde plana sahiptir. Yapının üçüncü mod hariç ilk altı mod ile birlikte iki burulma modu da dahil olmak üzere bina doğu batı ve kuzey güney yönlerinde titreşime maruz bırakılmıştır. Yapının doğal titreşim periyodu 2.9 sn olarak hesaplanmış ve ortak sönüm %1 olarak belirlenmiştir. Bu deneysel sonuçlar daha sonra analiz sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Analiz için yapının dörtte biri modellenmiş ve çeşitli parametreler değiştirilmiştir. İlk iki mod için deney ve analizden elde edilen doğal frekansların ve bu frekanslara karşılık gelen mod şekillerinin oldukça yakın olduğu görülmüştür [Stephen, R. M., Hollings, J. P., and Bouwkamp, J. G., 1973].

EERC araştırmacıları tarafından 1977'nin Nisan ve Mayıs aylarında Seattle/Washington'daki Rainer Tower binasında titreşim testi uygulanmıştır. Yapı katlarından kırk tanesi giriş seviyesinin yukarısında ve ikisi zemin üst seviyesinin

altındadır. Yapının toplam yüksekliği giriş seviyesinden itibaren 157 m'dir. Yapının temelden itibaren 12.katının yukarısında, 30 kat boyunca çelik çerçeve yükselmektedir. Temel titreşim periyodu 4.44 sn olarak belirlenmiştir. K-G doğrultusunda birinci mod hariç sönüm kapasitesi %1-%3 arasındadır. Analiz için yapının dörtte biri modellenmiş ve çeşitli parametreler değiştirilmiştir. Analiz sonuçları ile deney sonuçlarının birebir uyumlu olduğu görülmüştür [Stephen, R. M., Wilson, E. L., Bouwkamp, J. G., and Button, M., 1978].

Türkiyede ise zorlanmış titreşim testleri 70'li yılların ortasında başlamıştır. 4 Ekim 1976 kurulan 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 araştırmaya başlamış ve sonuçlarını 1976 Türkiye Deprem Yönetmeliğine (TDY) yansıtmıştır [Çelebi, M., Erdik, M., Yüzügüllü, Ö., Gülkan, P., Gürpınar, A., Yüçemen, S., Bayülke, N., 1977].

Bu merkez zorlanmış titreşim testlerinin ilkinin 1976' da ODTÜ'nün Merkez Mühendislik binasında gerçekleştirmiştir. Bu yapı betonarme olup toplam yüksekliği 41.55 m ve plan boyutları 7.20 m–15.96 m'dir. Yapıda perde duvarlar mevcuttur. Döşeme sistemi betonarme kaset döşeme ve temel sistemi radye temel tipindedir. Yapı elemanları yapının dördüncü katında yandaki binadan genişleme derzi ile ayrılmıştır. Test sırasında titreşim üretici döşemeye ankrajlanmıştır. Sonuç olarak zemin-yapı etkileşimi görülmemiştir. Elde edilen temel periyot 0.82 sn' dir. Birinci modal sönüm oranının %1.5 ile %1.7 arasında olduğu tahmin edilmiştir. Yapı rijitlik merkezinden sallandığı halde büyük ölçekli burulma deformasyonu gözlenmiştir. Bu durumda yapının %25 eksantrisitesinin olduğu sonucuna varılmıştır [Çelebi, M., Erdik, M., Yüzügüllü, Ö., Gülkan, P., Gürpınar, A., Yüçemen, S., Bayülke, N.,1977, Atalay, B., Çelebi, M., Erdik, M., Gülkan, P., Yılmaz, Ç., and Yüzügüllü, Ö., 1981].

Aynı merkez tarafından ikinci test 1976 yılında hükümet binası olan Maliye Bakanlığı ve Maliye Okulu Kompleksi'nin M bloğu'nda gerçekleştirilmiştir. Yedi katlı betonarme ve dolgu duvarlı bir bina olarak tasarlanmış olan yapı test yapıldığı sırada henüz tamamlanmamıştır. Yapının altıncı katı yeni bitmiş ama dolgu duvarları yapılmamıştır. Yapı 20.40 m yüksekliğinde ve plan ölçüleri 15.26 m–48.30 m' dir.

Döşeme sistemi çift doğrultulu plak döşeme ve temel sistemi ikiz temel ve sürekli temelden oluşmaktadır. Birinci ve ikinci modlar için doğal frekanslar sırasıyla 2.60 Hz yanal ve 3.04 Hz burulma olarak elde edilmiştir. Temel sistemi rijit yerine esnek alındığı zaman serbest titreşim analizi tutarlı sonuçlar vermiştir. Bu modlar için modal sönüm oranları tahmini olarak %2 ve %2.5 arasındadır. Ayrıca yapının mod şekilleri de belirlenmiştir. Zemin-yapı etkileşimi etkisi de görülmüştür. Ambient titreşimler yapının 6. katında rijitlik merkezindeki cihaz tarafından kısa yönü boyunca kaydedilmiştir. Bu kayıtların Güç spektrumu analizi ilk modal frekansı 2.6 Hz ve ikinci modal frekansı 8.3 Hz olarak göstermiştir. [Atalay, B., Çelebi, M., Erdik, M., Gülkan, P., Yılmaz, Ç., and Yüzügüllü, Ö., 1981, Çelebi, M., Erdik, M., and Yüzügüllü, Ö., 1977].

Daha sonra 14 katlı betonarme, tünel kalıp sistemi kullanılmış bir yapı olan TÜRKİŞ Apartman Kompleksleri (1977) test edilmiştir. Yapı 44.1 m yüksekliğinde ve plan ölçüleri 19,08 m–20,86 m ‘dir. Döşeme sistemi çift doğrultulu betonarme döşeme ve temel sistemi radye temel tipidir. Öndökümlü levhalar monte edilmiş ve edilmemiş iki apartman test edilmiştir. Ön prefabrik panel monte edilmiş ve edilmemiş iki apartman 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 çerçevesinde levhaların sönüm oranına tesir ettiği ancak doğal titreşim frekansında önemli olmadığı sonucuna varılmıştır. Zemin-yapı etkileşimi gözlenmiştir. Ayrıca temel bina ile yapı ekleri arasındaki dilatasyon derzi bağıl harekete izin vermemektedir [Atalay, B., Çelebi, M., Erdik, M., Gülkan, P., Yılmaz, Ç., and Yüzügüllü, Ö., 1981, Çelebi, M., Erdik, M., and Yüzügüllü, Ö., 1977].

Test edilen diğer bir bina Kirazlıdere'deki Kara Harp Okulunun A-Blok yatakhane binasıdır (Ankara 1977). Bina sekiz katlı tuğla dolgu duvarlı betonarme bir yapıdır. 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 dilatasyon derzi vardır. Zemin-yapı etkileşiminin dinamik davranışı etkilediği tespit edilmiştir. İlk iki yanal burulma frekansı 2.07 Hz ve 2.12 Hz olarak hesaplandı. Üçüncü mod 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. Önceki testlere benzer şekilde dilatasyon derzi istenildiği gibi çalışmamış burulma hareketine

yol açmıştır bu binada da iyi işlev vermedi [Atalay, B., Çelebi, M., Erdik, M., Gülkan, P., Yılmaz, Ç., and Yüzügüllü, Ö., 1981, Erdik, M., Yüzügüllü, Ö., and Atalay, B., 1978].

Diğer test Sincan-Yenikent Konut Kompleksi'nde düşük maliyetli apartmanlarda yapılmıştır. Bu binalar altı katlı dolgu duvarlı betonarme yapılarıdır. Yüksekliği 16.10 m ve plan ölçüleri 20 m–11 m' dir. Bunların döşeme sistemi betonarme ve temel sistemi iki yönlü ikiz temeldir. Temel malzemesinin yapıların tepkisi üzerindeki etkisini belirlemek için farklı zemin koşullarında bulunan iki özdeş binada test yapılmıştır. Sismik kırılma yöntemiyle kesme modülleri zemin-A ve zemin-B için sırasıyla; 2.3×10^4 t/m² ve 4.2×10^4 t/m² olarak hesaplanmıştır. Yapı-A için hesaplanan birinci modal frekans 3.39 Hz ve yapı-B için 3.25 Hz'dir. Zemin yapısı da göz önünde bulundurulduğunda 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., and 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 ikiz ve tekil temelden oluşmuştur. İki blok dilatasyon derzi ile bitişiktir ve ayrı olarak sallanmıştır. Her ikisi de aynı davranışı göstermiştir. Zemin-yapı etkileşimi sınırlı ölçüde izlenmiştir. Hesaplanan ilk iki modal frekans 2.36 Hz ve 2.58 Hz' dir. Bu modlar için hesaplanan sönüm oranları sırasıyla 1.7–2.1% ve 3.0–4.0%'tür. İkinci mod baskın burulma modudur. Genel olarak burulma hareketleri bina boyunca bölme duvarlarındaki asimetri nedeniyle oluşmuştur [Atalay, B., Çelebi, M., Erdik, M., Gülkan, P., Yılmaz, Ç., and Yüzügüllü, Ö., 1981].

Beş aşamada Kapried Hall binaları üzerinde deney yapılmıştır(4 çevresel ve 1 zorlanmış deney). 1. ve 2. deney arasında 1994 Northrich depremi meydana gelmiş ve binanın özellikleri değişmiş, ama diğer deneylerin sonuçları arasında uyum olduğu ortaya çıkmıştır [Ivanoviç ve Trifunac, 2000].

39 katlı bir bina üzerinde incelemelerde bulunarak, rüzgar, hafif deprem, zorlanmış ve çevresel titreşim deneyler sonuçları arasında benzerlik olduğunu ifade etmiştir [Trifunac, 1970].

Ayrıca zorlanmış titreşim deneylerinde yaygın olarak kullanılan veri analizi yöntemi olan FFT metoduna alternatif Maksimum Entropi Metodu da kullanılmıştır. Bu iki metod arasındaki karşılaştırmalar, yapılardaki zorlanmış titreşim testlerinden elde edilen sonuçlar ile yapılmıştır [Cao, H., Ellis, B.R., Littler, J.D., 1977].

İki depremde Millikan Library binasının periyot değişimi, rijitliğe bağlı olarak ifade edilmiştir [Chopra, 1995].

Binaların periyot ve sönüm oranının, titreşim genliğine göre değişimi araştırılmıştır [Çelebi ve arkadaşları, 1996].

Binaların farklı titreşimlere karşı davranışını inceleyerek, aralarında bağ kurmaya çalışmıştır [Razegi, 2005].

Yapılan çalışmalar sadece betonarme binalar ve çok katlı çelik binalarla sınırlı kalmamış ahşap çerçeve yapılar da denenmiştir. Ellis, B.R., ve Bougard, A.J., 2001 Bu çalışmada altı katlı ahşap çerçeve 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 kullanılacak en uygun yöntem olmasıdır. Diğer yöntem de zorlanmış titreşim testidir. Bu yöntemde bilindiği gibi yapıya ölçüm cihazları yerleştirilmiştir. Verilen harmonik titreşimler sonrasında yapının karakteristik özellikleri(hakim frekans, mod şekli, sönüm oranı) belirlenmiştir. 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 kagir (taş ve tuğladan) yapıların dinamik karakteristik özelliklerinin 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 ölçüm cihazları yerleştirilmişlerdir. Imbudo tayfunu ve Dujan tayfununun bu yapılar üzerindeki etkisi incelenmiştir. Doğal frekansları ve burulma frekansları ampirik, sayısal ve deneysel olarak belirlenmiştir. Bu belirlenen frekanslar birbiri ile karşılaştırılmış ve deney sonucunun 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 önemli 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 [Şafak, E., and Çelebi, M., 1990].

Yapıların dinamik özellikleri belirlenirken kullanılan titreşim kayıtları yapı-zemin etkileşiminin bulunmasında da önemlidir. Elde edilen kayıtlar analiz edildikten sonra yapının modal karakteristikleri (periyotlar, mod şekilleri, sönüm oranları), yapıdaki burulma ve salınım titreşimlerinin genlik ve periyotları, ve yapıda yapı-zemin etkileşiminin olup olmadığı ve varsa mertebesi kolaylıkla tayin edilebilir [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 ($M_w=7.9$) depremleri kullanılarak belirlenen karakteristik özellikler karşılaştırılmıştır [Kohler, M.D., Davis, M.P., and Şafak, E., 2005].

10 Temmuz 2002'de Millikan Kütüphanesine zorlanmış titreşim testi uygulanmıştır. Yapının en üst katına yerleştirilen titreşim üretici ile K-G ve D-B doğrultuları olmak üzere iki yönde 1 Hz ile 9.7 Hz arasında titreşimler verilmiştir. Doğal frekaslar şu şekilde bulunmuştur, 1.14 Hz (D-B), 1.67 (K-G), 2.38Hz (burulma). Sönüm kapasiteleri D-B doğrultusunda 2.28%, K-G doğrultusunda 2.39% olarak hesaplanmıştır [Bradford, S. C., Clinton, J.F., Favela, J., and Heaton, T. H., 2004].

106M420 Tübitak projesi kapsamında, Antakya'nın deprem master planı hazırlıkları çerçevesinde, ODTÜ'den getirilen büyük bir titreşim üretici cihaz ile 3 adet binada zorlanmış titreşim testleri yapılmıştır. Bu testlerin sonuçları ile binaların periyot, mod şekilleri ve sönüm oranları hesaplanmıştır [Genes, M.C., Bikce, M., Kacin, S., Akyuz, U., Gülkan, P., Abrahamczyk, L., Schwarz, J., 2008].

107M445 Nolu Tübitak-BMBF kuruluşları arasındaki işbirliği çerçevesinde yürütülen uluslararası proje kapsamında Antakya'daki betonarme binaların genel dinamik karakteristik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yaklaşık 15 binada zorlanmış titreşim deneyleri yapılmıştır [107M445 Nolu Tübitak projesi sonuç raporu].

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1 Titreşim Üretici

Bu çalışmada kullanılan 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 özelliklerinden bahsedecek olursak, bu cihazın genişliği 500 mm, uzunluğu 800 mm, yüksekliği 550 mm'dir. 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 görüntüleri Şekil 3.1'de verilmiştir.





Şekil 3.1. Titreşim üreticinin karşıdan görüntüleri

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 3.2'de gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Ağırlıkların sarsma kollarına yerleştirilmesi

Titreşim üreticinin frekansı kontrol ünitesindeki frekans göstergesinden çok hassas bir şekilde ayarlanabilmektedir. Şekil 3.3'de titreşim üretici ve kontrol ünitesi görülmektedir. Çizelge 3.1'de verilen frekanslara karşılık gelen Hz değerlerine göre

istenilen frekansta ölçümler yapılabilmektedir. Frekanslara karşılık gelen Hz değerleri titreşim üreticiye bağlanan bir voltmetre ile takip edilmektedir.



Şekil 3.3. 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 eksenini doğrultusunda güvenlik nedeniyle kimse bulunmamalıdır.
- Kayıtlar istenilen dönme sayısına ulaşıldıktan sonra yapılmalıdır.

Çizelge 3.1. 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

Binalar üzerindeki ölçümler titreşim testi yöntemiyle yapılmıştır. Ölçümlerde Mustafa Kemal Üniversitesi tarafından 107M445 numaralı TÜBİTAK projesinden satın alınan portatif bir titreşim üretici kullanılmıştır. Titreşim üretici yapının en üst katına, ağırlık merkezine yakın ve uygun bir noktaya monte edilmiştir. Ölçümlerde binaların titreşimlerini ölçmek amacıyla çift eksenli sensörler kullanılmıştır. Sensörler bir adet yapının giriş katında orta noktada (titreşim üretici ile aynı aksta), iki adet

titreşim üreticinin bulunduğu katta çapraz köşelerde, ikişer adette en üst kattaki sensörler ile aynı aksta olacak şekilde orta katlara yerleştirilmiştir. Bütün bağlantılar tamamlandıktan sonra öncelikle titreşim üretici cihazın yük frekansı, yaklaşık 2 dakika içerisinde hızlıca değiştirilerek kayıt alınmıştır. Bu kaydın Fourier dönüşümünün incelenmesi sonucu bina periyodunun yaklaşık olarak bulunduğu aralık tespit edilmiştir. Bu aralıkta frekansın artım adımları oldukça küçültülerek, sisteme en küçük frekanstan en yüksek frekansa yük uygulanmış ve ölçüm yapılmıştır. Binalardaki ölçümlerde kullanılan sensörler SYSCOM şirketinden alınmıştır. Ölçümlerden alınan titreşim sinyalleri kayıt üniteleri aracılığıyla taşınabilir bilgisayara aktarılmıştır.

3.3. Bina Dinamik Parametrelerinin Belirlenmesi

3.3.1. Teorik Yöntemler

Binaların dinamik parametreleri analitik modeller ya da yaklaşık yöntemler kullanılarak belirlenebilmektedir. Analitik modelleme amacıyla kullanılan birçok program mevcuttur. Ayrıca birçok yapı standardında yapıların birinci frekans değerinin belirlenmesine yönelik yaklaşık bağıntılar mevcuttur.

Standartlarda tanımlanan kurallara göre inşa edilen binalar için birinci periyot değeri bina boyutlarına bağlı olarak tanımlanabilmektedir. Bu yaklaşık bağıntılardan Türk Deprem Yönetmeliği'nde bodrum kat hariç kat sayısının 13'ten az olduğu binalarda birinci doğal periyodun $0.1 \cdot \text{kat sayısını}$ değerinden daha büyük olamayacağı belirtilmektedir. Periyot için diğer bir bağıntı, bina türü ve toplam yüksekliğe bağlı olarak aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır.

$$T=C_t(H_n)^{3/4} \quad (4.1)$$

Burada, C_t bina taşıyıcı sistemine bağlı olarak belirlenen bir katsayıyı ve H_n bina toplam yüksekliğini göstermektedir. Bu katsayı, çelik çerçeve sistemlerde 0.08-0.085,

betonarme çerçeve ya da dışmerkez çaprazlı çelik perdelerden oluşan binalarda 0.07-0.073, diğer tür binaların için ise 0.05 olarak alınabilmektedir.

Binaların doğal frekansları analitik modeller oluşturulmak suretiyle de belirlenebilmektedir. Analitik modelleme sayesinde hem doğal frekanslar hem de mod şekilleri elde edilebilmekte ve binanın dinamik davranışı hakkında fikir sahibi olunabilmektedir. Standartlara göre inşa edilmiş düzgün geometriye sahip binalarda modal davranışın, birinci ve ikinci modda bina rijitliğine bağlı olarak enine ve boyuna doğrultuda öteleme ve üçüncü modda ise burulma olması beklenilmektedir.

Çok serbestlik dereceli bir sisteme ait hareket denkleminin çözümünden doğal frekanslar ve mod şekilleri elde edilmektedir. Çok serbestlik dereceli sönümsüz bir sistem için hareket denklemi,

$$[M]\{\ddot{x}(t)\}+[K]\{x(t)\}=\{f(t)\} \quad (4.2)$$

şeklinde verilmektedir. Burada $[M]$ ve $[K]$ kütle ve rijitlik matrislerini, $\{\ddot{x}(t)\}$, $\{x(t)\}$ ve $\{f(t)\}$ sırasıyla ivme, yerdeğiştirme ve kuvvet vektörlerini göstermektedir. Yapının serbest titreşim yaptığı düşünüldüğünde hareket denklemi,

$$[M]\{\ddot{x}(t)\}+[K]\{x(t)\}=\{0\} \quad (4.3)$$

halini almaktadır. Bu denklemden yapıya ait özdeğer denklemi,

$$\det[[K]-\omega^2[m]]=0 \quad (4.4)$$

olarak elde edilmektedir. Bu denklemin çözümünden serbestlik derecesi kadar sönümsüz doğal frekans elde edilmektedir. Her bir doğal frekansa karşılık yapının almış olduğu şekil, mod şekli olarak tanımlanmaktadır [Bayraktar, A., 2010].

3.3.2. Deneysel Yöntemler

Yapılar üzerinde titreşimlerden oluşan tepkilerin ölçülmesi ve ölçüm verilerinden yapı dinamik parametrelerinin belirlenmesi amacıyla kullanılan yöntemler deneysel modal analiz yöntemleri olarak bilinmektedir. Bu yöntemlerde yapılar ya bilinen bir kuvvetle titreştirilmekte ya da çevresel titreşimler dikkate alınarak ölçümler yapılabilmektedir.

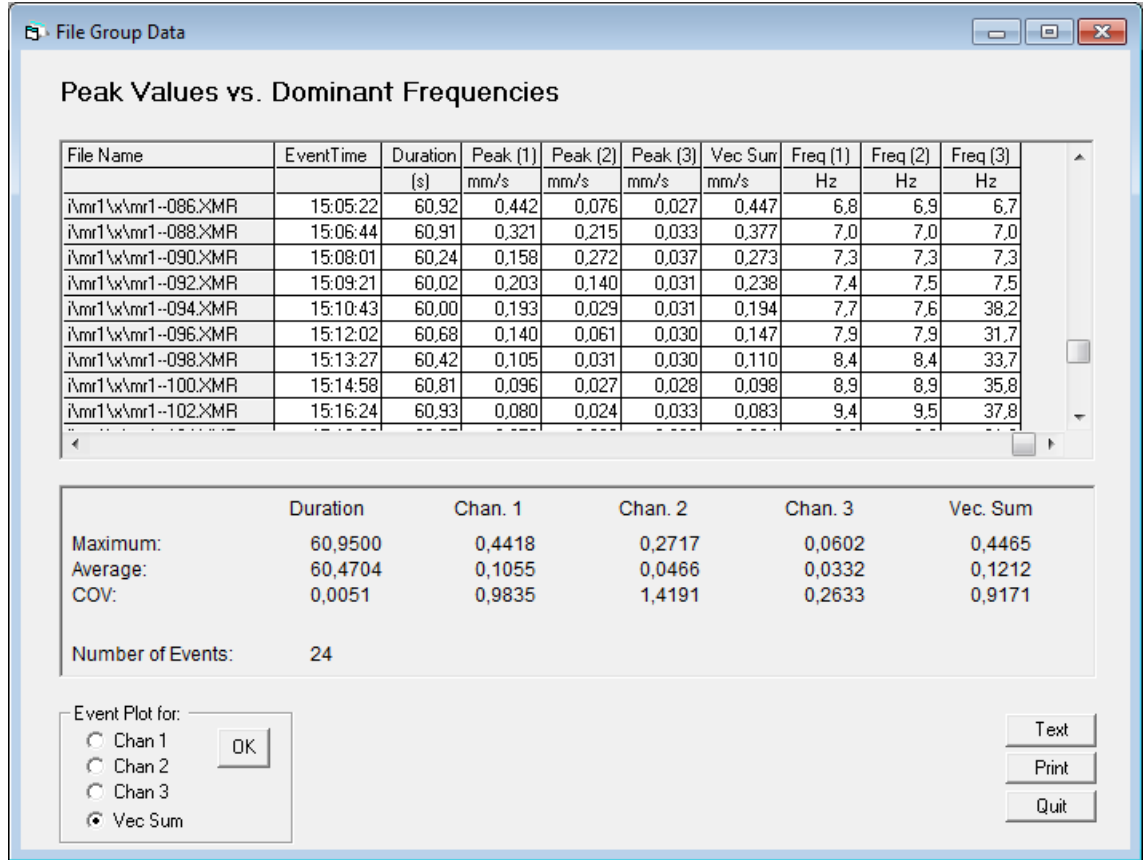
3.4. Modal Parametrelerin Elde Edilmesi

Zorlanmış titreşim testi yönteminde yapıya uygulanan harmonik yük ile yapı titreştirilmekte ve yapının bu titreşime göstermiş olduğu tepki ölçülmektedir. Tepkilerin ölçülüp değerlendirilmesinde başlıca iki program kullanılmaktadır. Bu programlar VIEW2002 ve MATLAB programlarıdır.

3.4.1. View2002 Paket Programı ile Dataların Analizi

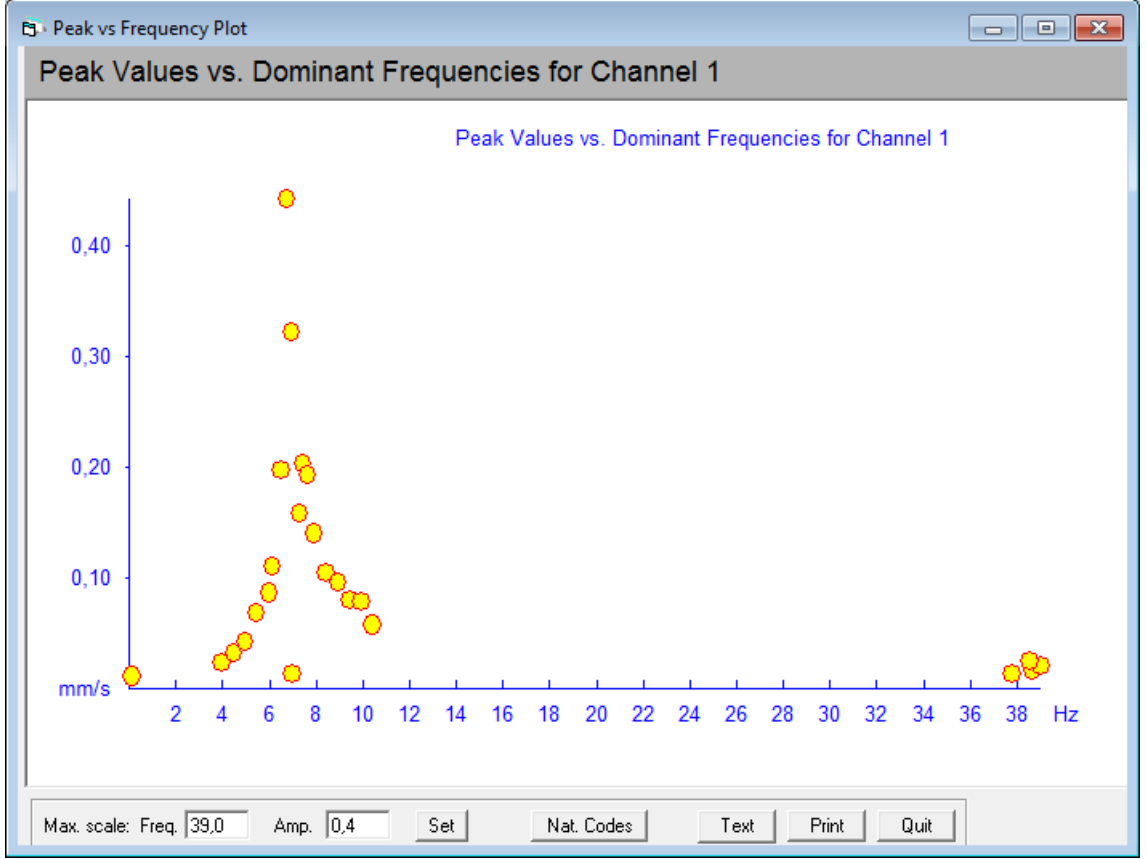
VIEW2002, MR2002-CE Titreşim Kaydedici için özel olarak geliştirilen veri değerlendirme yazılımıdır. VIEW 2002 içinde Dosya Grubu Analizi, büyük veri miktarını çok kısa bir sürede değerlendirmek için çok güçlü bir araçtır.

Her bir dosya için maksimum hız ve hakim frekans aşağıdaki şekilde görüldüğü gibidir:



Şekil 3.4. Maksimum hız ve hakim frekans değerleri

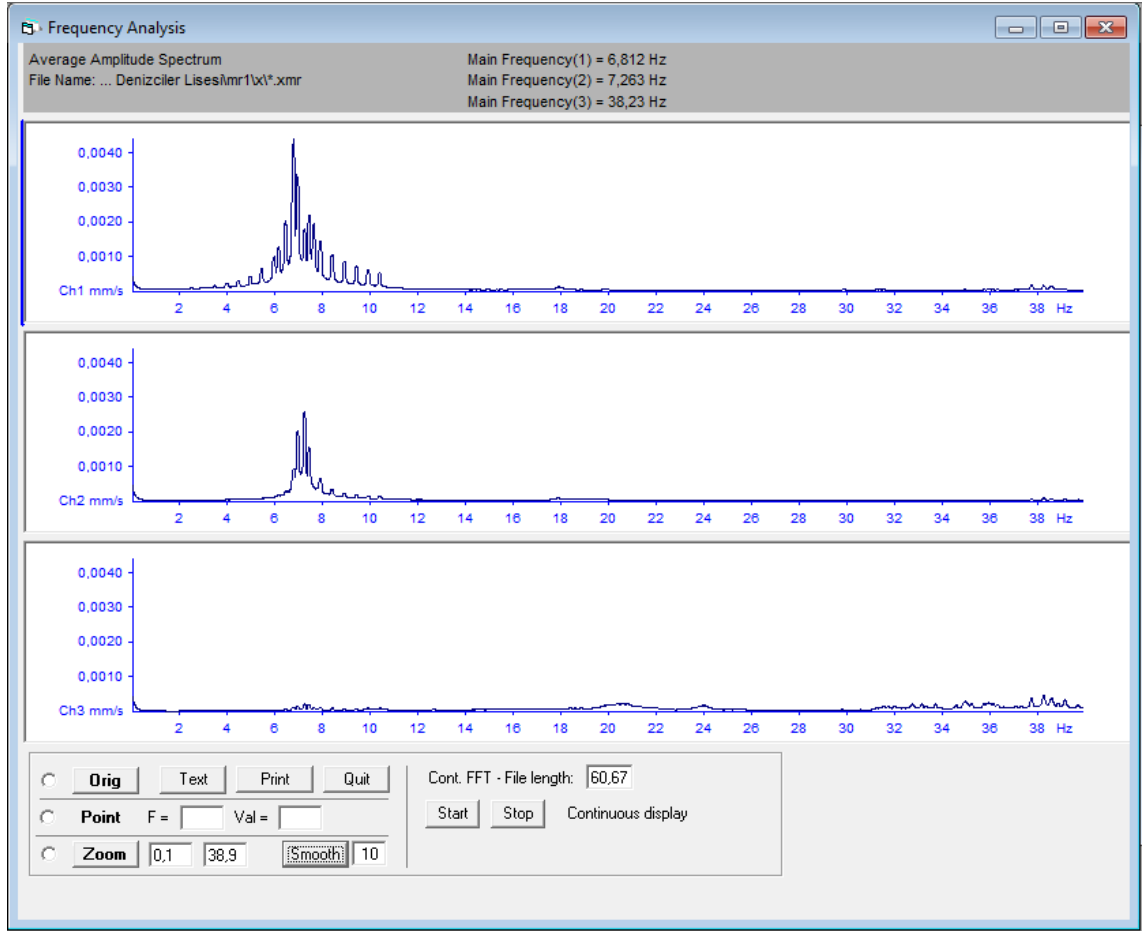
Channel 1 seçilip OK'a basıldığında, bu sensör için Şekil 3.4'deki maksimum hız (Peak (1)) ve hakim frekans (Freq (1)) tablo değerleri çizilir (Şekil 3.5). Bu değerler sensörün X yönündeki kayıtlarıdır. Şekil 3.5'e bakıldığında 0 ve 40 Hz arasında değişen hakim frekanslar ve bu frekanslara ait 0 ve 0.50 mm/s arasında genlikler görülmektedir. Frekans değerlerinin 0.2 mm/s genliğe ulaşması ile birlikte bu eşik değer ve üstündeki frekans değerleri fark edilir ama bina güvenliğini asla etkilemez.



Şekil 3.5. Sensörün x yönündeki maksimum hız ve hakim frekans değerleri

3.4.1.1. Modal Frekansların Bulunması

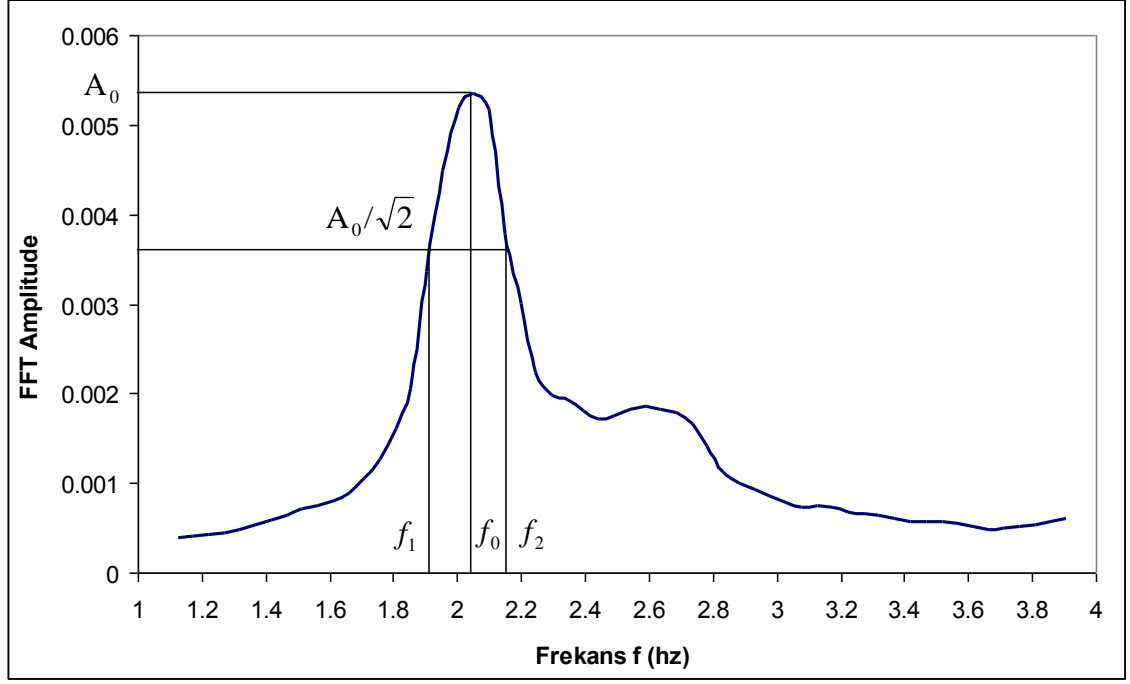
Yapının modal frekanslarının bulunmasının en basit yolu işlenmiş datanın Fourier transformunu almaktır. Fourier transformu esas olarak datanın sonlu sayıda sinüs eğrisinin genliklerini değiştirerek ve birbirine göre kaydırarak toplanmasına eşdeğer hale getirilmiş işlemidir. Datanın Fourier dönüşümü ile frekansa bağlı genlik spektrumu elde edilir. Böylece data frekans ortamına taşınmış olur. Fourier transformunda genliğin maksimum olduğu frekanslar yapının modal frekansını gösterir (Şekil 3.6). (Şafak, 2007)



Şekil 3.6. Fourier dönüşüm ile elde edilen frekansa bağlı genlik spektrumu

3.4.1.2. Sönüm Oranlarının Bulunması

Modal sönüm oranları her moda karşı gelen filtrelenmiş kayıtları kullanarak tayin edilebilir. Genelde sönüm çok doğrusal olmayan 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.



Şekil 3.7. Modal sönüm oranının hesaplanması

$$\zeta = \frac{f_2 - f_1}{2f_0} \quad (5.1)$$

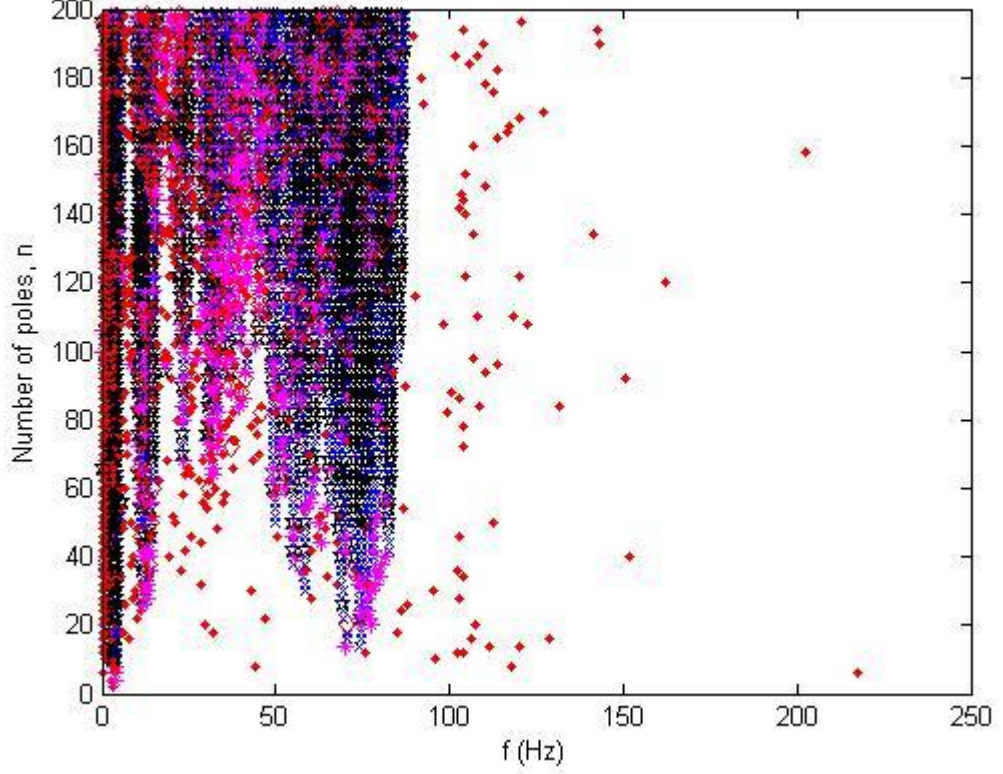
3.4.2. Matlab ile Ortam Titreşim Kayıtlarının Analizi

Deney yapılan binalarda zorlanmış titreşim deneyleri yanında ortam titreşimlerinin kayıtları alınarak, alt uzaylarda sistem tanımlama algoritması kullanılarak hazırlanan Matlab kodu ile analizleri yapılmıştır. (Alıcıoğlu, 2004)

Çalıştırılan komutlar çıktı olarak figür penceresi vermiştir (Şekil 3.8). Bu literatürde stabilization diagramı olarak adlandırılan bir diagramdır. Bu şekilde, x eksenini Hz cinsinden frekansları, y eksenini ise sistemlerin serbestlik derecelerini gösterir.

Bu diyagramda her bir rengin belli bir anlamı vardır, fakat önemli olan siyah renkte ve mavi renkte olan modlardır. Siyah renkle gösterilen frekanslardaki modlar, verilen tolerans değerlerini hem frekans, hem sönüm oranı hem de mod şekli için sağlamış olan modlardır. Mavi renkle gösterilenler ise sadece sönüm oranı kriterini sağlayamamış olan modlardır ki sönüm oranları çok büyük bir güvenilirlikle bulunamadığı için bu sapma göz ardı edilir ve bunlar siyah renkli modlar gibi

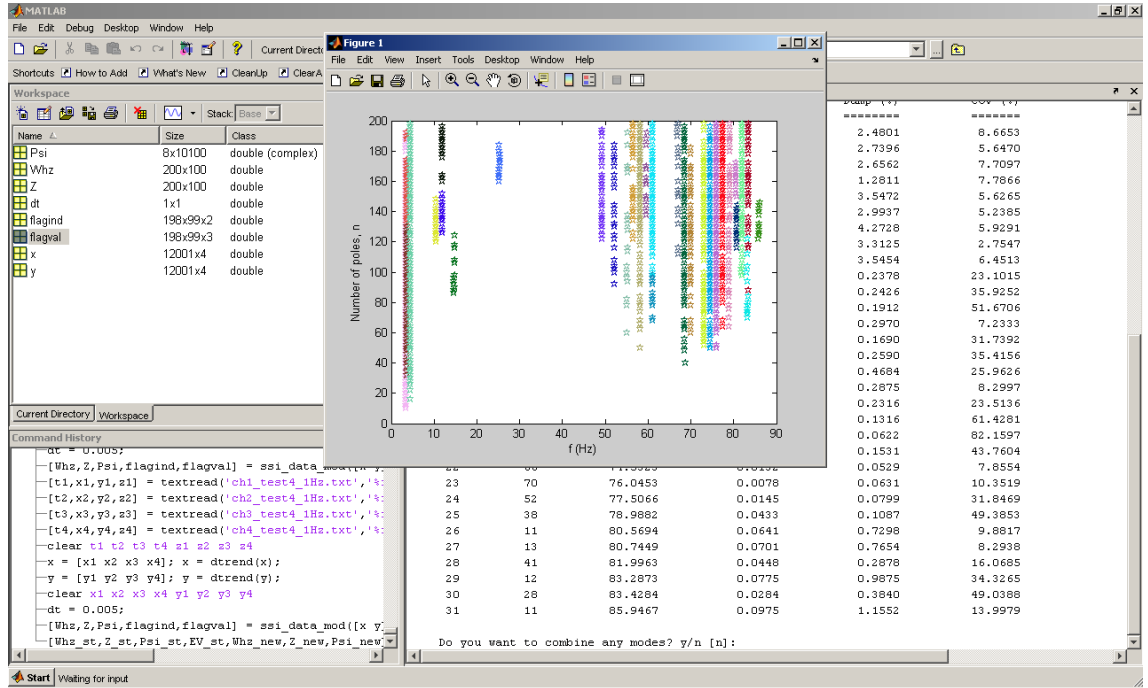
değerlendirilir. Şekilde belli frekans değerlerinde ip gibi uzanan siyah hatlar, o frekansta bir sistem modu olabileceğine işaret eder.



Şekil 3.8. Stabilization diagramı

Şekil 3.8’de görülen stabilization diagramındaki bilgiler, otomatik olarak işlenip, sistem modu olabilecek modlar otomatik olarak ayıklanır.

Analiz bittiğinde ekrana bir takım bilgiler basılır ve ek olarak bir figure penceresi açılır (Şekil 3.9). Açılan figure penceresi ve ekrana basılan bilgiler incelenir. Daha sonra modun bulunduğu düşünülen frekans değerleri birleştirilir ve sistem modu bulunur.



Şekil 3.9. Açılan figure penceresi ve ekrana basılan frekans değerleri

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Güçlendirme Öncesi Malzeme Kabulleri

Burada, malzeme sınıfları ve davranışı ile ilgili özellikler verilmiştir. Modellerde kullanılan beton sınıfının BS16 ve donatı sınıfının S220 olduğu kabul edilmiştir.

4.1.1. Güçlendirme Öncesi Model Kabulleri ve Özellikleri

Bu kısımda, yapı modelleri ile yapılan kabuller ve modellerin hesabında dikkate alınan özellikler açıklanmıştır.

1. Döşemelerin kendi düzleminde rijit diyafram olduğu,
2. Kat kütlelerinin, kat kütle merkezinde toplandığı kabul edilmiştir.
3. Modeller, ETABS v. 9.5.0 programı kullanılarak yapılmıştır.

4.2. İncelenen Binalar

Bu tezde, betonarme okul binalarının dinamik parametreleri zorlanmış titreşim testi yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Hatay İlinde bulunan Denizciler Lisesi, Hüseyin Özbuğday Lisesi ve Antakya Ticaret Lisesi Binaları üzerinde ölçümler gerçekleştirilmiş ve her bir binanın doğal frekansları, mod şekilleri ve sönüm oranları elde edilmiştir.

4.2.1. Denizciler Lisesi

Bina yaklaşık 13 yıl önce inşa edilmiş ve betonarme taşıyıcı sisteme sahiptir. 616 m² taban alanına sahip, 3 katlı betonarme binadır. Şekil 4.1'de Denizciler Lisesi binasının görünüşleri verilmektedir.

Bina Hatay'ın İskenderun İlçesine bağlı Denizciler Beldesi'nde bulunmaktadır.



Şekil 4.1. Denizciler Lisesi binasının görüntüleri

4.2.2. Hüseyin Özbuğday Lisesi

Dört katlı betonarme, 830 m² taban alanına sahip bina, zemin katta batı cephesindeki spor salonu binasına bitişiktir.



Şekil 4.2. Hüseyin Özbuğday Lisesi binasının farklı yönlerden görünüşleri

Bina Hatay İl merkezinde bulunmaktadır.

4.2.3. Antakya Ticaret Lisesi

Bir bodrum ve dört normal kattan oluşan okul binası 730 m² taban alanına sahiptir (Şekil 4.3). Betonarme taşıyıcı sisteme sahip okul binasında perde elemanlar mevcut değildir.

Bina Hatay İl merkezinde bulunmaktadır.



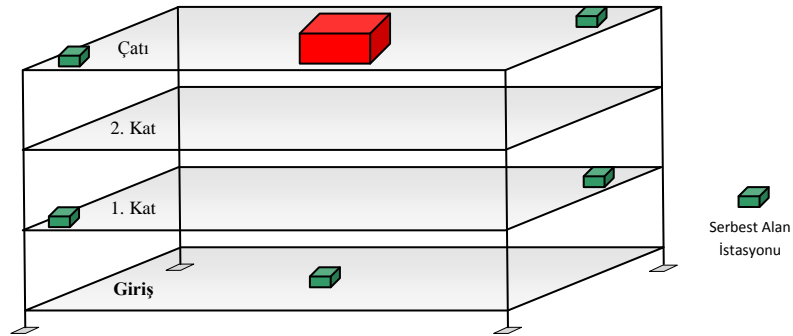
Şekil 4.3. Ticaret Lisesi binasının farklı yönlerden görüntüşleri

4.3. Güçlendirme Öncesi Deneysel Ölçümler

4.3.1. Denizciler Lisesi Binasının Ölçümü

Denizciler Lisesi binası üzerindeki ölçümlerde titreşim üreticinin binada oluşturduğu tepkiler sensörler yardımıyla ölçülmüştür. Bina üzerindeki ölçümlerde toplam altı noktadan ölçümler gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.4'te Lise binasının ölçümünde kullanılan sensör düzeni görülmektedir.

Sensörler ölçüm yapılan kattaki döşeme yüzeylerine yerleştirilmiş ve kablo ile kayıt ünitesine bağlanmıştır. Kayıt ünitesi de bir dönüştürücü ile ana kayıt ünitesine (NCC) (Şekil 4.7) bağlanmıştır. Ölçülen titreşim sinyalleri Şekil 4.6'da görülen kayıt üniteleri aracılığıyla taşınabilir bilgisayara aktarılmıştır.



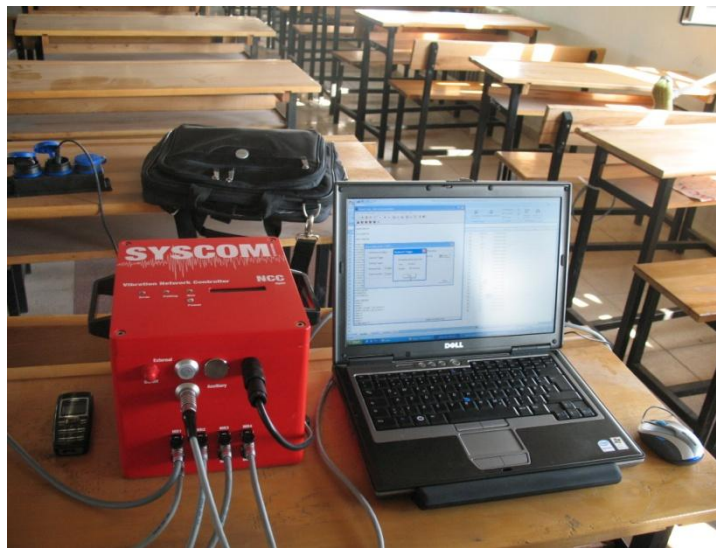
Şekil 4.4. Denizciler Lisesi binasında titreşim üretici ve sensör yerleşim düzeni



Şekil 4.5. Denizciler Lisesi binasının ölçümünde kullanılan titreşim üretici

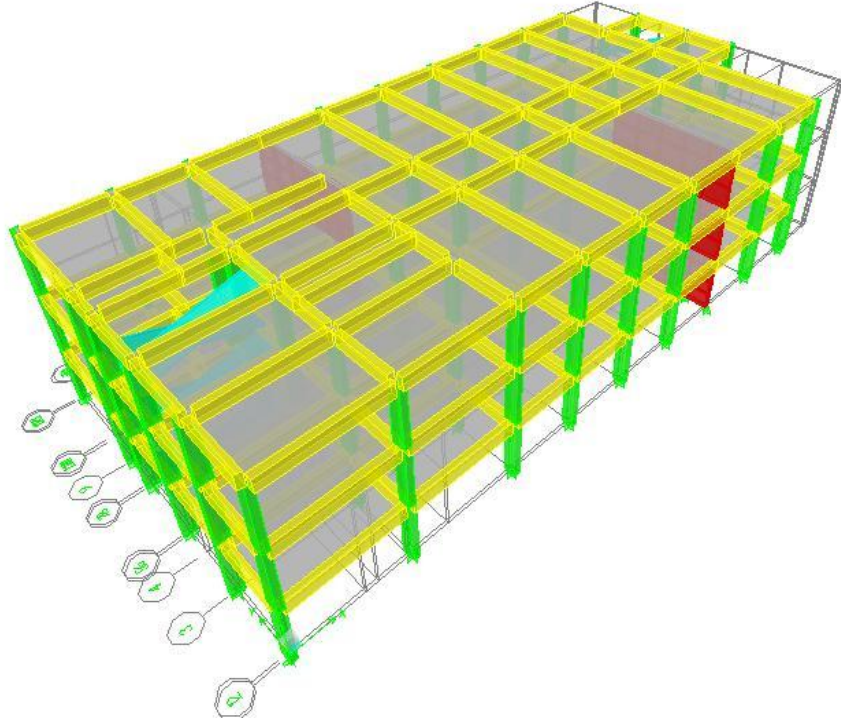


Şekil 4.6. Denizciler Lisesi binasının ölçümünde kullanılan sensörler



Şekil 4.7. Ölçümde kullanılan ana kayıt ünitesi (NCC)

Ölçümden elde edilen sinyaller sinyal işleme sürecinden geçirildikten sonra **VIEW2002** ve **MATLAB** programına aktarılmıştır. Dosya Grubu Analizi içindeki Fourier Dönüşüm ve Deneysel Modal Analiz yöntemleri kullanılarak lise binasına ait modal parametreler elde edilmiştir. Dosya Grubu Analizi ve Deneysel Modal Analiz yöntemleri kullanılarak elde edilen frekans ve sönüm oranı değerleri Çizelge 4.2'de, ETABS programından elde edilen mod şekilleri Şekil 4.9'da verilmektedir.



Şekil 4.8. Denizciler Lisesi binasının ETABS Modeli

Çizelge 4.1. Denizciler Lisesi binasının doğal titreşim frekansları

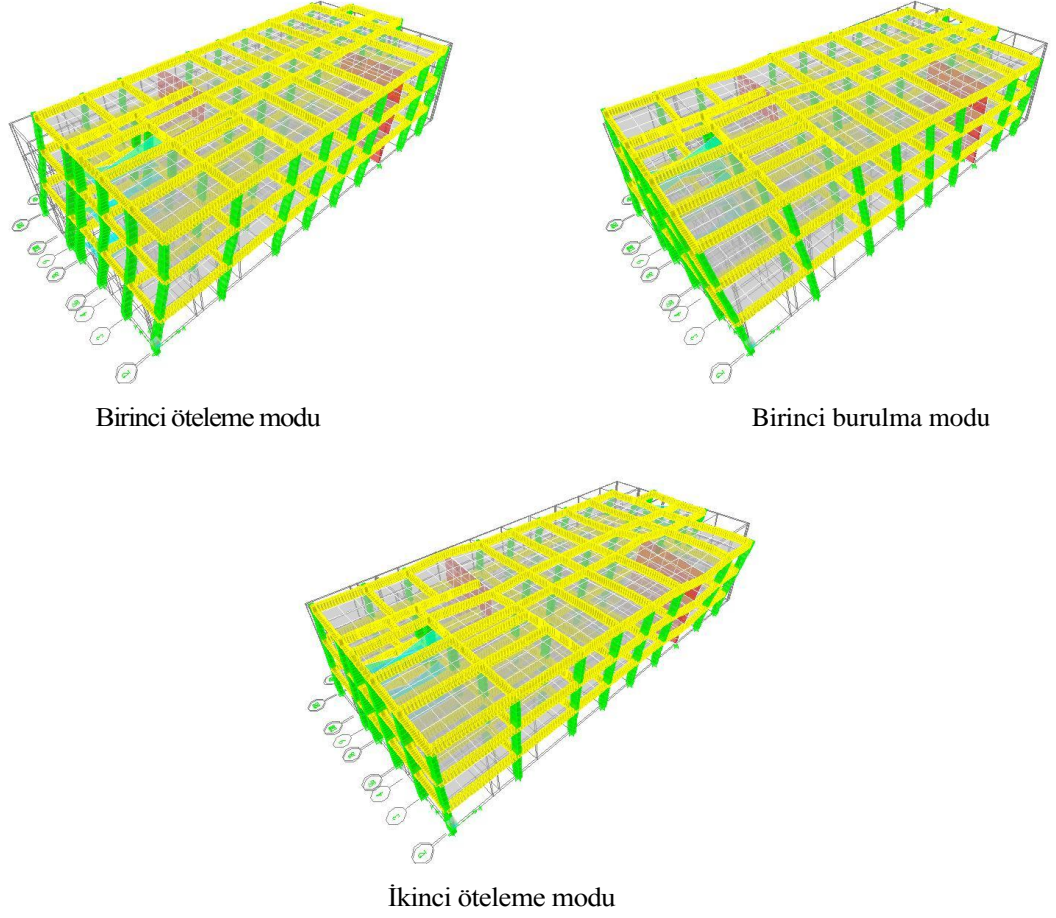
Sensör Numarası	Doğal Frekans (Hz)	
	VIEW 2002	
	X Yönü	Y Yönü
MR1	6.812	6.982
MR2	7.446	6.787
MR3	6.812	6.982
MR4	7.446	6.787
MR5	---	---

Çizelge 4.2. Denizciler Lisesi binasının doğal titreşim frekansları ve modal sönüm oranları

Mod	Doğal Frekans (Hz)			Sönüm Oranı (%)		
	VIEW 2002	MATLAB	ETABS	VIEW 2002		MATLAB
	Zorlanmış	Ortamsal	Analitik	X Yönü	Y Yönü	
1	6.812	7.060	2.399	2.46	3.29	---
2	6.982	7.450	4.128	3.12	---	---
3			5.446			
4			6.939			
5			10.449			

Çizelge 4.3. Güçlendirme Öncesi Denizciler Lisesi binasının ETABS programı ile elde edilen periyot değerleri

Bulunan Mod	Periyot (s)
1	0.4167
2	0.2422
3	0.1836
4	0.1441
5	0.0957

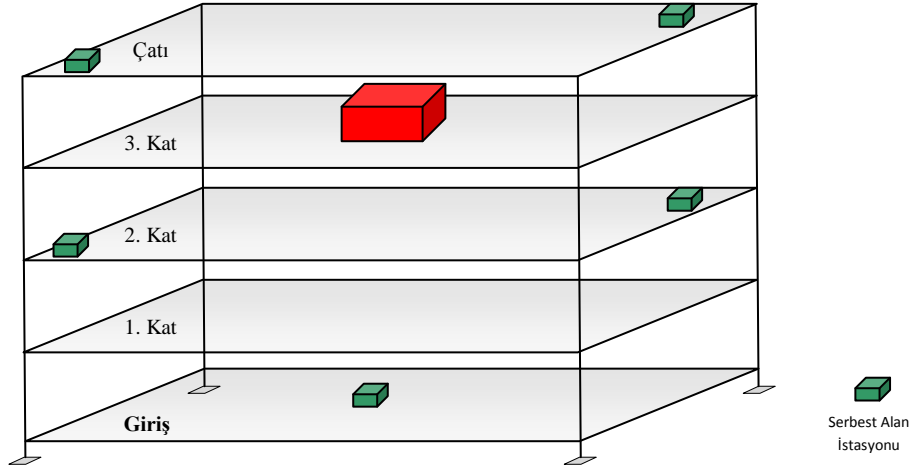


Şekil 4.9. Denizciler Lisesi binasının ETABS Modelinden elde edilen mod şekilleri

Ölçülen binanın ilk iki modunun sırasıyla boyuna doğrultuda öteleme ve burulma modu, üçüncü modun ise enine doğrultuda öteleme olduğu görülmektedir. Binanın enine ve boyuna doğrultudaki rijitlikleri değerlendirildiğinde ise, binanın birinci modunun boyuna doğrultuda olması bu doğrultudaki rijitliğin daha az olduğunun bir göstergesidir.

4.3.2. Hüseyin Özbuğday Lisesi Binasının Ölçümü

Şekil 4.10'da görüldüğü üzere bina üzerindeki ölçümler toplam altı noktadan gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.10. Hüseyin Özbuğday Lisesi binasında titreşim üretici ve sensör yerleşim düzeni



Şekil 4.11. Hüseyin Özbuğday Lisesi binasının ölçümünde kullanılan titreşim üretici

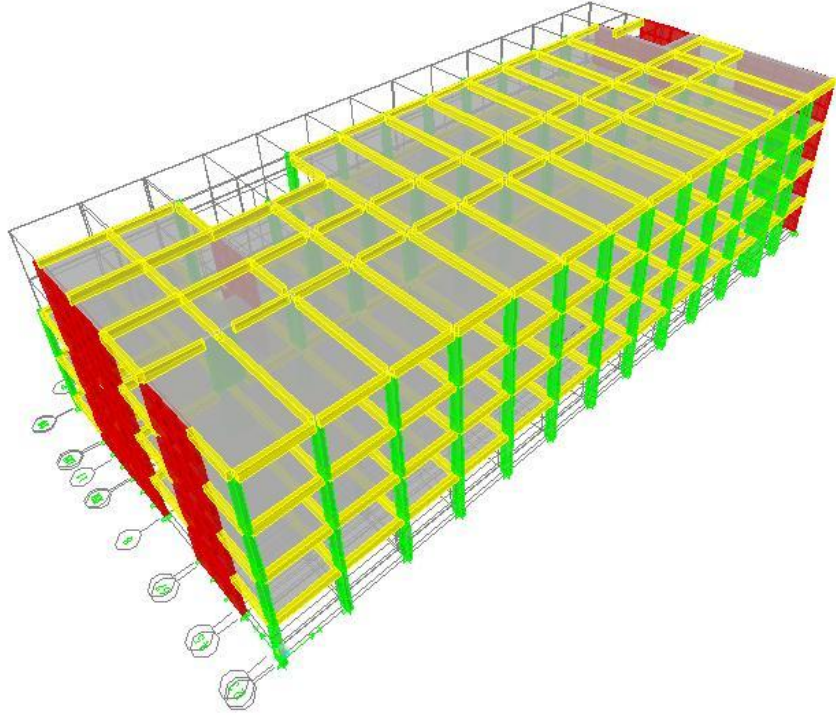




Şekil 4.12. Hüseyin Özbuğday Lisesi binasının ölçümünde kullanılan sensörler

Sensörler ölçüm yapılan kattaki döşeme yüzeylerine Şekil 4.12’de gösterilen şekilde yerleştirilmiştir.

Ölçüm sırasında binanın titreşim tepkileri sensörler yardımıyla ölçülmüş ve ana kayıt ünitesi yardımıyla taşınabilir bilgisayara aktarılmıştır. Ölçümden sonra elde edilen kayıtlar değerlendirilmiş ve lise binasının modal parametreleri elde edilmiştir. Dosya Grubu Analizi ve Deneysel Modal Analiz yöntemleri kullanılarak elde edilen frekans ve sönüm oranı değerleri Çizelge 4.5’te, ETABS programından elde edilen mod şekilleri Şekil 4.14’te verilmektedir.



Şekil 4.13. Hüseyin Özbuğday Lisesi binasının ETABS Modeli

Çizelge 4.4. Hüseyin Özbuğday Lisesi binasının doğal titreşim frekansları

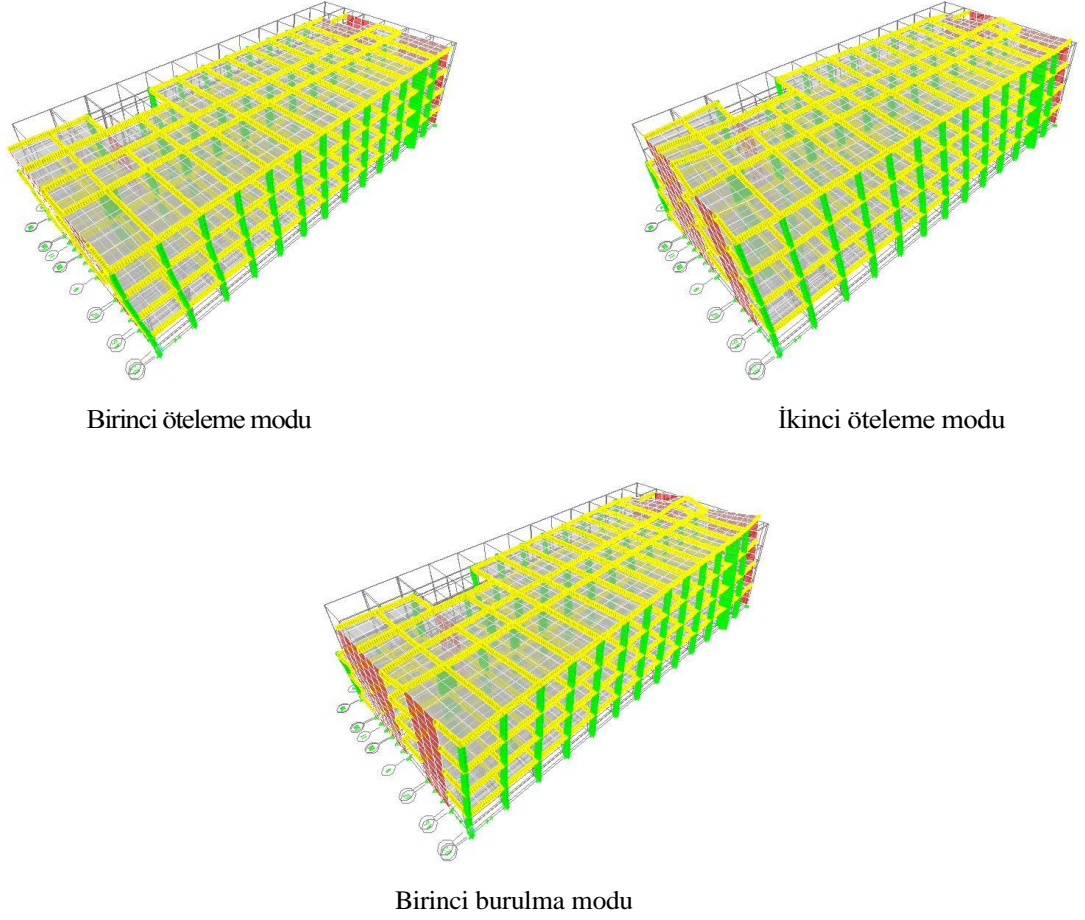
Sensör Numarası	Doğal Frekans (Hz)	
	VIEW 2002	
	X Yönü	Y Yönü
MR1	3.381	9.912
MR2	3.381	4.102
MR3	3.381	4.102
MR4	3.381	4.102
MR5	---	---

Çizelge 4.5. Hüseyin Özbuğday Lisesi binasının doğal titreşim frekansları ve modal sönüm oranları

Mod	Doğal Frekans (Hz)			Sönüm Oranı (%)		
	VIEW 2002	MATLAB	ETABS	VIEW 2002		MATLAB
	Zorlanmış	Ortamsal	Analitik	X Yönü	Y Yönü	
1	3.381	4.140	1.418	4.51	5.86	---
2	4.102	4.900	4.019	4.49	5.68	---
3		5.650	6.333			
4			4.589			
5			8.576			

Çizelge 4.6. Güçlendirme Öncesi Hüseyin Özbuğday Lisesi binasının ETABS programı ile elde edilen periyot değerleri

Bulunan Mod	Periyot (s)
1	0.7050
2	0.2488
3	0.1579
4	0.2179
5	0.1166

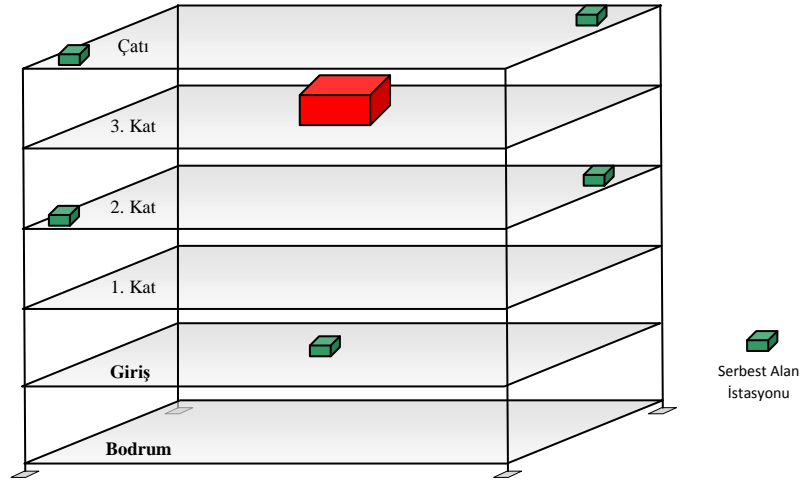


Şekil 4.14. Hüseyin Özbuğday Lisesi binasının ETABS Modelinden elde edilen mod şekilleri

Ölçülen binanın ilk iki modunun sırasıyla boyuna doğrultuda öteleme ve enine doğrultuda öteleme, üçüncü modun ise burulma modu olduğu görülmektedir. Binanın enine ve boyuna doğrultudaki rijitlikleri değerlendirildiğinde ise boyuna doğrultudaki rijitliğin daha az olduğu görülmektedir.

4.3.3. Antakya Ticaret Lisesi Binasının Ölçümü

Bina üzerindeki ölçümler diğer ölçümlerde olduğu gibi toplam altı noktadan gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.15). Sensörler ölçüm yapılan kattaki döşeme kısımlarına Şekil 4.17’de gösterilen şekilde yerleştirilmiştir.



Şekil 4.15. Antakya Ticaret Lisesi binasında titreşim üretici ve sensör yerleşim düzeni



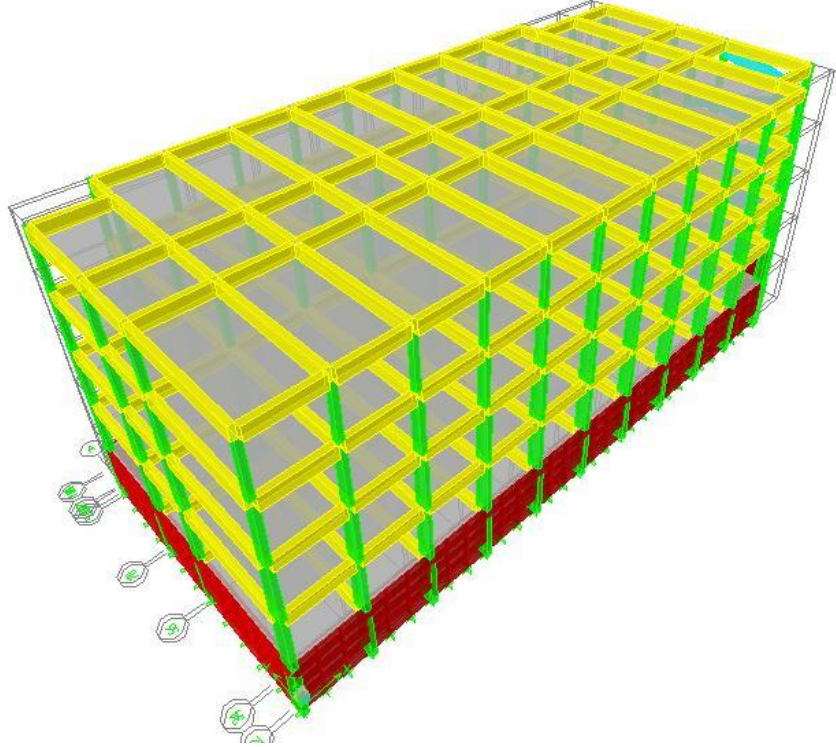
Şekil 4.16. Antakya Ticaret Lisesi binasının ölçümünde kullanılan titreşim üretici





Şekil 4.17. Antakya Ticaret Lisesi binasının ölçümünde kullanılan sensörler

Dosya Grubu Analizi ve Deneysel Modal Analiz yöntemleri kullanılarak elde edilen frekans ve sönüm oranı değerleri Çizelge 4.8'de, ETABS programından elde edilen mod şekilleri Şekil 4.19'da verilmektedir.



Şekil 4.18. Antakya Ticaret Lisesi binasının ETABS Model

Çizelge 4.7. Antakya Ticaret Lisesi Lisesi binasının doğal titreşim frekansları

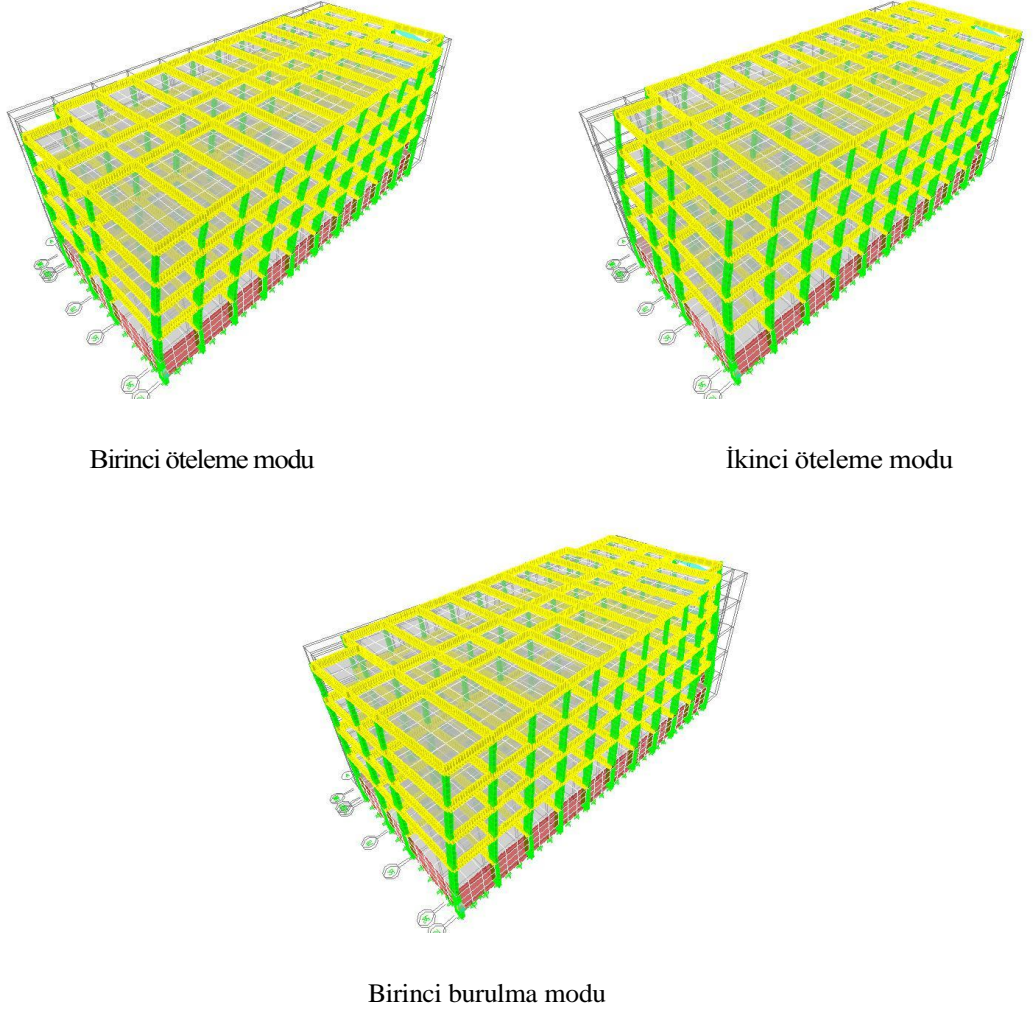
Sensör Numarası	Doğal Frekans (Hz)	
	VIEW 2002	
	X Yönü	Y Yönü
MR1	6.384	4.614
MR2	6.384	4.602
MR3	6.384	4.614
MR4	---	---
MR5	---	---

Çizelge 4.8. Antakya Ticaret Lisesi binasının doğal titreşim frekansları ve modal sönüm oranları

Mod	Doğal Frekans (Hz)			Sönüm Oranı (%)		
	VIEW 2002	MATLAB	ETABS	VIEW 2002		MATLAB
	Zorlanmış	Ortamsal	Analitik	X Yönü	Y Yönü	
1	4.614	4.370	1.371	4.08	5.20	---
2	6.384	4.540	1.527	4.19	5.74	---
3		5.430	2.047			
4		6.040	3.232			
5			3.521			

Çizelge 4.9. Güçlendirme Öncesi Antakya Ticaret Lisesi binasının ETABS programı ile elde edilen periyot değerleri

Bulunan Mod	Periyot (s)
1	0.7293
2	0.6548
3	0.4883
4	0.3094
5	0.2840



Şekil 4.19. Antakya Ticaret Lisesi binasının ETABS Modelinden elde edilen mod şekilleri

Ölçülen binanın ilk iki modunun sırasıyla enine doğrultuda öteleme ve boyuna doğrultuda öteleme, üçüncü modun ise burulma modu olduğu görülmektedir. Binanın enine ve boyuna doğrultudaki rijitlikleri değerlendirildiğinde ise enine doğrultudaki rijitliğin daha az olduğu görülmektedir.

4.4. Güçlendirme Çalışmaları

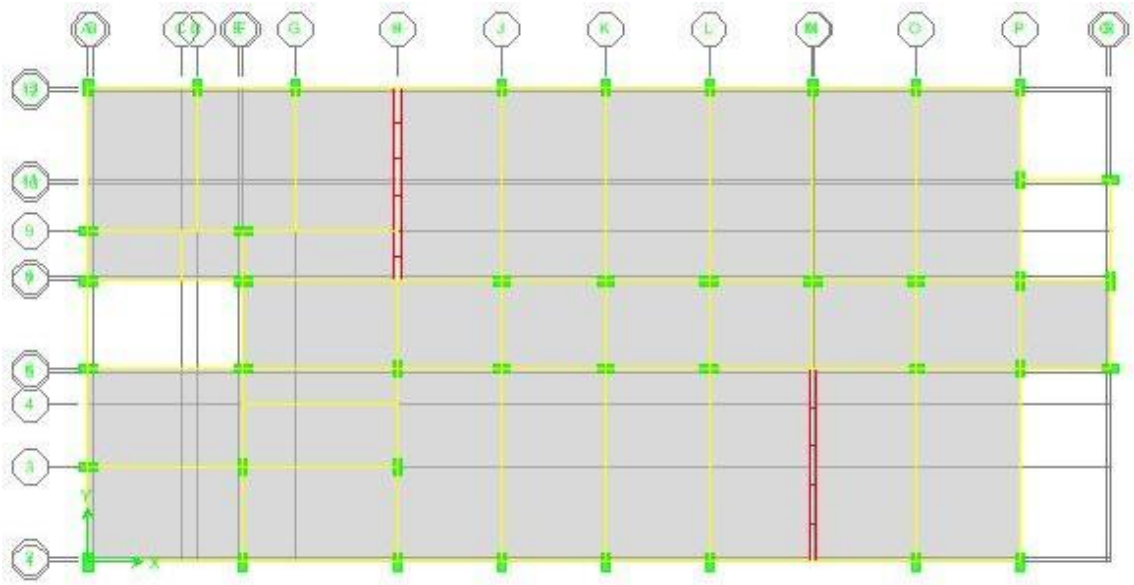
Denizciler Lisesi Binası'nda güçlendirme çalışmaları perde ilavesi ve mevcut perdede püskürtme beton uygulaması yapılarak gerçekleştirilmiştir. Püskürtme betonu olarak gronülometrisi 0-15 mm. arasında olan beton kullanılmıştır. Şekil 4.21'de Güçlendirme Sonrası Denizciler Lisesi binasının görünüşleri verilmektedir.



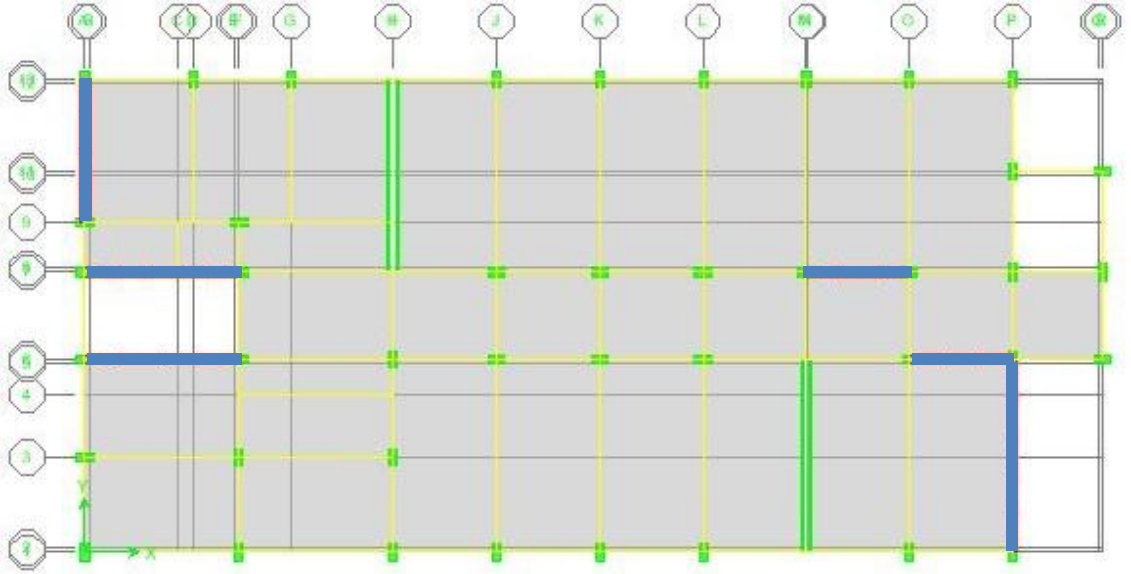
Şekil 4.20. Denizciler Lisesi binasında güçlendirme çalışmaları



Şekil 4.21. Güçlendirme Sonrası Denizciler Lisesi binasının görüşleri



Şekil 4.22. Güçlendirme Öncesi Denizciler Lisesi binasının kat planı

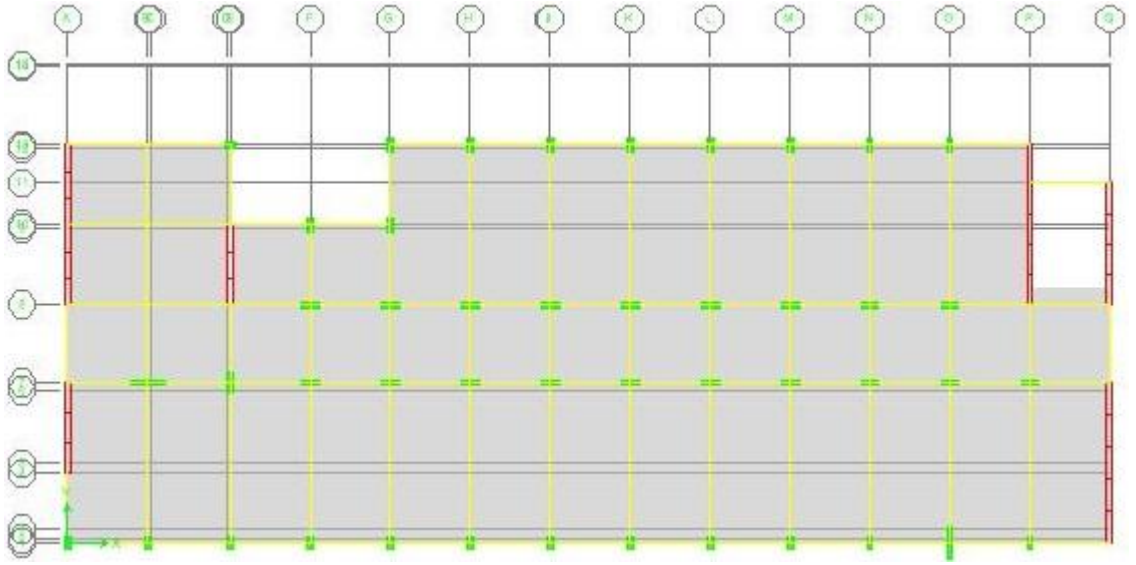


Şekil 4.23. Güçlendirme Sonrası Denizciler Lisesi binasının kat planı

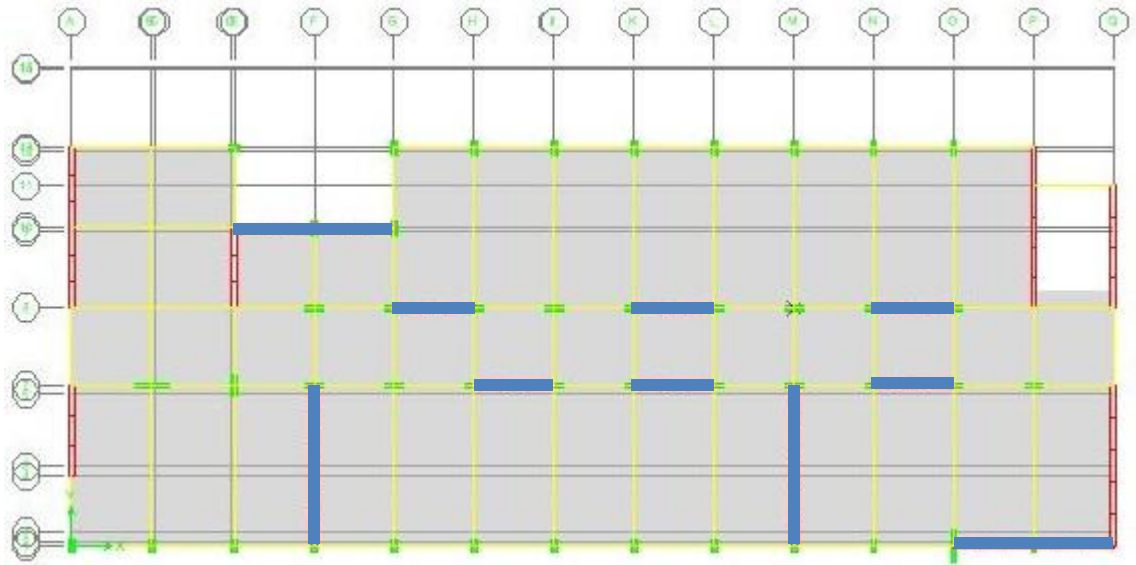
Hüseyin Özbuğday Lisesi Binası'nda güçlendirme çalışmaları perde ilavesi yapılarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.24'de Güçlendirme Sonrası Hüseyin Özbuğday Lisesi binasının görüşleri verilmektedir.



Şekil 4.24. Güçlendirme Sonrası Hüseyin Özbuğday Lisesi binasının farklı yönlerden görüşleri



Şekil 4.25. Güçlendirme Öncesi Hüseyin Özbuğday Lisesi binasının kat planı



Şekil 4.26. Güçlendirme Sonrası Hüseyin Özbuğday Lisesi binasının kat planı

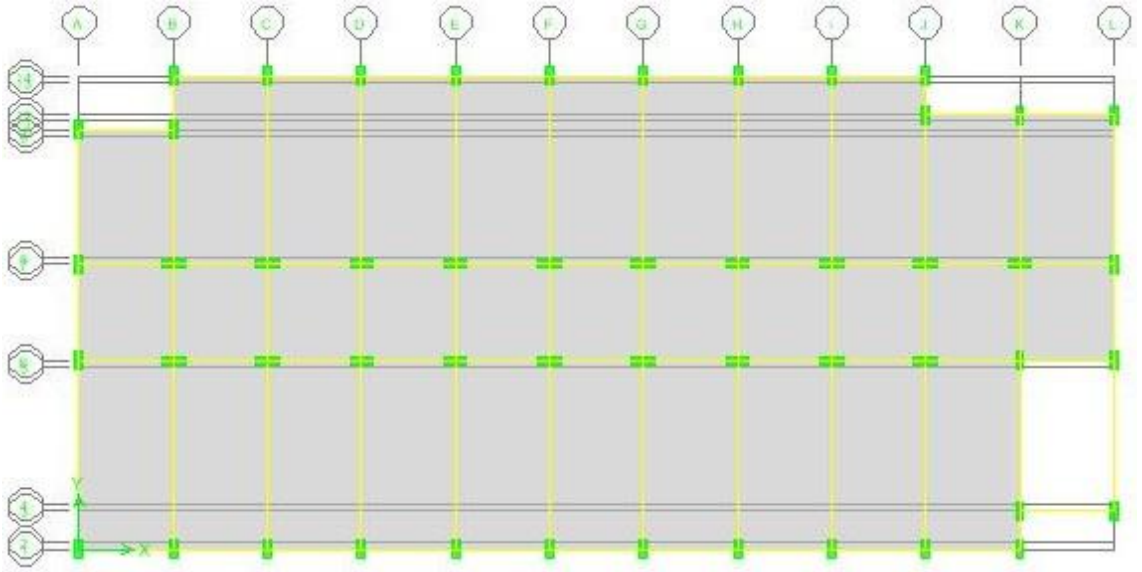
Antakya Ticaret Lisesi Binası'nda güçlendirme çalışmaları kolonda mantolama ve perde ilavesi yapılarak gerçekleştirilmiştir. Güçlendirilmesine karar verilen kolonlarda 15 cm. mantolama yapılmıştır (Şekil 4.30).



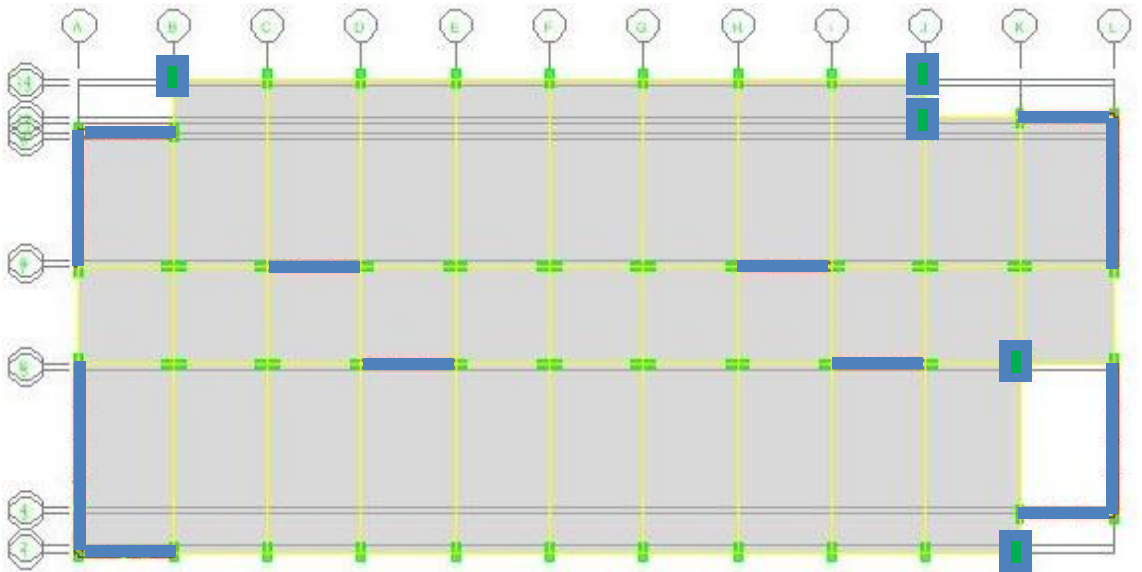
Şekil 4.27. Ticaret Lisesi binasının güçlendirme aşamaları



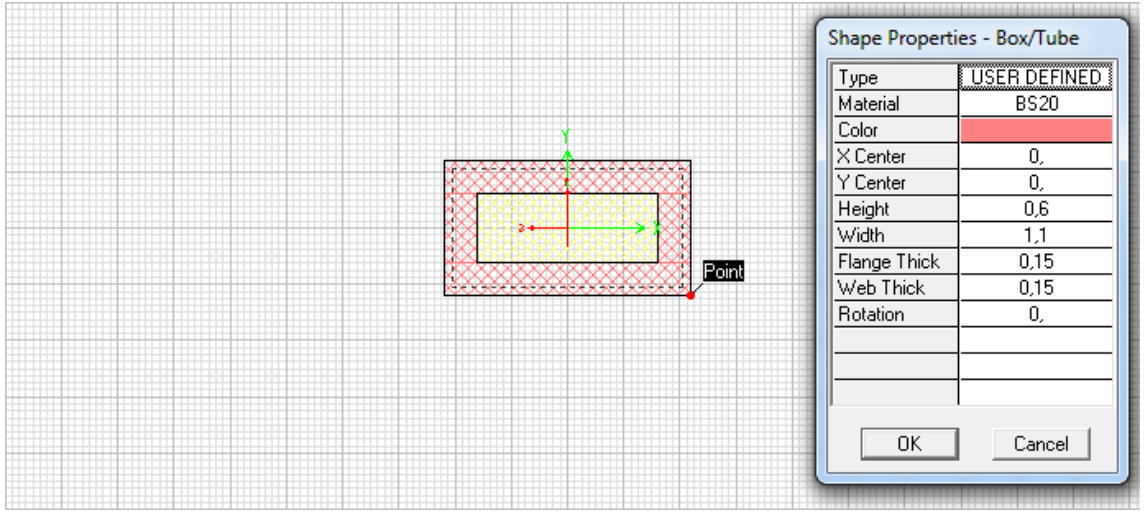
Şekil 4.28. Güçlendirme Sonrası Ticaret Lisesi binasının farklı yönlerden görüşleri



Şekil 4.29. Güçlendirme Öncesi Ticaret Lisesi binasının kat planı



Şekil 4.30. Güçlendirme Sonrası Ticaret Lisesi binasının kat planı



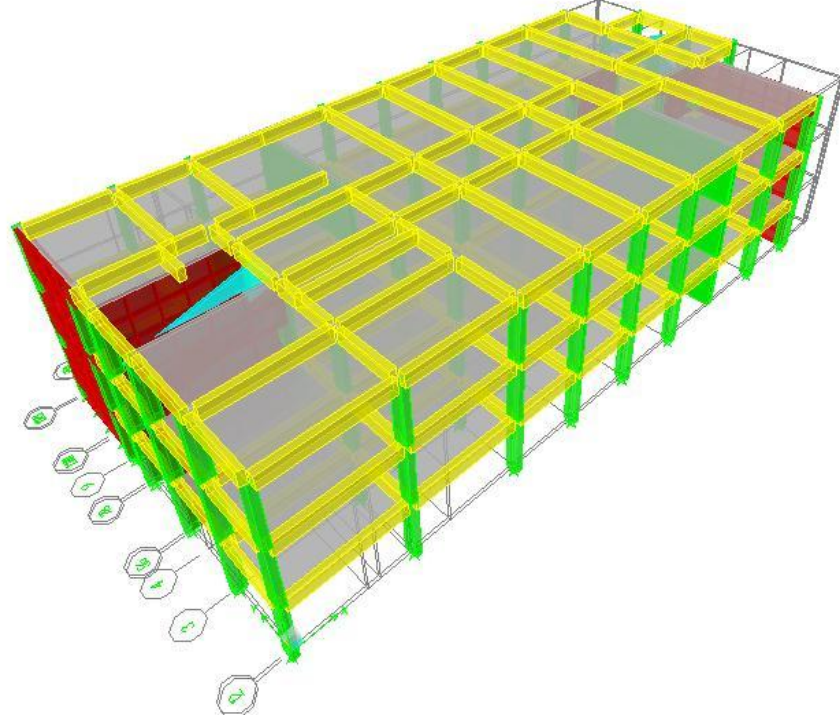
Şekil 4.32. Kolonda mantolama işlemi ve güçlendirmede kullanılan yeni beton sınıfı-ETABS Modeli



Şekil 4.33. Perde elemanda püskürtme beton uygulaması-ETABS Modeli

4.6. Güçlendirme Sonrası Deneysel Ölçümler

4.6.1. Güçlendirme Sonrası Denizciler Lisesi Binasının Ölçümü



Şekil 4.34. Güçlendirme Sonrası Denizciler Lisesi binasının ETABS Modeli

Çizelge 4.10. Güçlendirme Sonrası Denizciler Lisesi binasının doğal titreşim frekansları

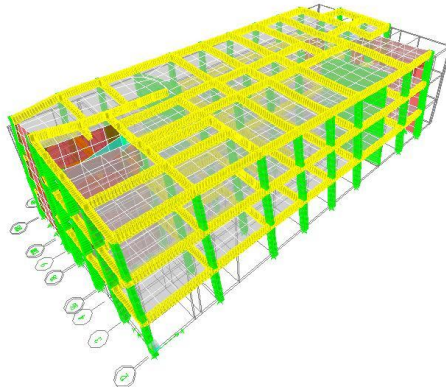
Sensör Numarası	Doğal Frekans (Hz)	
	VIEW 2002	
	X Yönü	Y Yönü
MR1	8.496	8.936
MR2	9.436	8.459
MR3	8.496	8.936
MR4	9.436	8.752
MR5	---	---

Çizelge 4.11. Güçlendirme Sonrası Denizciler Lisesi binasının doğal titreşim frekansları ve modal sönüm oranları

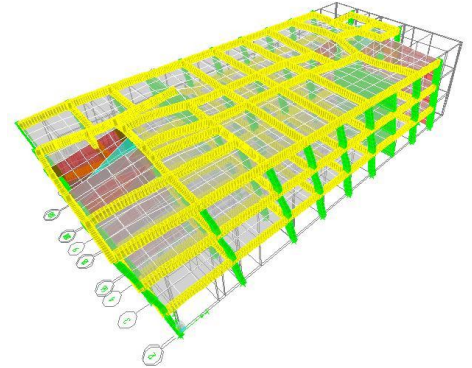
Mod	Doğal Frekans (Hz)			Sönüm Oranı (%)		
	VIEW 2002	MATLAB	ETABS	VIEW 2002		MATLAB
	Zorlanmış	Ortamsal	Analitik	X Yönü	Y Yönü	
1	8.936	7.530	5.574	0.90	2.39	---
2	8.496	9.420	6.325	3.40	3.72	---
3			8.912			
4			18.518			
5			21.551			

Çizelge 4.12. Güçlendirme Sonrası Denizciler Lisesi binasının ETABS programı ile elde edilen periyot değerleri

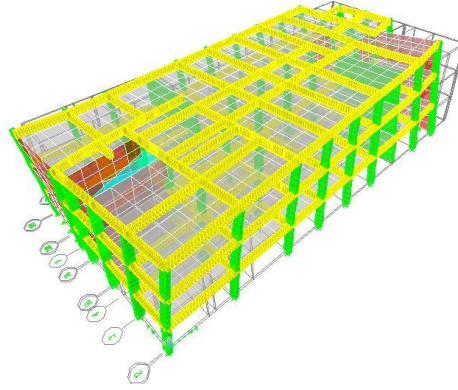
Bulunan Mod	Periyot (s)
1	0.1794
2	0.1581
3	0.1122
4	0.0540
5	0.0464



Birinci öteleme modu



İkinci öteleme modu



Birinci burulma modu

Şekil 4.35. Güçlendirme Sonrası Denizciler Lisesi binasının ETABS Modelinden elde edilen mod şekilleri

Güçlendirme sonrası ölçülen binanın ilk iki modunun sırasıyla enine doğrultuda öteleme ve boyuna doğrultuda öteleme modu, üçüncü modun ise burulma modu olduğu görülmektedir. Binanın enine ve boyuna doğrultudaki rijitlikleri değerlendirildiğinde ise, binanın birinci modunun enine doğrultuda olması bu doğrultudaki rijitliğin daha az olduğunun bir göstergesidir.

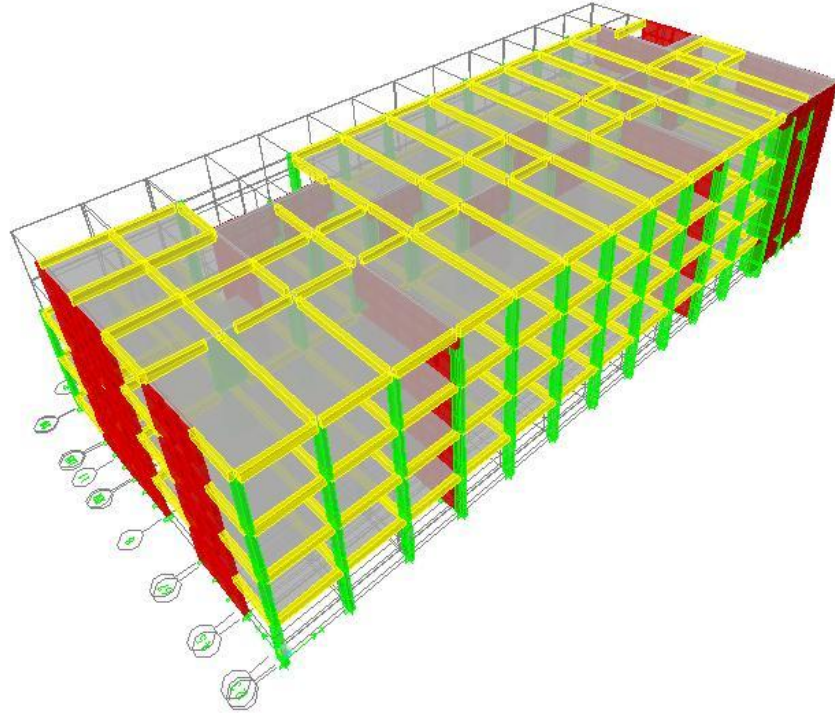
4.6.2. Güçlendirme Sonrası Hüseyin Özbuğday Lisesi Binasının Ölçümü



Şekil 4.36. Güçlendirme Sonrası Hüseyin Özbuğday Lisesi binasının ölçümünde kullanılan titreşim üretici



Şekil 4.37. Güçlendirme Sonrası Hüseyin Özbuğday Lisesi binasının ölçümünde kullanılan sensörler



Şekil 4.38. Güçlendirme Sonrası Hüseyin Özbuğday Lisesi binasının ETABS Modeli

Çizelge 4.13. Güçlendirme Sonrası Hüseyin Özbuğday Lisesi binasının doğal titreşim frekansları

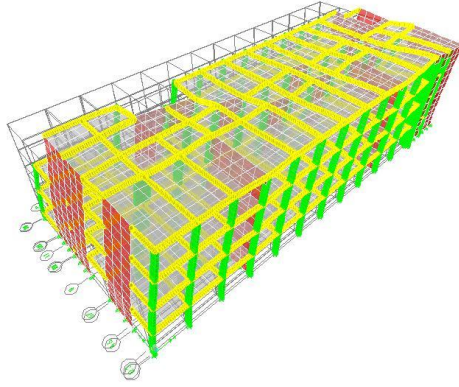
Sensör Numarası	Doğal Frekans (Hz)	
	VIEW 2002	
	X Yönü	Y Yönü
MR1	4.993	9.875
MR2	4.993	4.993
MR3	4.980	---
MR4	4.980	4.980
MR5	---	---

Çizelge 4.14. Güçlendirme Sonrası Hüseyin Özbuğday Lisesi binasının doğal titreşim frekansları ve modal sönüm oranları

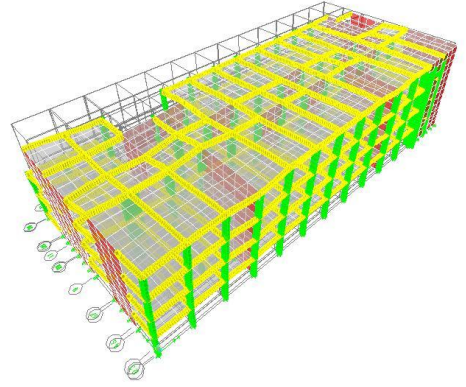
Mod	Doğal Frekans (Hz)			Sönüm Oranı (%)		
	VIEW 2002	MATLAB	ETABS	VIEW 2002		MATLAB
	Zorlanmış	Ortamsal	Analitik	X Yönü	Y Yönü	
1	4.993	4.840	4.916	1.63	0.79	---
2	4.993	4.970	5.605	1.63	1.21	---
3		5.070	8.169			
4		6.690	12.531			
5		6.740	18.115			

Çizelge 4.15. Güçlendirme Sonrası Hüseyin Özbuğday Lisesi binasının ETABS programı ile elde edilen periyot değerleri

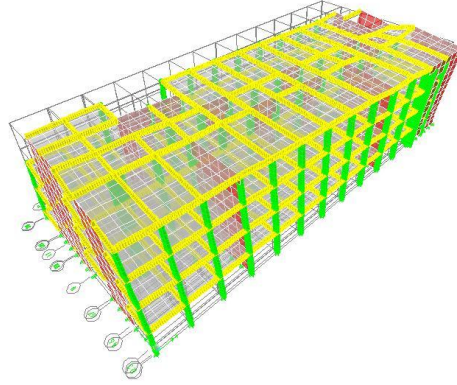
Bulunan Mod	Periyot (s)
1	0.2034
2	0.1784
3	0.1224
4	0.0798
5	0.0552



Birinci öteleme modu



İkinci öteleme modu



Birinci burulma modu

Şekil 4.39. Güçlendirme Sonrası Hüseyin Özbuğday Lisesi binasının ETABS Modelinden elde edilen mod şekilleri

Güçlendirme sonrası ölçülen binanın ilk iki modunun sırasıyla boyuna doğrultuda öteleme ve enine doğrultuda öteleme, üçüncü modun ise burulma modu olduğu görülmektedir. Binanın enine ve boyuna doğrultudaki rijitlikleri değerlendirildiğinde ise boyuna doğrultudaki rijitliğin daha az olduğu görülmektedir.

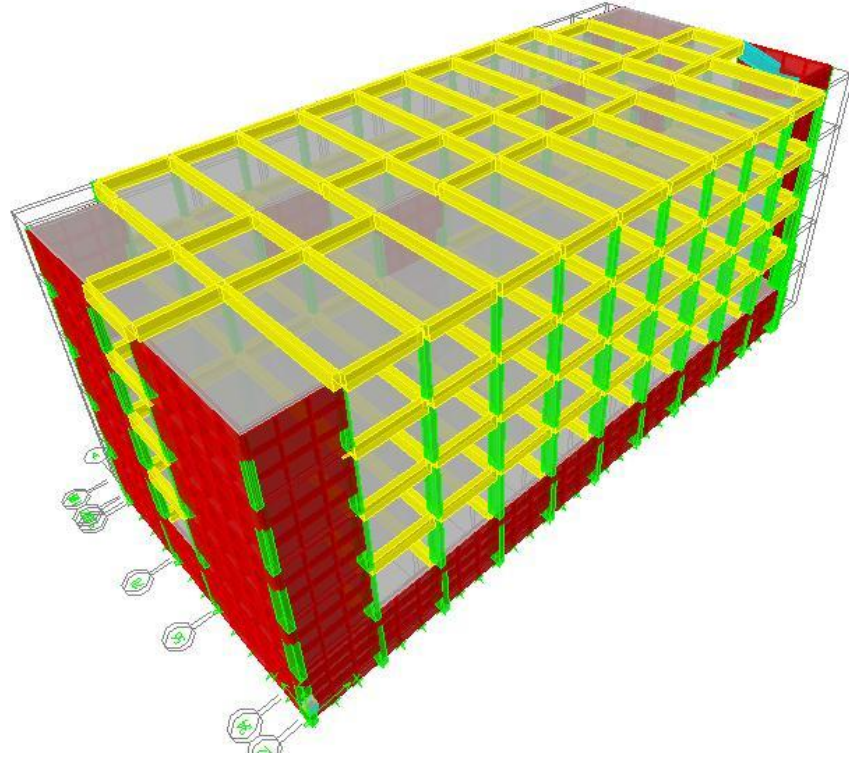
4.6.3. Güçlendirme Sonrası Antakya Ticaret Lisesi Binasının Ölçümü



Şekil 4.40. Güçlendirme Sonrası Antakya Ticaret Lisesi binasının ölçümünde kullanılan titreşim üretici



Şekil 4.41. Güçlendirme Sonrası Antakya Ticaret Lisesi binasının ölçümünde kullanılan sensörler



Şekil 4.42. Güçlendirme Sonrası Antakya Ticaret Lisesi binasının ETABS Modeli

Çizelge 4.16. Güçlendirme Sonrası Antakya Ticaret Lisesi binasının doğal titreşim frekansları

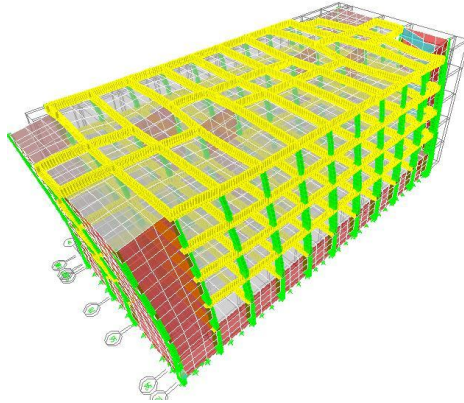
Sensör Numarası	Doğal Frekans (Hz)	
	VIEW 2002	
	X Yönü	Y Yönü
MR1	6.177	5.481
MR2	6.177	5.481
MR3	6.189	5.481
MR4	5.481	---
MR5	---	---

Çizelge 4.17. Güçlendirme Sonrası Antakya Ticaret Lisesi binasının doğal titreşim frekansları ve modal sönüm oranları

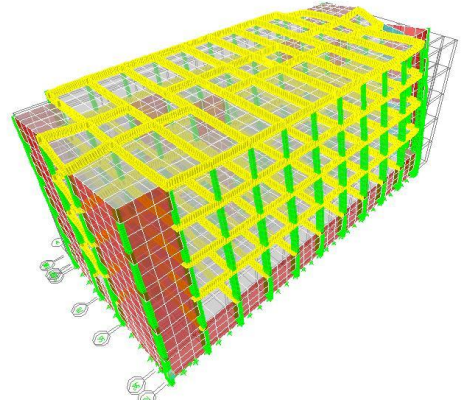
Mod	Doğal Frekans (Hz)			Sönüm Oranı (%)		
	VIEW 2002	MATLAB	ETABS	VIEW 2002		MATLAB
	Zorlanmış	Ortamsal	Analitik	X Yönü	Y Yönü	
1	6.177	5.360	3.594	5.55	1.37	---
2	5.481	5.420	4.251	5.65	1.37	---
3		6.080	7.262			
4			13.850			
5			14.224			

Çizelge 4.18. Güçlendirme Sonrası Antakya Ticaret Lisesi binasının ETABS programı ile elde edilen periyot değerleri

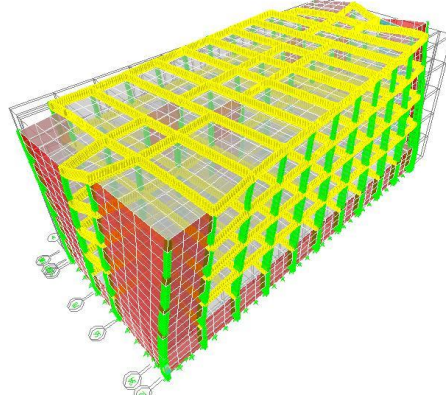
Bulunan Mod	Periyot (s)
1	0.2782
2	0.2352
3	0.1377
4	0.0722
5	0.0703



Birinci öteleme modu



İkinci öteleme modu



Birinci burulma modu

Şekil 4.43. Güçlendirme Sonrası Antakya Ticaret Lisesi binasının ETABS Modelinden elde edilen mod şekilleri

Güçlendirme sonrası ölçülen binanın ilk iki modunun sırasıyla boyuna doğrultuda öteleme ve enine doğrultuda öteleme, üçüncü modun ise burulma modu olduğu görülmektedir. Binanın enine ve boyuna doğrultudaki rijitlikleri değerlendirildiğinde ise boyuna doğrultudaki rijitliğin daha az olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.19. Güçlendirme öncesi ve sonrası Denizciler Lisesi için VIEW 2002 programından elde edilen doğal titreşim frekansları

Sensör Numarası	Güçlendirme Öncesi Frekans Değeri (Hz)		Güçlendirme Sonrası Frekans Değeri (Hz)	
	VIEW 2002		VIEW 2002	
	X Yönü	Y Yönü	X Yönü	Y Yönü
MR1	6.812	6.982	8.496	8.936
MR2	7.446	6.787	9.436	8.459
MR3	6.812	6.982	8.496	8.936
MR4	7.446	6.787	9.436	8.752
MR5	---	---	---	---

Çizelge 4.20. Güçlendirme öncesi ve sonrası Denizciler Lisesi için elde edilen doğal titreşim frekansları

Mod	Güçlendirme Öncesi Frekans Değeri (Hz)			Güçlendirme Sonrası Frekans Değeri (Hz)		
	VIEW 2002	MATLAB	ETABS	VIEW 2002	MATLAB	ETABS
	Zorlanmış	Ortamsal	Analitik	Zorlanmış	Ortamsal	Analitik
1	6.812	7.060	2.399	8.936	7.530	5.574
2	6.982	7.450	4.128	8.496	9.420	6.325
3			5.446			8.912
4			6.939			18.518
5			10.449			21.551

Çizelge 4.21. Güçlendirme öncesi ve sonrası Denizciler Lisesi için elde edilen modal sönüm oranları

Sensör Numarası	Güçlendirme Öncesi Sönüm Oranı (%)			Güçlendirme Sonrası Sönüm Oranı (%)		
	VIEW 2002		MATLAB	VIEW 2002		MATLAB
	X Yönü	Y Yönü		X Yönü	Y Yönü	
MR1	2.46	3.29	---	0.90	2.39	---
MR2	3.12	---	---	3.40	3.72	---

Denizciler Lisesi binasının güçlendirme öncesinde birinci frekans değeri 6.812 Hz, ikinci frekans değeri 6,982 Hz olarak belirlenmiştir. Güçlendirme sonrasında bu değerler sırasıyla 8,936 Hz ve 8,496 Hz şeklinde değişmiştir. Birinci frekans değeri baz alınarak yapının frekansı %31,2 oranında değişmiştir.

Çizelge 4.22. Güçlendirme öncesi ve sonrası Hüseyin Özbuğday Lisesi için VIEW 2002 programından elde edilen doğal titreşim frekansları

Sensör Numarası	Güçlendirme Öncesi Frekans Değeri (Hz)		Güçlendirme Sonrası Frekans Değeri (Hz)	
	VIEW 2002		VIEW 2002	
	X Yönü	Y Yönü	X Yönü	Y Yönü
MR1	3.381	9.912	4.993	9.875
MR2	3.381	4.102	4.993	4.993
MR3	3.381	4.102	4.980	---
MR4	3.381	4.102	4.980	4.980
MR5	---	---	---	---

Çizelge 4.23. Güçlendirme öncesi ve sonrası Hüseyin Özbuğday Lisesi için elde edilen doğal titreşim frekansları

Mod	Güçlendirme Öncesi Frekans Değeri (Hz)			Güçlendirme Sonrası Frekans Değeri (Hz)		
	VIEW 2002	MATLAB	ETABS	VIEW 2002	MATLAB	ETABS
	Zorlanmış	Ortamsal	Analitik	Zorlanmış	Ortamsal	Analitik
1	3.381	4.140	1.418	4.993	4.840	4.916
2	4.102	4.900	4.019	4.993	4.970	5.605
3		5.650	6.333		5.070	8.169
4			4.589		6.690	12.531
5			8.576		6.740	18.115

Çizelge 4.24. Güçlendirme öncesi ve sonrası Hüseyin Özbuğday Lisesi için elde edilen modal sönüm oranları

Sensör Numarası	Güçlendirme Öncesi Sönüm Oranı (%)			Güçlendirme Sonrası Sönüm Oranı (%)		
	VIEW 2002		MATLAB	VIEW 2002		MATLAB
	X Yönü	Y Yönü		X Yönü	Y Yönü	
MR1	4.51	5.86	---	1.63	0.79	---
MR2	4.49	5.68	---	1.63	1.21	---

Hüseyin Özbuğday Lisesi binasının güçlendirme öncesinde birinci frekans değeri 3.381 Hz, ikinci frekans değeri 4,102 Hz olarak belirlenmiştir. Güçlendirme sonrasında bu değerler sırasıyla 4,993 Hz ve 4,993 Hz şeklinde değişmiştir. Birinci frekans değeri baz alınarak yapının frekansı %47,7 oranında değişmiştir.

Çizelge 4.25. Güçlendirme öncesi ve sonrası Antakya Ticaret Lisesi için VIEW 2002 programından elde edilen doğal titreşim frekansları

Sensör Numarası	Güçlendirme Öncesi Frekans Değeri (Hz)		Güçlendirme Sonrası Frekans Değeri (Hz)	
	VIEW 2002		VIEW 2002	
	X Yönü	Y Yönü	X Yönü	Y Yönü
MR1	6.384	4.614	6.177	5.481
MR2	6.384	4.602	6.177	5.481
MR3	6.384	4.614	6.189	5.481
MR4	---	---	5.481	---
MR5	---	---	---	---

Çizelge 4.26. Güçlendirme öncesi ve sonrası Antakya Ticaret Lisesi için elde edilen doğal titreşim frekansları

Mod	Güçlendirme Öncesi Frekans Değeri (Hz)			Güçlendirme Sonrası Frekans Değeri (Hz)		
	VIEW 2002	MATLAB	ETABS	VIEW 2002	MATLAB	ETABS
	Zorlanmış	Ortamsal	Analitik	Zorlanmış	Ortamsal	Analitik
1	4.614	4.370	1.371	6.177	5.360	3.594
2	6.384	4.540	1.527	5.481	5.420	4.251
3		5.430	2.047		6.080	7.262
4		6.040	3.232			13.850
5			3.521			14.224

Çizelge 4.27. Güçlendirme öncesi ve sonrası Antakya Ticaret Lisesi için elde edilen modal sönüm oranları

Sensör Numarası	Güçlendirme Öncesi Sönüm Oranı (%)			Güçlendirme Sonrası Sönüm Oranı (%)		
	VIEW 2002		MATLAB	VIEW 2002		MATLAB
	X Yönü	Y Yönü		X Yönü	Y Yönü	
MR1	4.08	5.20	---	5.55	1.37	---
MR2	4.19	5.74	---	5.65	1.37	---

Antakya Ticaret Lisesi binasının güçlendirme öncesinde birinci frekans değeri 4.614 Hz, ikinci frekans değeri 6,384 Hz olarak belirlenmiştir. Güçlendirme sonrasında bu değerler sırasıyla 6,177 Hz ve 5,481 Hz şeklinde değişmiştir. Birinci frekans değeri baz alınarak yapının frekansı %33,9 oranında değişmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Sonuç

Hatay ilinde bulunan Denizciler Lisesi, Hüseyin Özbuğday Lisesi ve Antakya Ticaret Lisesi Binaları üzerinde güçlendirme öncesi ve güçlendirme sonrası zorlanmış titreşim testi yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen bu çalışmada,

- Denizciler Lisesi binasının güçlendirme öncesinde birinci frekans değeri 6.812 Hz, ikinci frekans değeri 6,982 Hz olarak belirlenmiştir. Güçlendirme sonrasında bu değerler sırasıyla 8,936 Hz ve 8,496 Hz şeklinde değişmiştir. Birinci frekans değeri baz alınarak yapının frekansı %31,2 oranında artış göstermiştir.
- Hüseyin Özbuğday Lisesi binasının güçlendirme öncesinde birinci frekans değeri 3.381 Hz, ikinci frekans değeri 4,102 Hz olarak belirlenmiştir. Güçlendirme sonrasında bu değerler sırasıyla 4,993 Hz ve 4,993 Hz şeklinde değişmiştir. Birinci frekans değeri baz alınarak yapının frekansı %47,7 oranında artış göstermiştir.
- Antakya Ticaret Lisesi binasının güçlendirme öncesinde birinci frekans değeri 4.614 Hz, ikinci frekans değeri 6,384 Hz olarak belirlenmiştir. Güçlendirme sonrasında bu değerler sırasıyla 6,177 Hz ve 5,481 Hz şeklinde değişmiştir. Birinci frekans değeri baz alınarak yapının frekansı %33,9 oranında artış göstermiştir.
- Zorlanmış titreşim testlerinden modal sönüm oranlarının genel olarak azaldığı görülmüştür.

Bu çalışmada kullanılan zorlanmış titreşim testi yöntemiyle binalar üzerinde gerçekleştirilen ölçümlerden elde edilen veriler yardımıyla,

- Binaların güçlendirme öncesi ve güçlendirme sonrası dinamik karakteristiklerin nasıl değişim gösterdiğinin kolaylıkla belirlenebileceği,
- Deprem yüklerine göre yapılacak güçlendirme çalışmalarında, binalarda burulma düzensizliği olup olmadığının belirlenebileceği,

- Binaların dinamik davranışlarının belirlenmesi amacıyla oluşturulacak analitik modellerin binanın mevcut durumu için gerçekleştirilecek ölçümlerden elde edilecek sonuçlara göre iyileştirilebileceği,
- Binaların hasar durumlarının bina üzerinde hasarsız ve hasarlı durumlar için gerçekleştirilecek ölçüm sonuçlarına göre değerlendirilebileceği,

düşünülmektedir.

Yapıların zorlanmış titreşim deneyi ile bulunan periyotları ile ETABS modellerinden elde edilen periyotları arasındaki farklar, yapıların modellenmesinde genellikle göz önüne alınmayan taşıyıcı olmayan duvarlardan, modellemede dikkate alınan ölü ve hareketli yük ile gerçekte varolan ölü ve hareketli yüklerin farklı olmasından kaynaklanabilir. 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.

5.2 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

- Alıciođlu, B., 2004. **Ambient Vibration Signature Analysis With Subspace Methods: Case Studies**. B.S., in C.E., Middle East Technical University.
- Anonymous, 2002. Field Testing and Monitoring of Structural Performance, <http://cee.ea.ucla.edu/nees/index.htm>. University of California, Los Angeles.
- Atanç, V.İ., 2009. **Mevcut Yapıların Dinamik Karakteristik Özelliklerinin Titreşim Deneyleri İle Bulunması**. Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi, 99 s., Hatay.
- Atalay, B., Çelebi, M., Erdik, M., Gülkan, P., Yılmaz, Ç., and Yüzügüllü, Ö., 1981. **Forced Vibration Experiments of Structures**. METU/EERC Final Report, Ankara.
- Bayraktar, A., Türker, T., Altunişik, A.C., Sevim, B., Şahin, A., Özcan, D.M., 2010. Binaların Dinamik Parametrelerinin Operasyonel Modal Analiz Yöntemleriyle Belirlenmesi. **İMO Teknik Dergi**, (337): 5185-5205.
- Bradford, S. C., Clinton, J.F., Favela, J., and Heaton, T. H., 2004. **Results of Millikan Library Forced Vibration Testing**. Report No. EERL 2004-03, California Institute of Technology Earthquake Engineering Research Laboratory, Pasadena, California.
- Campbell, S., Kwok, K.C.S., Hitchcock, P.A., 2005. Dynamic characteristics and wind-induced response of two high-rise residential buildings during typhoons. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, 93 : 461–482.
- Cao, H., Ellis, B.R., Littler, J.D., 1977. 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: 81-93.
- Chopra, A.K., 1995. **Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering**. Prentice Hall, Inc., Upper Saddle River, NJ.
- Çelebi, M., Erdik, M., and Yüzügüllü, Ö., 1977a. **Vibration of Multi-Story R. C. Structure Cast in by Tunnel Forms**. METU/EERC Report No. 77-6, Ankara,.
- Çelebi, M., Erdik, M., and Yüzügüllü, Ö., 1977b. **Vibration of a Reinforced Concrete Frame w/o Infill Walls**. METU/EERC Report No. 77-3, Ankara.
- Çelebi, M., Erdik, M., Yüzügüllü, Ö., and Gülkan, P., Gürpınar, A., Yüçemen, S., Bayülke, N., 1977. **Vibration of a Ten Story Reinforced Concrete Structure**. METU/EERC Report No. 77-1, Ankara.
- Çelebi, M., 1996. Comparison of damping in buildings under low-amplitude and strong motions. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**.

- Çelebi, M., February 2003. Identification of Site Frequencies from Building Records. **Earthquake Spectra**, 19(1): 1–23.
- Çelik, C.O., JUNE 2002. **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.
- De Sortis, A., Antonacci, E., Vestroni, F., 2005. Dynamic identification of a masonry building using forced vibration tests. **Engineering Structures** 27: 155–165.
- Ellis, B.R., Bougard, A.J., 2001. Dynamic testing and stiffness evaluation of a six-storey timber framed building during construction. **Engineering Structures** 23: 1232–1242.
- Erdik, M., Yüzügüllü, Ö., Atalay, B., and Yılmaz, Ç., 1978. **Sincan Yenikent Housing Complex Vibration Tests**. METU/EERC Report No. 78-8, Ankara.
- Erdik, M., Yüzügüllü, Ö., and Atalay, B., 1978. **Vibration of an 8-Story R. C. Building with Brick Infill Walls**. METU/EERC Report No. 78-7, Ankara.
- Erdik, M., Yüzügüllü, Ö., Atalay, B., and Yazar, E., 1981. **Forced Vibration Experiments on Heavy Panel Prefabricated Structures**. METU/EERC Report No. 81-01, Ankara.
- Foutch, D. A., 1976. **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.
- Genes, M.C., Bikce, M., Kacin, S., Akyuz, U., Gülkan, P., Abrahamczyk, L., Schwarz, J., 2008. **Instrumental Testing of Rc Frame Structures and Analytical Reinterpretation of Response Characteristics**, The 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China
- Ivanovic, S.S., Trifunac, M.D., Todorovska, M.I., December 2000. Ambient Vibration Tests Of Structures. **ISET Journal of Earthquake Technology**, 37(4): 165-197.
- Ivanovic, S.S., Trifunac, M.D., Novikova, E.I., Gladkov, A.A., Todorovska, M.I., 11 May 2000. Ambient vibration tests of a seven-story reinforced concrete building in Van Nuys, California, damaged by the 1994 Northridge earthquake. **Soil Dynamics and Earthquake Engineering**, 19: 391-411.
- Jennings, P.C., Matthiesen, R.B., and Hoerner, J.B., 1971. **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.
- Kirikkaya, A., **Comparative vulnerability of RC frames (with masonry infill) – Case study for residential building with 7 and more stories in Antakya (Turkey) (60610)**.

- Kohler, M.D., Davis, M.P., and Şafak, E., August 2005. Earthquake and Ambient Vibration Monitoring of the Steel-Frame UCLA Factor Building. **Earthquake Spectra**, 21(3): 715–736.
- Li, Q.S., Wu, J.R., Liang, S.G., Xiao, Y.Q., and Wong, C.K., 2004. Full-scale measurements and numerical evaluation of wind-induced vibration of a 63-story reinforcedconcrete tall building. **Engineering Structures** 26: 1779–1794.
- Petrovski, J., Stephen, R. M., Gartenbaum, E., and Bouwkamp, J. G., 1976. **Dynamic Behavior of a Multistory Triangular-Shaped Building**. Report No. EERC 76-3, University of California, Berkeley, California.
- Razegi, D. M., 2005. Investigation of the changes of dynamic properties of the buildings to amplitude of vibrations. Master's Thesis, Tabriz University.
- Rea, D., Bouwkamp, J. G., and Clough, R. W., 1968. **Dynamic Properties of McKinley School Buildings**. Report No. EERC 68-4, University of California, Berkeley, California.
- Stephen, R. M., Wilson, E. L., Bouwkamp, J. G., and Button, M., 1978. **Dynamic Behavior of a Pedestal Base Multistory Building**. Report No. EERC 78-13, University of California, Berkeley, California.
- Stephen, R. M., Hollings, J. P., and Bouwkamp, J. G., 1973. **Dynamic Behavior of a Multistory Pyramid Shaped Building**. Report No. EERC 73-17, University of California, Berkeley, California.
- Şafak, E., and Çelebi, M., 1990. Method To Estimate Center Of Rigidity Using Vibration Recordings. **Journal of Structural Engineering**, ASCE, 116 (1).
- Şafak, E., 16-20 Ekim 2007. Yapı Titreşimlerinin İzlenmesi: Nedir, Neden Yapılır, Nasıl Yapılır, Ve Ne Elde Edilir?. **Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı**, İstanbul.
- Trifunac, M. D., 1970. **Wind and microtremor induced vibrations of a 22- storysteel frame building** Report No. EERL 70-110 Earthquake Engineering Research Laboratory., Clifornia institute of Technology., pasadena, California.
- TS 500, Şubat 2000. Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları.
- 107M445 numaralı **Aletsel ve Sayısal Dataların Birleştirilmesi Karma Yaklaşımına Dayanan Betonarme Çerçevesi Yapıların Hasar ve Sismik Karakteristiklerinin İncelenmesi** konulu TÜBİTAK Projesi sonuç raporu

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her aşamasında büyük bir titizlik, sabır ve özveriyle bana destek olan, yol gösteren ve iyi bir bilimsel çalışma ortamı sağlayan danışman hocalarım, Sayın Prof. Dr. Ali Osman ATAHAN ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Selçuk KAÇIN' a sonsuz teşekkür ederim.

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

Bu çalışma, 110M371 numaralı TÜBİTAK Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Projesi kapsamında desteklenmiştir. Tez çalışmalarım sırasında manevi desteğini esirgemeyen, hayatımın her aşamasında bana destek olan ve bu günlere gelmemi sağlayan babam Şadi ÜNLÜSOY ve annem Gülfidan ÜNLÜSOY' a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Üstün ÜNLÜSOY

İSKENDERUN 2011

ÖZGEÇMİŞ

1987 yılında Muğla' da doğdum. İlk ve orta öğrenimimi Muğla Cumhuriyet İlköğretim Okulu'nda, lise öğrenimimi ise Muğla Anadolu Lisesi'nde tamamladım. 2005 yılında Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'ne girmeye hak kazandım. İlgi duyduğum çelik alanında “Her İki Doğrultuda Süneklik Düzeyi Normal Çerçevelerden Oluşan Beş Katlı Çelik Bina” konusu hakkında lisans bitirme tezimi tamamladım ve Bölüm 2.si olarak 2009 yılında mezun oldum. 2009 yılının güz döneminde Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'ne bağlı İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Mühendisliği programına başladım ve yüksek lisans ders programımı 2010 yılında tamamladım. Yüksek lisans eğitimime TÜBİTAK destekli olan “**GÜÇLENDİRİLMİŞ OKUL BİNALARININ DİNAMİK KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**” adlı projede burslu öğrenci olarak devam etmekteyim.