

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YAPI TANI TEKNİKLERİ KULLANILARAK
YAPILARIN HASAR TESPİTİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Yüşa Gökhan DURGUN**

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : YAPI
Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Muharrem AKTAŞ
Ortak Danışman : Yrd. Doç. Dr. Mustafa KUTANİS

Haziran 2013

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YAPI TANI TEKNİKLERİ KULLANILARAK
YAPILARIN HASAR TESPİTİ

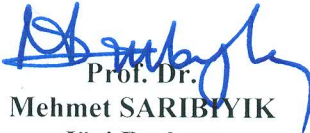
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yüşa Gökhan DURGUN

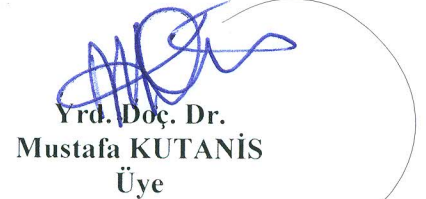
Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

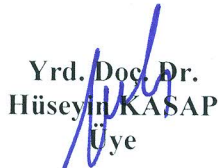
Enstitü Bilim Dalı : YAPI

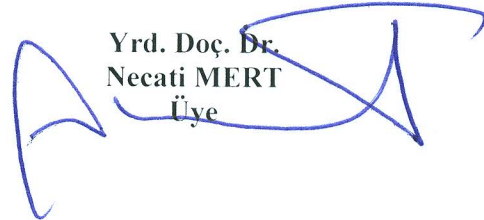
Bu tez 28 / 06 /2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.


Prof. Dr.
Mehmet SARIBYIK
Jüri Başkanı


Yrd. Doç. Dr.
Muharrem AKTAS
Üye


Yrd. Doç. Dr.
Mustafa KUTANIS
Üye


Yrd. Doç. Dr.
Hüseyin KASAP
Üye


Yrd. Doç. Dr.
Necati MERT
Üye

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışmalarım sırasında değerli bilgi birikimini, tecrübelerini ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen, değerli hocam Sn. Yrd. Doç. Dr. Muharrem AKTAŞ'a minnet ve şükranlarımı sunarım.

Çalışmam sırasında bilgilerini esirgemediği çalışmalarına yön veren ve karşılaştığım zorluklarda feraha çıkmamı sağlayan değerli hocam Sn. Yrd. Doç. Dr. Mustafa KUTANİS'e minnet ve şükranlarımı sunarım.

Eğitim hayatım boyunca attığım her adımda desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen kıymetli annem, babam, kız kardeşim ve halama şükranlarımı sunarım.

Çalışmamın her aşamasında yanımda olan, her daim moral veren ve bu zorlu maratonda yükümü hafifleten değerli eşim ve tatlı kızıma minnet ve şükranlarımı sunarım.

Çalışmalarım sırasında yanımda bulunan ve zor zamanlarımda bana destek olan Sakarya Üniversitesi'ndeki tüm değerli mesai arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca Sakarya Üniversitesi BAPK'a verdikleri desteklerden dolayı teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ	xii
ÖZET.....	xiii
SUMMARY.....	xiv

BÖLÜM 1.

GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı	2
1.2. Konunun Tarihsel Gelişimi	2
1.3. Literatür Çalışmaları	3

BÖLÜM 2.

YAPI TANI.....	5
2.1. Yapı Tanı Tekniği	5
2.1.1. Zorlanmış titreşim (Forced vibration).....	6
2.1.2. Çevrel titreşimler (Ambient vibration)	6
2.2. Veri Analizi	7
2.2.1. Temel çizgisi hatası düzeltme	8
2.2.2. Filtreleme	8
2.2.2.1. Alçak geçiren (Low pass) filtre.....	10
2.2.2.2. Yüksek geçiren (High pass) filtre	10
2.2.2.3. Band geçiren (Band pass) filtre.....	11
2.2.2.4. Band blok (Band block) filtre	11

BÖLÜM 3.

VERİ TOPLAMA	13
3.1. İvmeölçerler	14
3.2. Veri Toplama Kartı	14
3.3. LabVIEW Yazılımı.....	15
3.4. Sarsma Tablası	16
3.5. Sonlu Elemanlarla Modelleme (SEM).....	17
3.5.1. SAP2000 programı.....	18
3.5.2. SAP2000 ile modal analiz.....	19

BÖLÜM 4.

DENEYSEL ÇALIŞMA	21
4.1. Hazırlık Aşaması Ve Deney Düzeneğinin Hazırlanması.....	21
4.2. Tek Katlı Yapı Modeli İle Elastisite Modülünün Belirlenmesi	27
4.3. Üç Katlı Yapı Modeli	29
4.4. Üç Katlı Yapı Modeli İçin Oluşturulan Deney Programı.....	30
4.5. Üç Katlı Yapı Modeli Deneyleri	32
4.6. Etkin Periyodun Hesaplanması	34
4.7. Sönüm Oranı Hesabı	35
4.8. Modal Frekansların Elde Edilmesi: Hasarsız Yapı.....	36
4.9. Modal Frekansların Elde Edilmesi: Hasarlı Yapı.....	37
4.9.1. Hasarlı Yapı: ZS2 hasarlı	38
4.9.2. Hasarlı Yapı: ZS2-1S2 hasarlı.....	39
4.9.3. Hasarlı Yapı: ZS2-1S2-2S2 hasarlı	40
4.9.4. Hasarlı Yapı: ZS2-1S2-2S2-3S2 hasarlı.....	41
4.9.5. Hasarlı Yapı: ZS6 hasarlı, ZS6-1S6 hasarlı, ZS6-1S6-2S6 hasarlı ZS6-1S6-2S6-3S6 hasarlı, ZS3 hasarlı, ZS3-1S3 hasarlı, ZS3-1S3- 2S3 hasarlı, ZS3- 1S3-2S3-3S3 hasarlı, ZS7 hasarlı ZS7-1S7 hasarlı, ZS7-1S7-2S7 hasarlı, ZS7-1S7-2S7-3S7 hasarlı.....	42

BÖLÜM 5.

ANALİTİK MODEL	48
5.1. Malzeme Özelliği Ve Sınır Şartları	49

5.2. Ağ Örgüsü	49
5.3. Analitik Model İle Modal Analiz Verilerinin Elde Edilmesi:	
Hasarsız Yapı.....	51
5.4. Analitik Model İle Modal Analiz Verilerinin Elde Edilmesi:	
Hasarlı Yapı.....	52
5.4.1. Hasarlı Yapı: ZS1 hasarlı	52
5.4.2. Hasarlı Yapı: ZS1-1S1 hasarlı.....	53
5.4.3. Hasarlı Yapı: ZS1-1S1-2S1 hasarlı	54
5.4.4. Hasarlı Yapı: ZS1-1S1-2S1-3S1 hasarlı.....	56
BÖLÜM 6.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	59
KAYNAKLAR.....	62
EKLER.....	64
ÖZGEÇMİŞ	81

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

C	: Sönüm Matrisi
cm	: Santimetre
E	: Elastisite Modülü
F_c	: Kesme Frekansı
F_{c1}	: Birinci Kesme Frekansı
F_{c2}	: İkinci Kesme Frekansı
f_1	: Birinci Modal Frekans
f_2	: İkinci Modal Frekans
f_3	: Üçüncü Mofal Frekans
$f(t)$: Kuvvet Vektörü
FFT	: Fast Fourier Transform
H	: Kat Yüksekliği
Hz	: Hertz
I	: Atalet Momenti
I\O	: Input\Output
K	: Rijitlik Matrisi
M	: Kütle Matrisi
m	: Kütle
mm	: Milimetre
MPa	: MegaPaskal
S	: Kolon
SEM	: Sonlu Elemanla Modelleme
St	: Çelik
T	: Periyot
$\ddot{U}(t)$: İvme Vektörü
$\dot{U}(t)$: Hız Vektörü

$U(t)$: Yerdeğiştirme Vektörü

ω : Açısal Frekans

ξ : Sönüm Oranı

δ : Logaritmik Azalım

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Periyodik bir fonksiyonun sinüs formlu fonksiyonlarla ifadesi...	9
Şekil 2.2.	Periyodik bir fonksiyonun spektrum analizi.....	9
Şekil 2.3.	Alçak geçiren low-pass filter.....	10
Şekil 2.4.	Yüksek geçiren high-pass filter.....	11
Şekil 2.5.	Band geçiren band-pass filter.....	11
Şekil 2.6.	Band block filter.....	12
Şekil 3.1.	Veri toplama ünitesinin şematik olarak gösterilmesi.....	13
Şekil 3.2.	Tek eksenli ivmeölçer.....	14
Şekil 3.3.	PowerDAQ veri toplama kartı.....	14
Şekil 3.4.	Sarsma tablası.....	16
Şekil 3.5.	Sarsma tablası tahrik mekanizması.....	17
Şekil 3.6.	Motor hız kontrol ünitesi.....	17
Şekil 4.1.	Kat levhası boyutları (mm).....	21
Şekil 4.2.	Sarsma tablasına ait bilyalı mekanizma.....	22
Şekil 4.3.	Sarsma tablası boyutları (mm).....	22
Şekil 4.4.	Yapı modelini oluşturan elemanlar (mm).....	23
Şekil 4.5.	Deney düzeneğine ait ekipmanlar.....	24
Şekil 4.6.	Bilyalı aksamaların temizlenmesi.....	25
Şekil 4.7.	Cıvata ve somunlarla oluşturulmuş birleşim.....	25
Şekil 4.8.	Deney sırasında alınan kamera kayıtları.....	26
Şekil 4.9.	LabVIEW komut penceresinde oluşturulmuş örnek veri kaydı....	27
Şekil 4.10.	Serbest titreşim için oluşturulan tek katlı yapı modeli.....	28
Şekil 4.11.	Tek katlı yapıya ait serbest titreşim ivme kaydı.....	28
Şekil 4.12.	Üç katlı yapı modeli.....	30
Şekil 4.13.	Rijit sarsma tablası.....	30
Şekil 4.14.	Kat seviyelerinde bulunan cıvatalı birleşimlerin gevşetilmesi.....	31

Şekil 4.15	Yapı modeline ait akslar ve kolon numaraları.....	32
Şekil 4.16.	Temel çizgisi hataları düzeltilmiş örnek ivme kayıtları.....	33
Şekil 4.17.	Temel çizgisi hatası düzeltilmiş örnek deplasman kayıtları.....	33
Şekil 4.18.	Filtrelenmiş ivme kayıtları.....	34
Şekil 4.19.	Filtrelenmiş ivme kayıtlarından elde edilen deplasman kaydı.....	34
Şekil 4.20.	Filtrelenmiş kayıtlardan elde edilen ivme spektrumu.....	35
Şekil 4.21.	Yapının serbest titreşim ivme kaydı.....	35
Şekil 4.22.	Yapının serbest titreşim deplasman kaydı.....	35
Şekil 4.23.	Hasarsız yapı deneyine ait FFT ile hesaplanmış frekans içeriği...	37
Şekil 4.24.	ZS2 Hasarlı kolon deneyi için oluşturulmuş hasar durumu.....	38
Şekil 4.25.	ZS2 Hasarlı kolon deneyine ait FFT ile hesaplanmış frekans içeriği.....	39
Şekil 4.26.	ZS2-1S2 Hasarlı kolon deneyi için oluşturulmuş hasar durumu..	39
Şekil 4.27.	ZS2-1S2 Hasarlı kolon deneyine ait FFT ile hesaplanmış frekans içeriği	40
Şekil 4.28.	ZS2-1S2-2S2 Hasarlı kolon deneyi için oluşturulmuş hasar durumu.....	40
Şekil 4.29.	ZS2-1S2-2S2 Hasarlı kolon deneyine ait FFT ile hesaplanmış frekans içeriği.....	41
Şekil 4.30	ZS2-1S2-2S2-3S2 Hasarlı kolon deneyi için oluşturulmuş hasar durumu.....	41
Şekil 4.31.	ZS2-1S2-2S2-3S2 Hasarlı kolon deneyine ait FFT ile hesaplanmış frekans içeriği.....	42
Şekil 4.32.	ZS6 Hasarlı kolon deneyine ait FFT ile hesaplanmış frekans içeriği.....	43
Şekil 4.33.	ZS6-1S6 Hasarlı kolon deneyine ait FFT ile hesaplanmış frekans içeriği.....	43
Şekil 4.34.	ZS6-1S6-2S6 Hasarlı kolon deneyine ait FFT ile hesaplanmış frekans içeriği.....	43
Şekil 4.35.	ZS6-1S6-2S6-3S6 Hasarlı kolon deneyine ait FFT ile hesaplanmış frekans içeriği.....	44
Şekil 4.37.	ZS3-1S3 Hasarlı kolon deneyine ait FFT ile hesaplanmış frekans içeriği.....	44

Şekil 4.38.	SZ3-S13-S23 Hasarlı kolon deneyine ait FFT ile hesaplanmış frekans içeriği.....	45
Şekil 4.39.	SZ3-S13-S23-S33 Hasarlı kolon deneyine ait FFT ile hesaplanmış frekans içeriği.....	45
Şekil 4.40	ZS7 Hasarlı kolon deneyine ait FFT ile hesaplanmış frekans içeriği.....	45
Şekil 4.41.	ZS7-1S7 Hasarlı kolon deneyine ait FFT ile hesaplanmış frekans içeriği.....	46
Şekil 4.42.	ZS7-1S7-2S7 Hasarlı kolon deneyine ait FFT ile hesaplanmış frekans içeriği.....	46
Şekil 4.43.	ZS7-1S7-2S7-3S7 Hasarlı kolon deneyine ait FFT ile hesaplanmış frekans içeriği.....	46
Şekil 5.1.	Sonlu Elemanlarda kullanılan eleman tipleri.....	49
Şekil 5.2.	Analitik model için oluşturulmuş ağ örgüsü sıklıkları.....	50
Şekil 5.3.	Hasarsız yapı deneyi için sonlu eleman modelinde oluşturulmuş mesnetler.....	51
Şekil 5.4.	Hasarsız yapı deney modeli için elde edilmiş mod şekilleri ve modal frekanslar.....	52
Şekil 5.5.	ZS1 Hasarlı yapı deneyi için sonlu eleman modeline tanımlanmış hasar durumu.....	53
Şekil 5.6.	ZS1 Hasarlı yapı deney modeli için elde edilmiş mod şekilleri ve modal frekanslar.....	53
Şekil 5.7.	ZS1-1S1 Hasarlı yapı deneyi için sonlu eleman modeline tanımlanmış hasar durumu.....	54
Şekil 5.8.	ZS1-1S1 Hasarlı yapı deney modeli için elde edilmiş mod şekilleri ve modal frekanslar.....	54
Şekil 5.9.	ZS1-1S1-2S1 Hasarlı yapı deneyi için sonlu eleman modeline tanımlanmış hasar durumu.....	55
Şekil 5.10.	ZS1-1S1-2S1 Hasarlı yapı deney modeli için elde edilmiş mod şekilleri ve modal frekanslar.....	55
Şekil 5.11.	ZS1-1S1-2S1-3S1 Hasarlı yapı deneyi için sonlu eleman modeline tanımlanmış hasar durumu.....	56

Şekil 5.12.	ZS1-1S1-2S1-3S1 Hasarlı yapı deneyi için elde edilmiş mod şekilleri ve modal frekanslar.....	57
Şekil 6.2.	FFT ve SAP2000 modelinden elde edilen ikinci modal frekans değeri.....	60
Şekil 6.3.	FFT ve SAP2000 modelinden elde edilen üçüncü modal frekans değeri.....	60

TABLolar LİSTESİ

Tablo 4.1.	Malzeme özellikleri.....	29
Tablo 4.2.	Deney numarası ve deney türü.....	32
Tablo 4.3.	Uygulanan sinüsoidal kuvvetlere ait girdiş-çıkış frekansları.....	33
Tablo 4.4.	Deneyisel çalışma sonrası FFT ile elde edilen modal frekanslar...	47
Tablo 5.1.	Sonlu Eleman Modeli İle Elde Edilen Modal Frekanslar.....	58

ÖZET

Anahtar kelimeler: Yapı tanı, kayıt filtreleme, dinamik karakteristik belirleme, sarsma tablası, çelik yapı modeli

Yapılan yüksek lisans tez çalışması kapsamında inşaat mühendisliğinde 20. yüzyılın son çeyreğinde kullanılmaya başlanan yapı tanı teknikleri kullanılarak 3 katlı çelik bir yapı modelinin dinamik karakteristikleri belirlenmiştir. Deney modeli üzerine kat seviyelerinde ivmeölçerler yerleştirilmiştir. Katlarda bulunan ivmeölçerlerden alınan titreşim verileri Seismosignal programında çeşitli filtreler kullanılarak temizlenmiştir. Elde edilen temizlenmiş titreşim verilerinden Matlab programında oluşturulmuş kodlar kullanılarak deney modelinin dinamik karakteristikleri elde edilmiştir. Ardından yapılan bu işlem sistemin bazı kolonlarına hasar verilerek tekrarlanmış ve dinamik değişimler hesaplanmıştır.

Son olarak hem hasarlı hem de hasarsız deney modeli için SAP2000 programında analitik modeller oluşturulmuş, oluşturulan yapı modelleri analiz edilmiş, analiz ardından elde edilen dinamik karakteristiklerin deney modelinden elde edilen sonuçlarla olan ilişkileri tespit edilmiştir.

STRUCTURAL DAMAGE IDENTIFICATION USING STRUCTURAL IDENTIFICATION TECHNIQUES

SUMMARY

Key Words: Structural Identification, Signal Filtering, Dynamic Characteristic Identification, Shaking Table, Steel Structure Model

In this master thesis scope, dynamic characteristics of three-storey steel structure test model were identified by using structural identification techniques which has been started to use in civil engineering for the last quarter century. The accelerometers were replaced to storeys in the floor level. The vibration datas which were recorded by accelerometers were cleared by Seismosignal programme with some kind of filters. The dynamic model characteristics were taken from corrected datas by created Matlab codes. This process were repeated by giving damage to some columns and dynamic variations were monitored.

Finally, analytical models were created in SAP2000 program for each of damaged and undamaged test models, analytical models were analyzed, the relationships were identified from each analytical and test models.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Aktif deprem kuşağında bulunan ülkeler, yaşanan depremlerin ardından ağır can ve mal kayıpları yaşamıştır. Deprem, yağmur, kar, rüzgar gibi doğal bir olay olduğu halde, insanoğlu bunu afete dönüştürmüştür. Deprem de ekolojik dengenin bir unsurudur. İnşaat mühendisliği açısından 100 yılı aşkın bir süre depreme dayanıklı yapı tasarım felsefesi iyi bilinmekle beraber, çeşitli nedenlerle (cahillik, fakirlik, vs.) deprem tasarımı hala büyük sorun teşkil etmektedir.

Yapı ve deprem mühendisliği kapsamında incelenen bu konular özellikle son yıllarda geniş çalışma alanlarının ortaya çıkmasını sağlamıştır. Bununla birlikte gelişen bilgisayar programları ve elektronik teknolojileri, birçok mühendislik disiplininin inşaat mühendisliğiyle birlikte çalışmasına imkan tanımıştır.

Hazırlanan yönetmelikler yapılan deneysel ve teorik çalışmalarla sürekli güncellenmesine rağmen, çalışmaların teorik kısımlarından sınır şartları, malzeme davranış modeli v.b. parametrelerdeki değişimlerin belirsizliğinden tam olarak anlaşılabilir değildir. Bu nedenle problemin doğru yorumlanabilmesi için deneysel çalışmalar büyük önem taşımaktadır.

Yapıların dinamik davranışının daha gerçekçi anlaşılabilmesinin yollarından birisi de sarsma tablası deneyleridir. Bu deney düzeneklerinde hazırlanan modeller üzerine belirli noktalara yerleştirilmiş ivmeölçer veya deplasman ölçerler aracılığıyla zamana bağlı değişen parametrelere ait veriler elde edilebilmektedir.

İnşaat mühendisliğinde son çeyrek asırda kullanımına başlanılmış bu metod “yapı tanı teknikleri” (structural identification) olarak adlandırılmaktadır. Elde edilen verilerin işlenmesinin ardından mod şekilleri, sönüm oranları, yapısal frekansları gibi yapının dinamik karakteristik özelliklerinin yanı sıra, imalat sırasında oluşan

kusurlardan dolayı malzemenin fiziksel özelliklerinde oluşan değişimlerin yapı davranışına nasıl etkideği daha açık bir şekilde anlaşılabilir.

Elde edilen veriler sayesinde yapı modelinin parametrelerindeki zamana bağlı değişimler belirlenebilir. Böylece yapılan sarsma tablası deneylerinden gerçek zamanlı veriler elde edilerek, yapılan analizlerin yorumu daha gerçekçi yapılabilmektedir.

1.1. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada sarsma tablası üzerine kurulmuş 3 katlı çelik yapı modelinin taşıyıcı elemanlarındaki hasar ve hasarsızlık durumlarının yapının dinamik karakteristiklerinde ne tür değişimlere sebep olduğu yapı tanı teknikleri kullanılarak belirlenmiştir. Yapı modeli katlarına yerleştirilmiş tek eksenli ivmeölçerler kullanılarak yapı modeli katlarından ivme kayıtları alınmıştır. Alınan kayıtlar sinyal işleme tekniklerine tabi tutularak sönüm oranı, mod şekilleri ve yapısal frekanslar hem hasarlı, hem de hasarsız modeller için elde edilmiştir. Ayrıca analitik modelleri de oluşturulan hasarlı ve hasarsız yapı modellerinden elde edilen sonuçlar, kurulan deney modelinden elde edilen sonuçlarla kıyaslanmıştır.

1.2. Konunun Tarihsel Gelişimi

Titreşim ile ilgili çalışmaları, bilim tarihi içinde milattan önce 6.yüzyılda Pythagoras'un [572-512 M.Ö.] halat titreşim deneylerinden günümüzde Den Hartog'un [1901-1989] klasik titreşim teorisinin temel prensiplerini formülize etmek için yürüttüğü titreşim deneylerine kadar süren bir tarih penceresinden izleyebiliriz. İki bin beş yüz yıllık titreşim çalışmalarında gözlem araçları şüphesiz büyük değişimler geçirmiş olmasına rağmen, uğraşılan titreşim problemleri farklı seviyelerde yeniden şekillenmiş ve hala gündemde çalışma konusu olmaya devam etmiştir. Titreşim ölçen sensörler ve veri toplama ekipmanları teknolojinin çok hızlı geliştiği son çeyrek yüzyılda büyük değişimler yaşamışlardır [1].

1950'li yılların başından itibaren ilk olarak petrol platformlarında oluşan hasarların tespiti amacıyla kullanılmaya başlayan bu teknik, sonrasında üretilen uçakların ve sürekli titreşime maruz kalan makine elemanlarında oluşan hasarların belirlenebilmesi amacıyla kullanılmıştır. Tekniğin inşaat mühendisliğinde kullanımı ise 1970 sonrası ortaya çıkmıştır. İlk olarak köprü ve viyadük yapılarında rüzgar ve deprem yüklerinin yapının dinamik özelliklerinde oluşturduğu değişimleri gözlemlemek amacıyla uygulanan sistemler günümüzde yüksek katlı önemli yapıların, köprü, viyadük ve tarihi yapıların izlenmesi şeklinde devam etmektedir.

1.3. Literatür Çalışmaları

Literatürde yapı tanı tekniklerinin kullanımıyla ilgili yerli ve yabancı birçok çalışma mevcuttur. Günümüzde tekniğin uygulanması ise belirli noktalardan alınan birçok deneysel verilerin kullanılmasına dayanmaktadır.

Yapısal hasarların yapı bütününde değerlendirilmesi yapı titreşimlerin gözlenmesi ile mümkündür. Yapıların dinamik karakteristiklerindeki değişimin ortaya konulmasıyla yapısal hasarların belirlenmesi mümkün olmaktadır. Hasarın belirlenmesinde kullanılan temel yaklaşım, yapının rijitliğinde meydana gelen bir azalma veya hasarın yapının dinamik davranışında değişim meydana getireceğidir. Bu değişim de doğal frekans, mod şekli, sönüm oranı ve frekans davranış fonksiyonlarında ortaya çıkmaktadır.

Hasar tespit amacıyla geliştirilen yöntemlerin bir kısmında direkt olarak dinamik karakteristiklerden yararlanılırken, bir kısmında ise dinamik karakteristiklerden türetilen ifadelerden yararlanılmaktadır [2].

Catbas ve arkadaşları [3], yaptıkları çalışmada üç açıklıklı köprü ile laboratuvar deney modeline dereceli olarak farklı senaryolarla hasarlar verilmiş, hasar durumları altında yapı elemanlarında oluşan deformasyonlar yapılan çalışma sonrasında oluşan hasarların kavramsal ve fiziksel açıdan tutarlı sonuçlar elde etmişlerdir.

Alemdar ve arkadaşları [2], tamamladıkları Tübitak projesinde ½ ölçekli tek katlı ve üç katlı betonarme bina modelleri inşa etmiş, ardından modeller üzerinde farklı hasar durumları oluşturularak dinamik değişimleri incelemiş ve oluşturulan sonlu eleman modelinde model güncellemesi yaparak analitik model ve deney modeli arasındaki uyum belirlenmiştir.

Kaya [4], yapmış olduğu yüksek tezinde dört bölmeli yan çelik çerçeve inşa etmiş, yapmış olduğu titreşim deneylerinden elde edilen kayıtlar işlenmiş ve analitik modelin kalibrasyonu için kod oluşturmuştur. Ardından analitik model oluşturulan kodlar yardımıyla kalibe edilerek deneysel verilerden elde edilen dinamik karakteristik ve analitik modelden elde edilen dinamik karakteristiklerin uyumu artırılmıştır.

Beyen ve arkadaşları [5], yaptıkları çalışmayla 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminde beş ve yedi kat arası farklı seviyelerde hasar görmüş betonarme binaların yapı tanı çalışmalarıyla mevcut durumun kontrolü ve kurulan sonlu eleman modeliyle tutarlılığı test etmiştir.

Beyen [6], yapmış olduğu çalışmayla 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi sonrası büyük hasarlar alan Fatih Camii ve kubbesinden çevrel titreşimler alınmış, spektral analizler ve parametrik analizler yapılmıştır. Elde edilen kayıtlar ışığında sistemin tek serbestlik ve çok serbestlik sistem verileri analiz edilmiştir. Yapılan spektral analizlerle geniş band modal frekanslar bulunmuş, parametrik analizlerle ise kalman filtre ve durum uzay modeller çalıştırılarak modal frekans değerleri ve mod şekilleri hesaplanmış, sonuçların hem tek hem de çok serbestlik dereceli sistem için frekans bakımından tutarlı olduğunu belirlemiştir.

Türer ve Boz [7], yaptıkları çalışmada iki bin iki yüz yılı aşkın süredir birçok depreme maruz kalan Aspendos Tiyatrosunun, çevrel titreşimler altında dinamik analizi gerçekleştirilmiş, elde edilen titreşim değerleri altında yapının doğal salının değerleri ve malzemenin elastisite modülü kullanılarak sonlu eleman modeli oluşturulmuştur. Elde edilen bilgiler ışığında yapının gerilme analizleri yapılmış ve deprem performansı açısından güvenliği belirlenmiştir.

BÖLÜM 2. YAPI TANI

2.1. Yapı Tanı Tekniği

Yapı tanı dinamik yüklere maruz kalan sistemlerden elde edilen verilere dayalı olarak çeşitli matematiksel algoritmalar yardımıyla yapıların dinamik karakteristiklerinin elde edilmesini sağlayan yöntemlerdir. Kullanılan veriler deneysel çalışmalar sonucu elde edilmektedir. Yapı tanı sonrası mevcut yapı sisteminin sönüm oranı, frekansları ve mod şekil parametreleri gibi dinamik karakteristikleri elde edilebilir.

Yapı tanı tekniğinin inşaat mühendisliğindeki asıl kullanım amacı yapı sisteminin hasarlı ve hasarsız durumunun yapının dinamik karakteristik değişimine yapmış olduğu etkinin nasıl olduğunu gözlemlemektir.

Yapı tanı prosedürü olarak girdi-çıkıtı ve sadece çıkıtı olmak üzere iki yöntem kullanılmaktadır.

Girdi-çıkıtı sistem tanımlama yöntemleri için hem sisteme uygulanan kuvvetin ölçülmesine, hem de sistemin bu uygulanan kuvvet sonucu verdiği tepkinin (ivme, gerilme, deplasman vb.) ölçülmesine ihtiyaç vardır. Sadece-çıkıtı sistem tanımlama yönteminde ise, yapıya uygulanan kuvvetin ölçülmesine gerek bulunmamaktadır. Bu tür sistem tanımlama yöntemleri inşaat mühendisliği yapıları için daha uygundur. Çünkü inşaat mühendisliği yapılarında sistemi harekete geçirecek bir uyarıyı vermek hem çok zor hem de maliyetli bir işlemdir [8].

İnşaat mühendisliği yapılarından, laboratuvar ortamında bulunan yapılarda titreşim tipi bilinen ve ölçülebilen uygulamalar yapılabilmektedir. Fakat laboratuvar dışında bu çalışmaları uygulamak, mühendislik yapılarının büyük olması ve deney için

kullanıma kapatılmasının maliyeti arttırmamasından, sadece-çıkı yöntemler tercih edilmektedir. Örneğin Boğaz Köprüsü gibi bir yapının kullanıma kapatılması ve köprünün kuvvetli bir şekilde uyarılması çok zordur. Ancak sadece-çıkı sistem tanımlama ile çevrel titreşimden faydalanarak yerinde gözlem yapılabilmesi daha uygun olmaktadır. Fakat bu tercih, gözlem yapılması istenen yapıya göre değişiklik göstermektedir [8].

Kullanılan bu iki yöntem zorlanmış titreşimler ve çevrel titreşimler şeklinde adlandırılmaktadır.

2.1.1. Zorlanmış titreşim (Forced vibration)

Yapılan çalışmalarda literatürde birçok zorlanmış etki altında yapı tanı çalışmasına rastlanmıştır. Sarsma tablaları ve sarsıcılarla yapılan titreşim bu başlık altında toplanabilmektedir. Bununla birlikte sisteme etkileyen titreşimin ölçülmesi için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Kullanılan ölçüm teknikleriyle girdi verilerinin doğru biçimde tanımlanması sağlanmaktadır.

Kullanılan bu yöntem dinamik karakteristiklerin elde edilmesi için çeşitli girdi verilerine ihtiyaç duymaktadır. Kullanılan yöntemin avantajları olarak sisteme uygulanan kuvvetin gürültü seviyesinin ortam gürültülerini ihmal edebilecek seviyede olabilmesi ve ayrıca etkileyen titreşimin sistemin tümüne uygulanabilmesinin yanında sadece istenilen lokasyonlarında da uygulanabilecek biçimde olabilmesidir.

Ani darbe etkisiyle titreşim durumunda ise sisteme uygulanan anlık kuvvetin etkisinin büyüklüğüne ihtiyaç duyulmamaktadır. Etki eden darbe sonrası oluşan tepki verilerinden sistemin dinamik karakteristikleri elde edilebilir.

2.1.2. Çevrel titreşimler (Ambient vibration)

Çevrel titreşimler yapı sisteminin normal kullanımı sırasında etkileyen yüklerin etkisiyle yapıda oluşan titreşimleri içermektedir. Kullanılan bu yöntemde, yapı sistemlerinin karmaşıklığı, sisteme etkileyen girdi kuvvetinin yerlerinin tam olarak

belirlenememesi ve mühendislik yapılarının devasa boyutlarda olmasının kullanılacak olan ekipmanlarda maliyet problemlerine yol açacağından girdi verileri elde edilememektedir. Bu tip etkimelerin titreşim kaynağının etki frekansları bilinmemekle beraber, frekans alanındaki girdi sinyalinin uniformluk bilgilerinin de elde edilememesiyle birlikte zorlanmış etkiyle uyarılmış yapı sisteminin titreşim öncesi yapıya etkileyen titreşimlerin frekanslarının, zorlanmış frekanslarla çakışması dinamik verilerin yanlış elde edilmesine sebep olabilir. Bu nedenle çevrel titreşimler yapı tanı sürecinde hem kolaylık hem de ekonomik açıdan yaygın kullanıma sahiptir [9].

Birçok inşaat mühendisliği yapısında kontrollü bir şekilde sistemin uyarılması zor olmaktadır. Çünkü gözlem yapılması istenen yapılar genelde büyük yapılardır. Ayrıca köprü gibi yapılarda sistemden trafik yükü, rüzgar yükü gibi etkileri ayırıştırarak gözlem yapmak zor, neredeyse olanaksızdır. Bunlara ek olarak yapı sahipleri de gözlem yapılması için, sistemin kullanıma kapatılıp gözlem yapılmasına ekonomik sebepler ile karşı çıkmaktadırlar [8].

2.2. Veri Analizi

Kullanılan ivmeölçerlerden alınan kayıtlar analiz edilmeden önce veri işleme olarak adlandırılan bir veri düzeltme ve filtreleme işlemlerine tabi tutulur. Yapılan bu işlemlerin amacı analizin kolaylaştırılması ve analiz sonucu oluşabilecek hata oranlarını da azaltmaktır. Alınan kayıtlar için uygulanan veri işleme süreci dört aşamada gerçekleşmektedir:

1. Verideki ortalama değerlerin ve lineer hataların düzenlenmesi (temel-çizgisi hatası düzeltmesi).
2. Gürültü yoğunluğunun fazla olduğu çok düşük ve yüksek frekanslı kısımların filtrelenmesi.
3. Yapının etkin en yüksek frekansının değerlendirilmesiyle gerekirse kaydın örnekleme aralığının yükseltilmesi.
4. Eğer sensörlerden alınan kayıtlar senkronize değilse analitik yöntemler kullanarak kayıtların senkronize edilmesi [10].

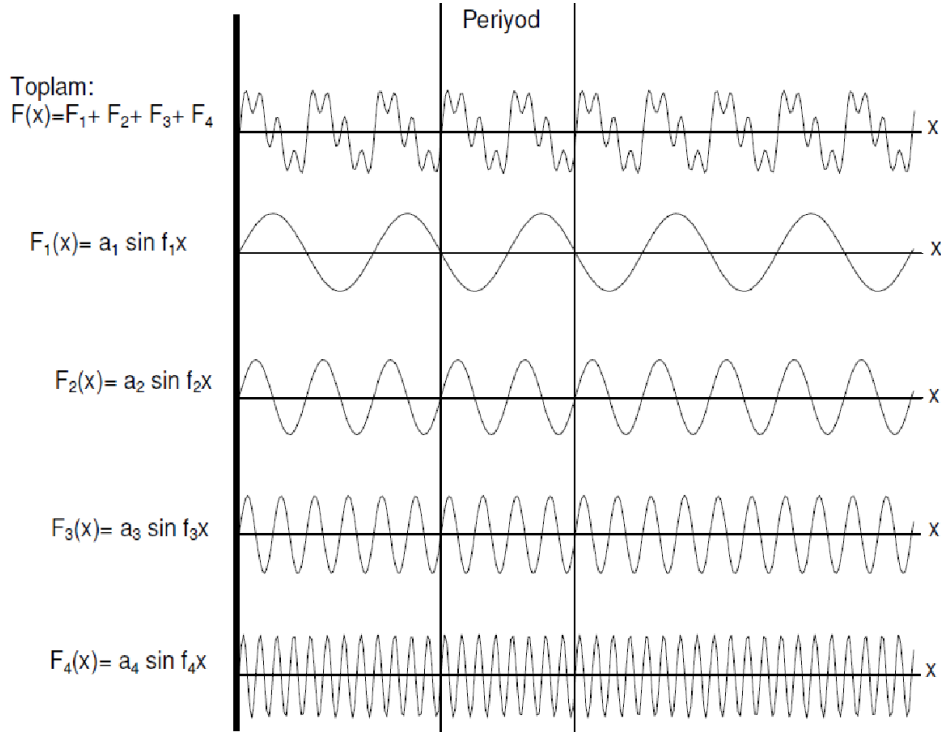
2.2.1. Temel çizgisi hatası düzeltme

Düşük frekanslarda sinyaller içeren ivme deplasman ve hız kayıtları, yüksek frekanslarda sinyaller içeren ivme kayıtları kadar birçok mühendislik çalışmalarında büyük önem arz etmektedir. Titreşimlerin etkisiyle ortaya çıkan kinetik enerji, hız ve deplasman değerlerinde büyük değişimlere yol açmaktadır [11].

Kullanılacak olan bu titreşim verileri ham olarak işleme tabi tutulduklarında yapı sisteminin karakteristiklerinin ve problemin yanlış çözümüne sebep olmaktadır. Özellikle yüksek katlı binalar, barajlar ve köprüler gibi periyodu büyük olan yapılarda problemin yanlış anlaşılması daha büyük sorunlara yol açmaktadır. Ayrıca kuvvetli yer hareketi gözleme aşamalarında ivme kayıtlarında bulunan düşük frekans içerikleri kayıtlardan elde edilen deplasman ve hız verilerinin kirlenmesine de sebep olmaktadır. Bu nedenle veri analizinin en önemli ve ilk aşaması kullanılacak kayıtlardaki temel çizgisi hataları giderilmelidir.

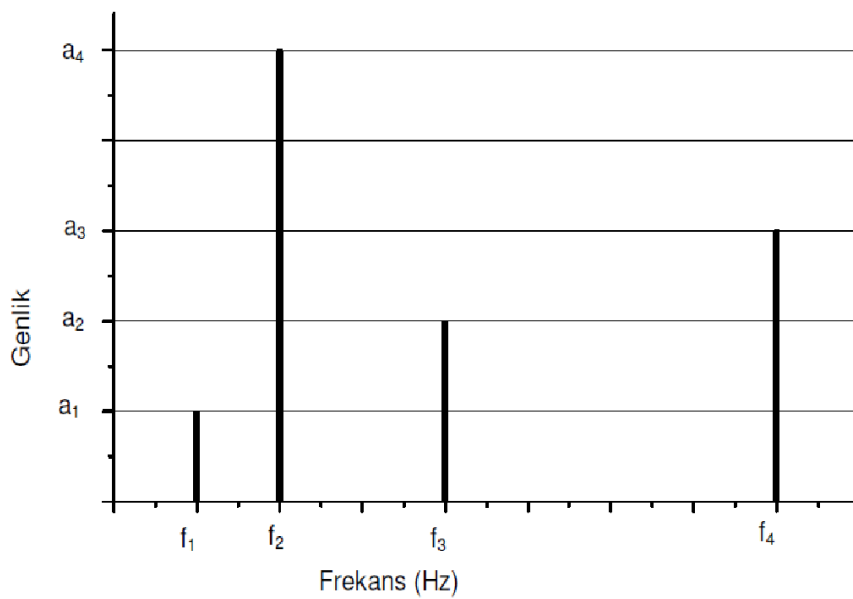
2.2.2. Filtreleme

Filtreleme için zaman alanında ölçülen kayıtların frekans alanında incelenmesi gerekmektedir. İncelenecek kayıtlar için Fourier dönüşümleri kullanılır ve böylece kayıtlar anlamlı hale getirilir. Ardından zaman alanında kaydedilmiş ifadesi bilinmeyen sonsuz sayıdaki periyodik fonksiyon kullanılan dönüşümlerle harmonik sinüs ve kosinüs fonksiyonlarına dönüştürülür (Şekil 2.1) [12].



Şekil 2.1. Periyodik bir fonksiyonun sinüs formlu fonksiyonlarla ifadesi [12]

Elde edilen periyodik fonksiyon verilerinin Fourier Dönüşüm algoritmaları yardımıyla zaman alanından frekans alanına dönüşümü sağlanır. Yapılan dönüşüm sonrası spektrum analizi yapılarak elde edilen frekans içeriği hakkında ayrıntılı bilgi elde edilebilir (Şekil 2.2) [12].

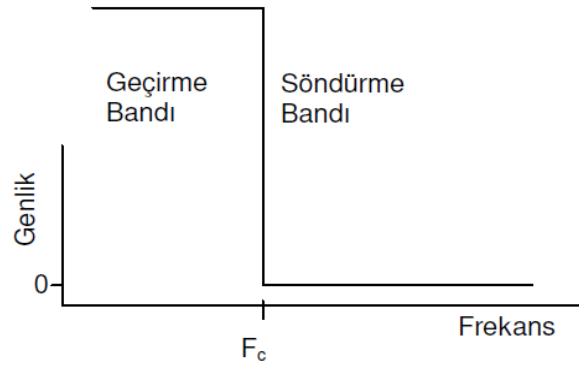


Şekil 2.2. Periyodik bir fonksiyonun spektrum analizi [12]

Elde edilen spektrum grafiğinden gürültünün ve elektrik akımının titreşime etki ettiği frekanslar filtrelenerek düzeltilmiş kayıtlar elde edilir. Kayıtların filtrelenmesi için kullanılan filtreler dört biçimde ifade edilmektedir:

2.2.2.1. Alçak geçiren (Low pass) filtre

Alçak geçiren filtrede kesme frekansı (cut-off frequency- F_c) adı verilen bir frekans değerinden küçük frekansa sahip harmonik fonksiyonlar, ifadesi bilinmeyen periyodik fonksiyonun yeniden ifadesi için kullanılmaktadır. Frekans değeri F_c 'den büyük olan hareketler gürültü olarak ayıklanmaktadır (Şekil 2.3) [12].



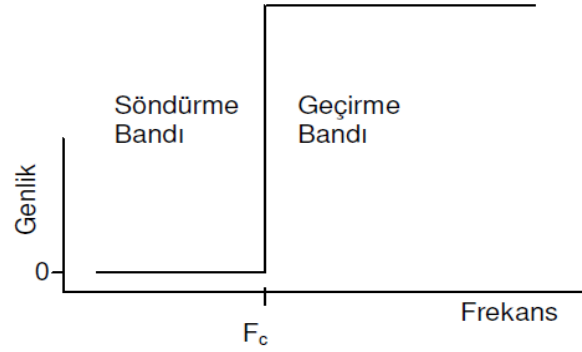
Şekil 2.3. Alçak geçiren low-pass filter [12]

Şekil 2.3'de belirtilen geçirme bandı ve söndürme bandı ifadeleri, filtreleme sırasında kullanılan ivme kayıtlarında bulunan frekans içeriğiyle ilgilidir. Deneylerden elde edilen ivme kayıtlarında esas etkin kayıt frekansları, ortam gürültüleri ve ivmeölçerlere elektrik aktarımını sağlayan aküden iletilen frekanslar bulunmaktadır. Bu nedenle filtreleme işleminin doğru yapılması amacıyla yapının etkin frekanslar değerleri geçirme bandı ile korunur, elektrik ve ortam gürültüsünün kayıtlara etkidiği frekans değerleri söndürme bandı ile filtrelenir [12].

2.2.2.2. Yüksek geçiren (High pass) filtre

Yüksek geçiren filtrede kesme frekansı (cut-off frequency- F_c) adı verilen bir frekans değerinden büyük frekansa sahip harmonik fonksiyonlar, ifadesi bilinmeyen

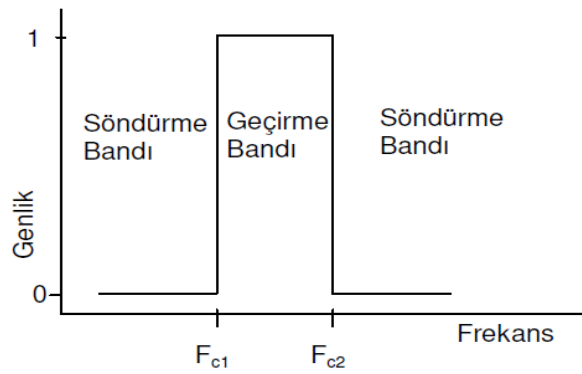
periyodik fonksiyonun yeniden ifadesi için kullanılmaktadır. Frekans değeri F_c 'den küçük olan hareketler gürültü olarak ayıklanmaktadır (Şekil 2.4) [12].



Şekil 2.4. Yüksek geçiren high-pass filter [12]

2.2.2.3. Band geçiren (Band pass) filtre

Band geçiren filtrede belirlenen iki kesme frekansı (F_{c1} , F_{c2}) değerinin arasında kalan frekansa sahip harmonik fonksiyonlar, ifadesi bilinmeyen periyodik fonksiyonun yeniden ifadesi için kullanılmaktadır. Frekans değeri F_{c1} 'den küçük ve F_{c2} 'den büyük olan hareketler gürültü olarak ayıklanmaktadır (Şekil 2.5) [12].

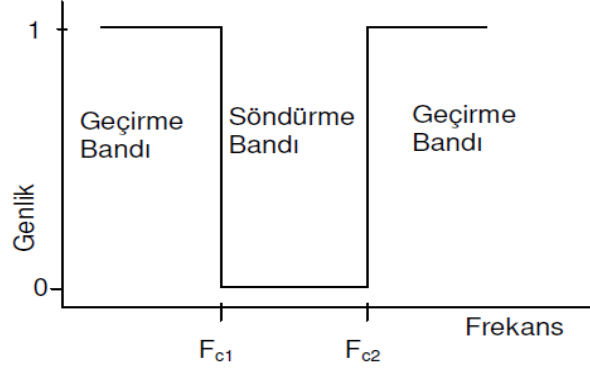


Şekil 2.5. Band geçiren band-pass filter [12]

2.2.2.4. Band blok (Band block) filtre

Band blok filtrede belirlenen iki kesme frekansı (F_{c1} , F_{c2}) değerinden büyük ve küçük frekansa sahip harmonik fonksiyonlar, ifadesi bilinmeyen periyodik fonksiyonun

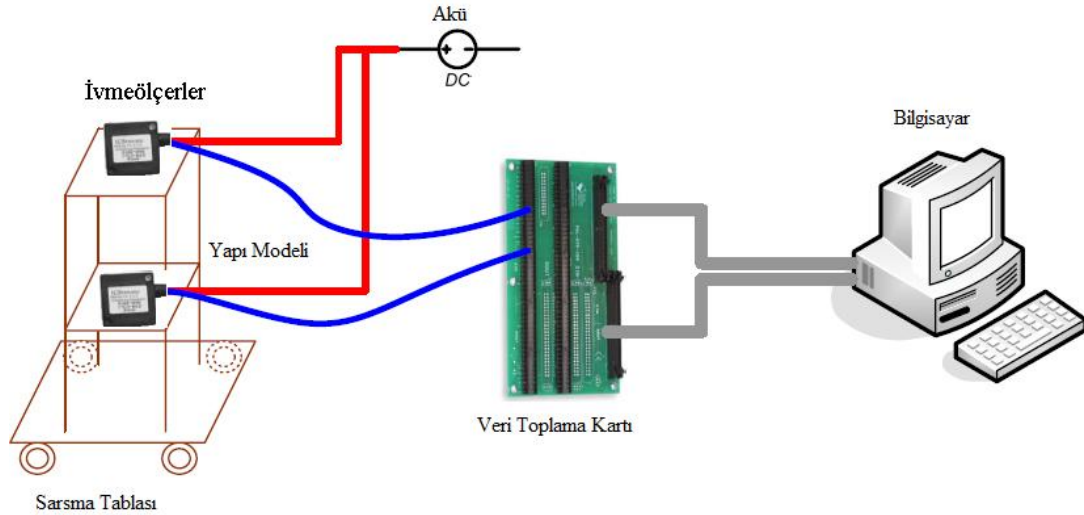
yeniden ifadesi için kullanılmaktadır. Frekans değeri F_{c1} 'den büyük ve F_{c2} 'den küçük olan hareketler gürültü olarak ayıklanmaktadır (Şekil 2.6.) [12].



Şekil.2.6. Band block filter [12]

BÖLÜM 3. VERİ TOPLAMA

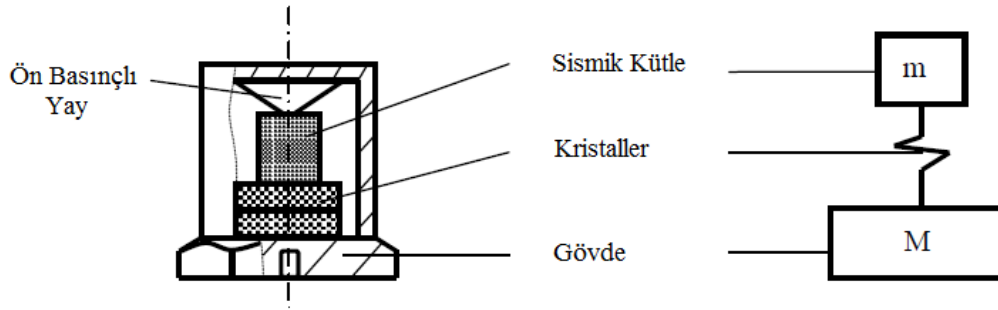
Mevcut mühendislik yapılarının dinamik karakteristiklerinin elde edilmesi için yapılan tanı çalışmalarındaki ilk aşama deneysel çalışmalar sonrası veri elde edilmesini sağlayan veri toplama düzeneğinin kurulumu aşamasıdır. İncelenen yapı modelinden elde edilen dinamik karakteristiklerin türüne göre kullanılan ivmeölçerler tek eksenli ya da üç eksenli ivmeölçerler olarak değişiklik gösterebilir. Yapılan tez çalışmasında veri toplama için kullanılan ekipmanlar ICS 3140 tipi tek eksenli ivmeölçer, PowerDAQ veri toplama ünitesi, ivmeölçerleri besleyen 12 VDC akü ve LabVIEW veri işleme yazılımından oluşmaktadır. İvmeölçerlerin topladığı sinyaller veri toplama ünitesine aktararak kullanıcının talep ettiği örnekleme aralığında LabVIEW yazılımına gönderilerek değerlendirilir (Şekil 3.1) [13].



Şekil 3.1. Veri toplama ünitesi şematik olarak gösterilmesi [13]

3.1. İvmeölçerler

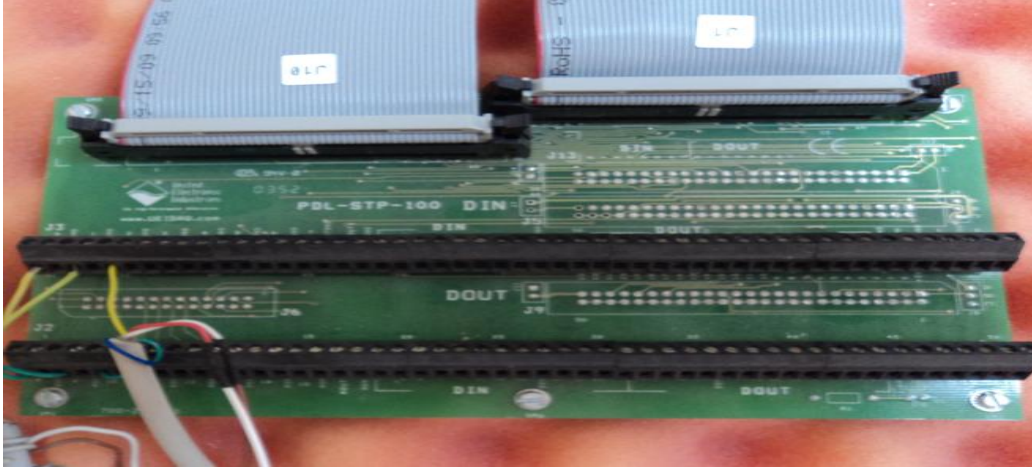
İvmeölçerler, genel amaçlı mutlak hareket ölçümlerinde, şok ve titreşim ölçümlerinde kullanılırlar. Sismik ivmeölçerler, yer, bina, köprü üzerinde deprem, inşaat, madencilik çalışmaları, büyük nakliye vasıtalarının yol açtığı titreşimleri ölçebilirler. Tüm ivmeölçerlerde bir sismik kütle, yay ve damper sistemi vardır. Sismik kütle üzerine etkiyen atalet kuvvetinin yarattığı ivme ölçülür (Şekil 3.2) [13].



Şekil 3.2. Tek eksenli ivmeölçer [14]

3.2. Veri Toplama Kartı

Veri toplama kartı, sensörlerden alınan elektrik sinyalleri toplamak, ölçmek ve elde edilen verileri bilgisayar ortamına taşımak ya da bir bilgisayara takılmış Analog-Dijital ve Dijital girdi-çıkırtı bordlarıyla aynı tür elektrik sinyalleri toplayıp ölçmek ya da kontrol sinyaller üretmek amacıyla kullanılır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. PowerDAQ veri toplama kartı

3.3. LabVIEW Yazılımı

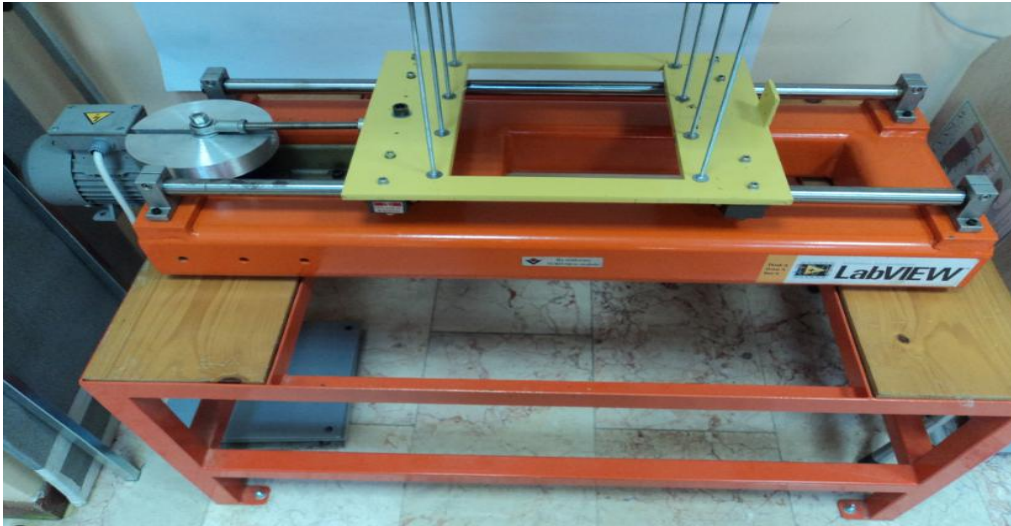
Labview, veri toplama ve kontrolünde, veri analizi ve veri sunumunda kullanılan, G programlama dili tabanlı bir grafiksel program geliştirme ortamıdır.

Labview programları genellikle “sanal enstrümanlar” veya VI’ler (virtual instruments) olarak adlandırılırlar. Labview’da kullanıcı arayüzü olarak, sistemin aktif kontrolünü sağlayan kullanıcı ”ön paneli” oluşturulur. VI’lerin ön paneline kontrol paletinden seçilen sayısal göstergeler, ölçekler, metreler, termometreler, LED’ler, çizelgeler, grafikler ve daha fazlasını yerleştirilebilir. Her şey tamamlandığında çalışan VI’ler, bir anahtarı tıklanarak, bir sürgü oynatılarak, grafiğe zoom yapılarak veya klavyeden bir değer girilerek, ön panelden kontrol edilebilir. VI’ler programlanırken, bilinen programlarda ortaya çıkan pek çok sintatik (syntax error) detayla uğraşmadan, blok diyagram oluşturulur. Nesnelere, fonksiyonlar (Functions) paletinden seçilir ve bir bloktan diğerine tel çekilerek birbirlerine bağlanır. Blokların içeriği basit aritmetik fonksiyonlardan, ileri veri toplama ve analiz işlemlerine, network ve dosya I/O işlemlerine kadar çeşitlilik göstermektedir. LabVIEW’deki işletim sırası, ardarda metin satırları şeklinde değil, bloklar arası veri akışı şeklindedir ve aynı anda çalışan diyagramlar oluşturmak mümkündür. LabVIEW, ayrı yollardan farklı işler görebilen bir sisteme sahiptir (multitasking and multithreaded system). LabVIEW VI’lerinin dizaynı modülerdir. Bu sayede VI’lar kendi başlarına koşturulabilir veya başka bir VI’nın parçası olarak kullanılabilir [13].

3.4. Sarsma Tablası

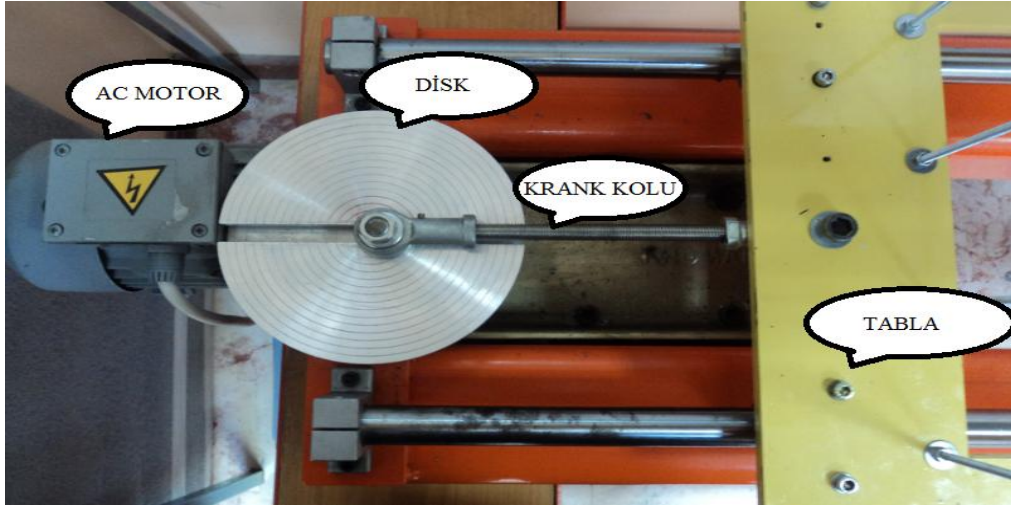
Zorlanmış Titreşimin deneysel koşullarda oluşturulması ve yapı modelleri üzerinde incelenmesi için sarsma tablaları kullanılır. Yapı olarak sarsma tablaları deprem deneysel modellerde deprem etkisi yaratması için tasarlanan elektromekanik makinelerdir. Deneysel modelin sabitlenerek yerleştirilebileceği hareketli bir platform ve bu platforma deprem etkisi verecek bir tahrik mekanizmasından oluşur. Tahrik mekanizması genellikle hidrolik veya elektrikli bir motor yardımıyla platformun istenen dinamik özelliklerde sarsılmasını sağlar. Hidrolik mekanizmalar daha güçlü fakat kontrol edilmesi daha zor olduğundan, büyük ölçekli yapısal modeller için kullanılmaktadır. Elektrikli tahrik sistemleri daha küçük ölçekli modeller için uygun olup, düşük maliyet ve daha kolay güç kontrolü sağlaması sebebiyle tercih edilmektedir [15].

Yapılan tez çalışması için Sakarya Üniversitesi Deprem Laboratuvarında bulunan sarsma tablası kullanılmıştır(Şekil 3.4). Kullanılan sarsma tablası tek eksenli yatay sinüsoidal hareket uygulama kabiliyetine sahiptir.



Şekil 3.4. Sarsma tablası

Sarsma Tablası'nın test modeline uyguladığı ivme üzerine yerleştirilmiş AC elektrik motoru tarafından kontrol edilmektedir. Uygulanan kuvvet AC elektrik motoruna bağlı sabit diskte bulunan krank kolunun yapıyı tahrik etmesiyle sisteme aktarılmaktadır (Şekil 3.5) [13].



Şekil 3.5. Sarsma tablası tahrik mekanizması

Tabla üzerinde bulunan AC elektrik motoru 0-200 Hz frekansta hareket kapasitesine sahiptir. Tabla üzerinde uygulanması istenilen frekans değerleri motora bağlı hız kontrol ünitesiyle herhangi bir yazılıma ihtiyaç duyulmadan kolayca kontrol edilebilmektedir(Şekil 3.6) [13].



Şekil 3.6. Motor hız kontrol ünitesi

3.5. Sonlu Elemanlarla Modelleme (SEM)

Sonlu elemanlarla modelleme (SEM), günümüzde karmaşık mühendislik problemlerinin hassas ve pratik biçimde çözülmesinde etkin kullanılan sayısal bir metoddur. İlk kullanım alanı olarak uçak mühendisliğinde gövde gerilmelerinin analizinde kullanılan metod, zaman içerisinde hızlı bir gelişme kaydederek

uygulamalı bilimler ve mühendislik bilimlerinde temel problemlerin çözümü için kullanılmaya başlanmıştır. Sonlu elemanlarla modelleme (SEM) mühendislik problemlerinde kullanımının ana nedenlerinden biri, program girdi verilerinin basitçe değiştirilmesiyle farklı problemlerin çözümü için kullanılmasıdır. Bu amaçla sonlu eleman analizi için SAP2000, ABAQUS, ANSYS vb. gibi birçok ticari yazılım kullanılmaktadır.

Sonlu elemanlarla modellemeyle karmaşık bir problem basite indirgenerek statik ve dinamik açıdan çözümlenebilmektedir. Yöntem sayesinde modeli oluşturan küçük boyutlardaki düğüm noktalarının matematik çözümü sayesinde yaklaşık sonuç elde edilmekte, hatta modelde yapılan iyileştirmeler sayesinde kesin sonuçlara ulaşılmaktadır.

Yapıların dinamik analiziyle dinamik karakteristikler olan doğal frekanslar ve mod şekillerinin elde edilmesi amaçlanmaktadır. Bu amaçla program girdileriyle yapısal modeli oluşturulmuş yapı elemanlarının kütle, sönüm ve rijitlik değerleri global sistem matrisinde bir araya getirilerek analiz edilmesi sonrasında istenilen dinamik veriler elde edilir. Sonlu eleman programları kullanıcıya geniş yelpazede eleman sunmaktadır. Ayrıca eleman seçiminin doğru yapılması doğru sonuca ulaşılması açısından büyük önem arz etmektedir.

3.5.1. SAP2000 programı

Test numunesinin matematik modelinin oluşturulması amacıyla inşaat mühendisliğinde geniş kullanım alanına sahip olan SAP2000 programı kullanılmıştır. Program bünyesinde modelin oluşturulması amacıyla kullanıcıya sunulan birçok eleman arasından kullanılan yapı elemanının özelliklerini taşıyan elemanlar seçilmiş, kullanılan malzeme özellikleri program girdileriyle tanımlanarak yapısal elemanlar oluşturulmuştur. Analitik model oluşturulmasında kabuk ve çubuk elemanlar kullanılmıştır. Ayrıca analiz için elemanlarda rijit diyafram kabulü yapılmıştır [16].

3.5.2. SAP2000 ile modal analiz

Modal analiz yapıların titreşim modlarının elde edilmesini sağlayan analiz metodudur. Elde edilen mod şekilleri ve frekanslar yapıların dinamik davranışı hakkında gerekli bilgiler içerir. Sap2000 programı yapı sistemlerinin modal analizi için ritz vektör ve öz vektör olmak üzere 2 tip analiz seçeneği sunmuştur [17].

Ritz vektör analiz, yapılara etkiyen düşey yer ivmesi içeren yüke bağlı modal değişimlerin belirlenmesini sağlayan analiz biçimidir. Özellikle makine titreşimi etkisindeki yapıların analizinde kullanılmaktadır. Öz vektör analiz ise, yapı modelinin serbest titreşim mod şekilleri ve modal frekanslarının belirlenmesini sağlamaktadır. Elde edilen doğal modlar yapı davranışı hakkında önemli bilgiler sağlamaktadır. Yapı modelleri için yatay yer ivmesi etkisi altında yapının davranışını belirlemede etkilidir [18].

Analitik modeli oluşturulmuş yapının modal analizi için öz vektör analiz kullanılmıştır.

Öz vektör analiz yapıların modal frekans ve serbest titreşim mod şekillerini elde etmeye yarayan analiz yöntemidir. Öz vektör analiz, geliştirilmiş özdeğer problemlerinin çözümünü içermektedir.

Sonlu Eleman yöntemine dayalı N serbestlik dereceli bir sistemin genel hareket denklemi,

$$[M] \{ \ddot{U}(t) \} + [C] \{ \dot{U}(t) \} + [K] \{ U(t) \} = \{ f(t) \} \quad (3.1)$$

bağıntısıyla verilebilir. Burada, [M], [C] ve [K] sırasıyla çok serbestlik dereceli sistemin kütle, sönüm ve rijitlik matrislerini ve $\{ \ddot{U}(t) \}$, $\{ \dot{U}(t) \}$, $\{ U(t) \}$ ve $\{ f(t) \}$ ise sırasıyla çok serbestlik dereceli sistemin zamana bağlı ivme, hız, yerdeğiştirme ve kuvvet vektörlerini göstermektedirler.

Yapıda sönüm olmaması durumunda, analitik model kütle ve rijitlik terimleriyle ifade edilir. Bu durumda hareket denklemi,

$$[M]\{\ddot{U}(t)\}+[K]\{\dot{U}(t)\}=\{f(t)\} \quad (3.2)$$

bağıntısıyla verilir. Yapının doğal frekanslarını veya modal özelliklerini bulmak için yapının serbest titreşim yaptığı düşünülürse, hareket denklemi,

$$[M]\{\ddot{U}(t)\}+[K]\{U(t)\}=\{0\} \quad (3.3)$$

olarak belirlenir.

Bu denklemin sıfırdan farklı çözümü için,

$$\det([K]-\omega^2[M])=0 \quad (3.4)$$

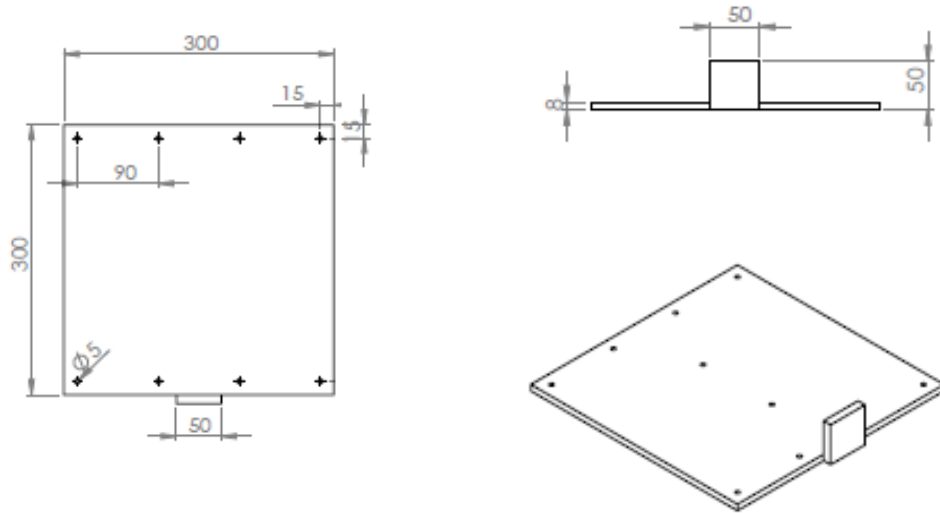
olmalıdır. Denklemin çözümünden N serbestlik derecesi kadar sönümsüz doğal açısal frekans (öz vektör) ($\omega_1, \omega_2, \omega_3, \dots, \omega_N$) elde edilir. Her bir doğal frekansa karşılık yapının almış olduğu şekil, mod şekli olarak tanımlanır. Doğal frekansların küçükten büyüğe doğru sıralanması sonucunda elde edilen en küçük frekans temel frekans ve bu frekansa karşılık gelen mod şekli temel mod şekli olarak adlandırılır [14,19].

BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMA

Sarsma tablasına montajı yapılacak deney modelinin oluşturulması sırasında çeşitli kısıtlamalarla karşılaşılmıştır. Tablanın taşıyabileceği maksimum yük kapasitesi, deney sırasında çalışılacak alan, yapı kütesinin kolon elemanlarda oluşturacağı kritik yük miktarı ve kullanılan gijonların piyasa şartlarında bulunabilen maksimum boyut miktarı kısıtlamaların başlıca etkenleridir. Ayrıca kat sayısı-gerçek yapı periyodu ilişkisi, kurulan yapı modelinin gerçek yapı ile benzer özellikler taşımasını amaçlamaktadır.

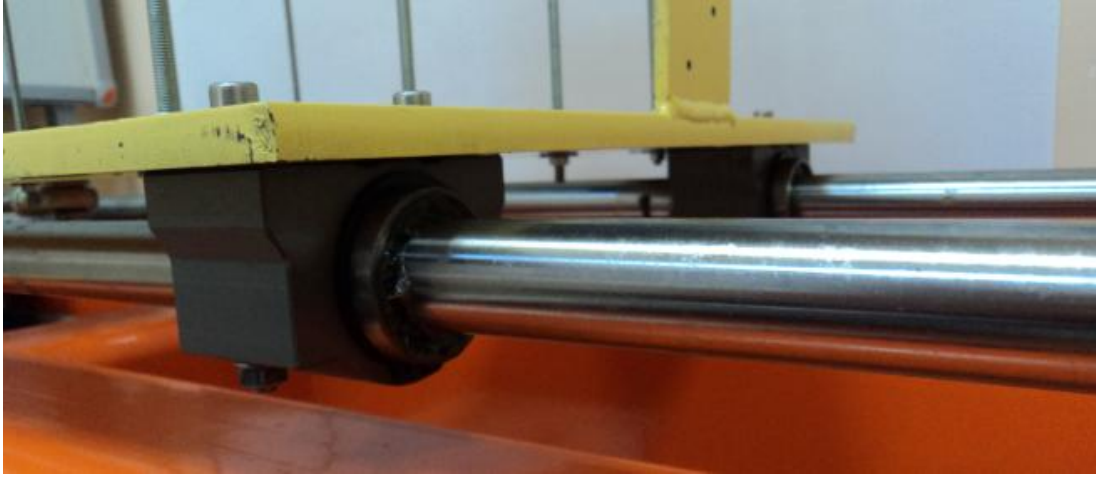
4.1. Hazırlık Aşaması Ve Deney Düzeneğinin Hazırlanması

Deney sırasında kullanılacak yapı modelini oluşturan elemanlarının seçimi ve kullanılacak malzeme kesitlerinin teknik çizimleri oluşturulmuş ve yapı modelinin boyutlandırma aşaması tamamlanmıştır (Şekil 4.1).



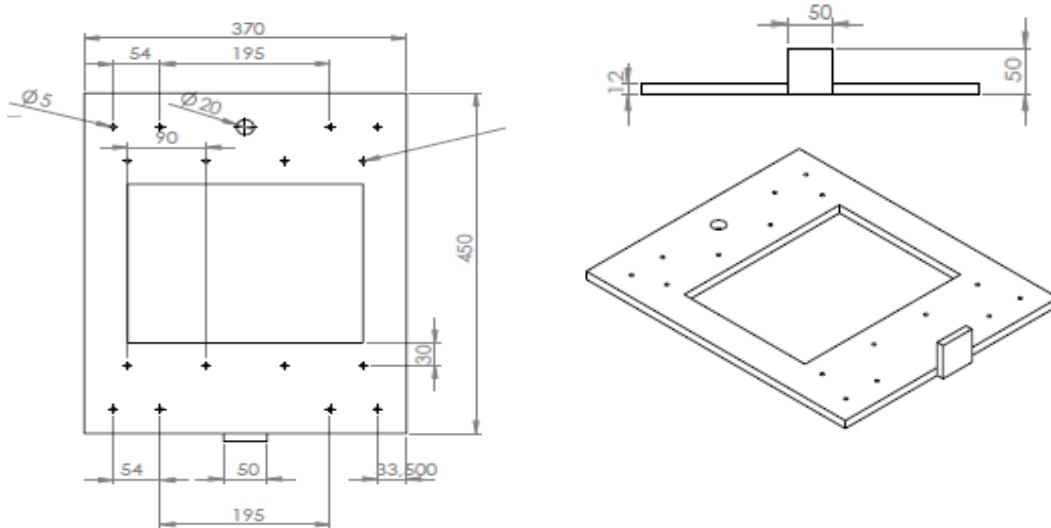
Şekil 4.1. Kat levhası boyutları (mm)

Sarsma tablasının yapı modeline uyguladığı sinüsoidal kuvvet, elektrik motorun üzerinde bulunan kranka bağlı şaftın üzerinde bulunan kol vasıtasıyla aktarılmaktadır. Uygulanan kuvvet tek yönlüdür. Tabla üzerindeki raylarda tek eksenli hareket eden dört adet bilyalı mekanizma bulunmaktadır (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Sarsma tablasına ait bilyalı mekanizma

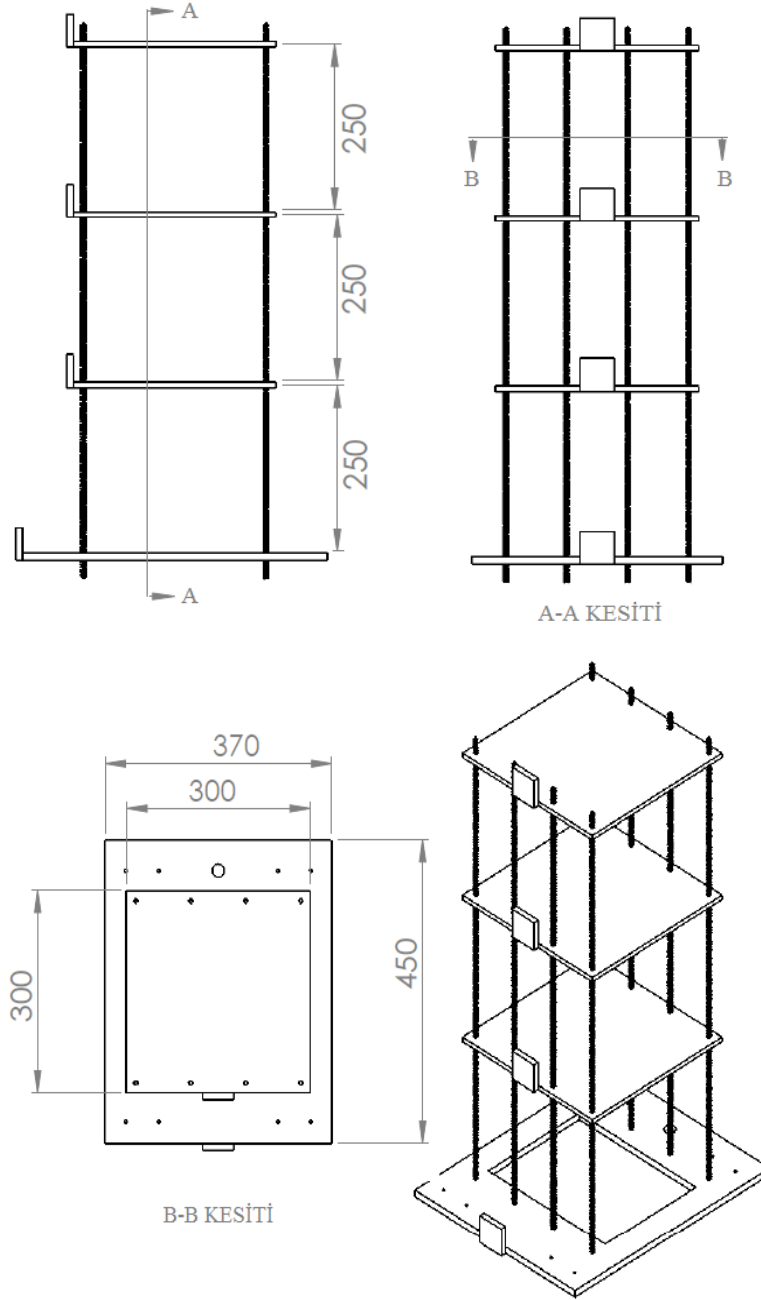
Yapı modeline iletilen kuvvet kranka bağlı kol ve bilya aksamının rijit tablaya bağlantısıyla sağlanmaktadır (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Sarsma tablası boyutları (mm)

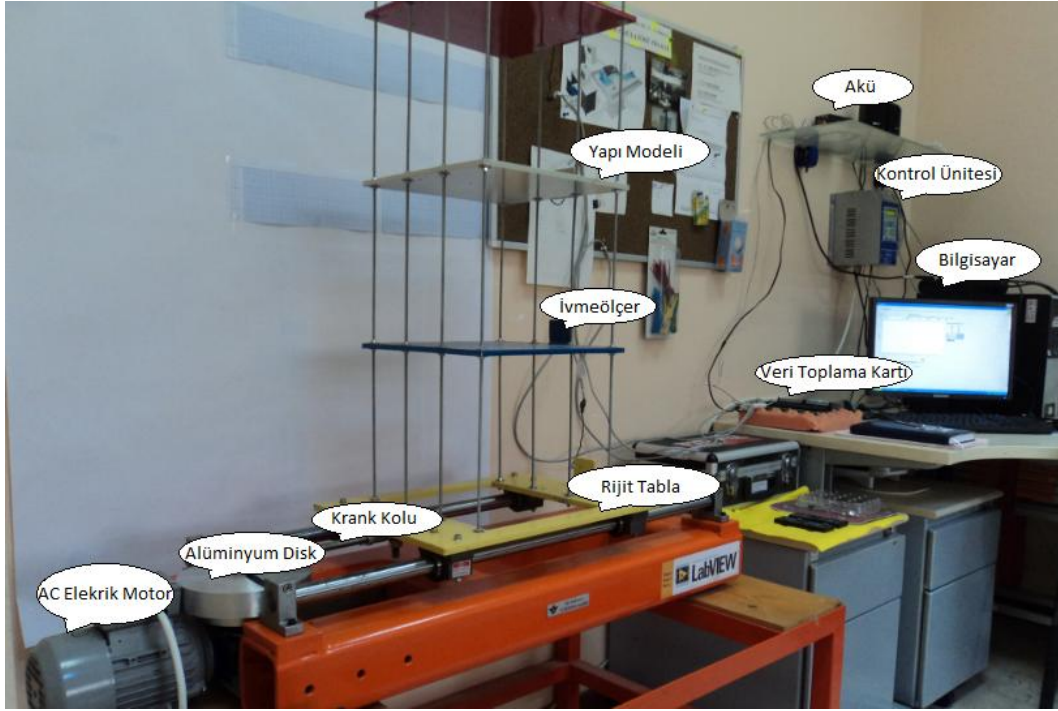
Deney sırasında kullanılan yapı modeli üç kattan oluşmaktadır. Yapıyı oluşturan her bir kat döşemesi 300x300x8 mm boyutlarında ve St37 çeliğinden imal edilmiş

levhalarla temsil edilmektedir. Yapı modelini oluşturan kolonlar ise sekiz adet 5mm çapında saplama elemanların tablalar arası civatalar kullanılarak rijit bağlantıyla oluşturulmuştur. Kat seviyelerinden ivme kayıtlarının alınması amacıyla düşeyde 50x50 mm lik levhalar kaynaklanmıştır. Ayrıca yapıyı oluşturan kat yükseklikleri her katta eşit olup, 250 mm boyutundadır (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Yapı modelini oluşturan elemanlar (mm)

Yapılan tez çalışmasında deneysel verilerin elde edilebilmesi amacıyla Sakarya Üniversitesi Deprem Mühendisliği Laboratuvarında bulunan ekipmanlar kullanılmıştır. Kullanılan ekipmanlar Şekil 4.5 'te gösterilmiştir.



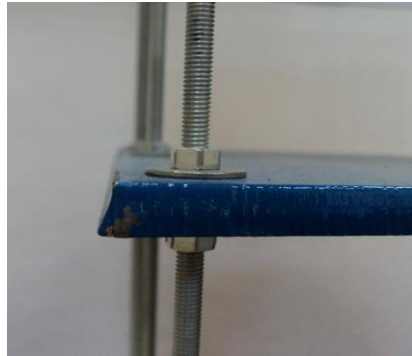
Şekil 4.5. Deney düzeneğine ait ekipmanlar

İlk olarak deney sırasında kullanılacak yapı modelinin rijit tabla ile bağlantısını sağlayan ve yapıya uygulanacak olan sinüsoidal yükün tablaya aktarımını sağlayacak olan bilyalı aksamlar deney sırasında oluşacak olan mekanik gürültünün kayıtlara olan etkisini azaltması amacıyla gres yağı ve anti-pas sprej kullanılarak temizlenmiştir (Şekil.4.6).



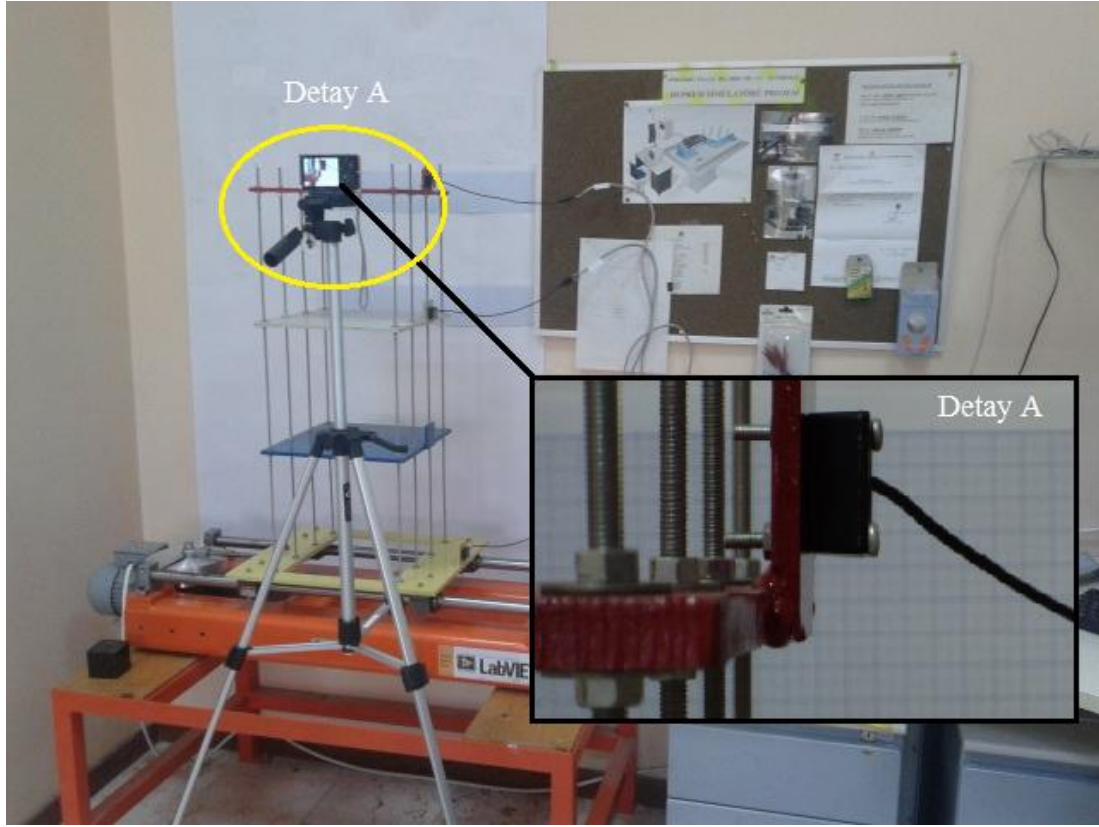
Şekil 4.6. Bilyalı aksamaların temizlenmesi

Deneysel çalışmalar laboratuvarında bulunan sarsma tablası üzerine montajı yapılmış tek ve üç katlı St37 çeliğinden üretilmiş kat döşemeleri ve saplama adı verilen gijon malzemelerinin yapı kolonları olarak kullanılmasıyla yapılmıştır. Kullanılan malzemelerin bağlantıları cıvata ve somunlu birleşimlerin sıkıştırılarak birbirine montajıyla sağlanmıştır (Şekil 4.7).



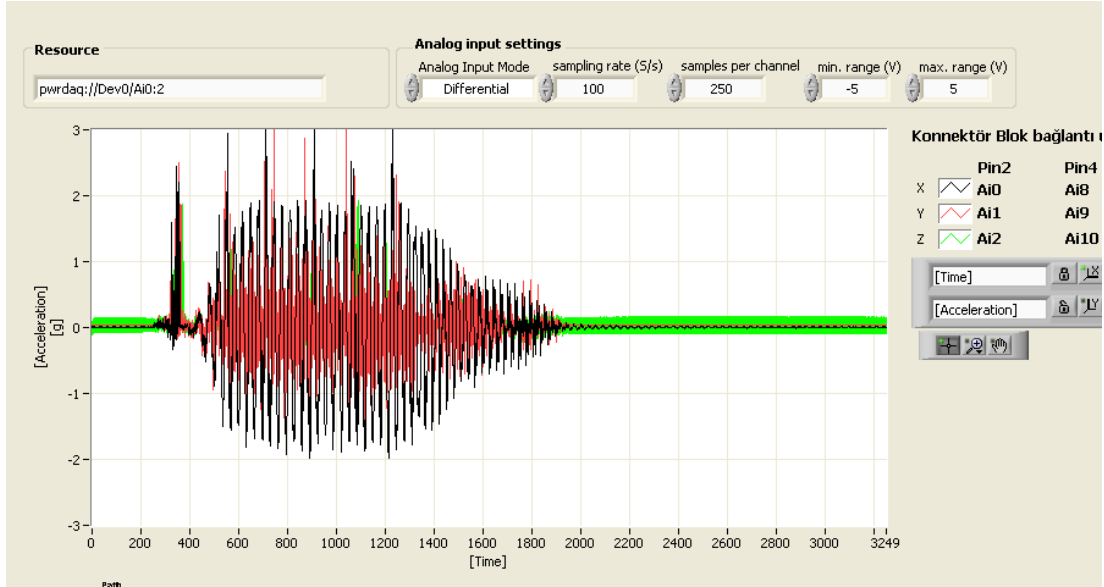
Şekil 4.7. Cıvata ve somunlarla oluşturulmuş birleşim

Yapı modelinin üçüncü kat seviyesinde yapılacak olan filtreleme işleminin kontrolünü sağlamak amacıyla kat seviyesinde duvar düzleminde milimetrik kağıtlar yerleştirilip kamera aracılığıyla yapı deplasmanları gözlemlenmiş, böylece ivmeölçerlerden alınan kayıtların filtrelenmesi sırasında oluşabilecek hatalar en aza indirilmeye çalışılmıştır (Şekil.4.8).



Şekil 4.8. Deney sırasında alınan kamera kayıtları

Yapı modeli üzerinden alınan ivme kayıtlarının bilgisayar ortamına aktarılması amacıyla National Instruments tarafından üretilmiş, mühendislik ve fen bilimleri alanında geniş kullanım sunan LabVIEW yazılımı kullanılmıştır. Deneyde kullanılan sarsma tablasından alınan ivme verilerinin bilgisayar ortamından kontrolü önceden oluşturulmuş komut penceresinden sağlanmaktadır (Şekil 4.9). Komut penceresinde bulunan sampling rate, samples per channel, minimum range ve maximum range ifadeleri sırasıyla saniyede alınan veri sayısı, kayıt sırasında oluşan gecikmelerden kaynaklanan ve hafızaya kaydedilen veri sayısını, okunabilecek minimum ve maksimum ivme değerlerini ifade etmektedir.



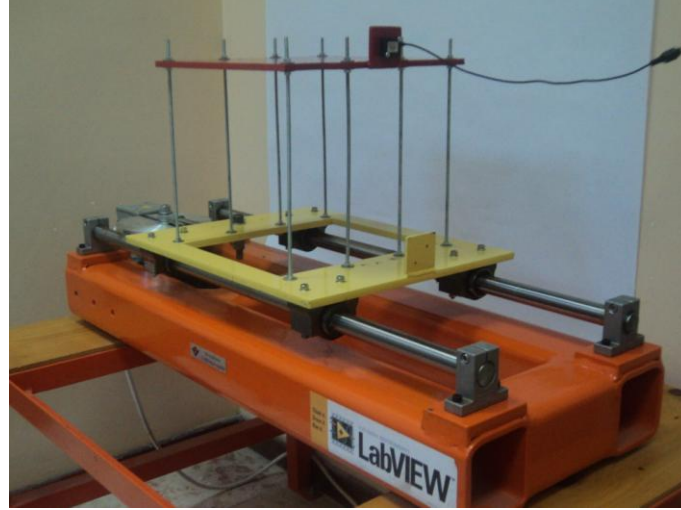
Şekil 4.9. LabVIEW komut penceresinde oluşturulmuş örnek veri kaydı [20]

4.2. Tek Katlı Yapı Modeli İle Elastisite Modülünün Belirlenmesi

Deneysel olarak kullanılan saplama elemanların elastisite modülünün tayini için ilk olarak çekme deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneyler hem vida adımı tornalanmış malzemeler için, hem de deneylerde kullanılan şekli için çok sayıda deneyle tekrar edilmiştir. Fakat malzeme kalitesi ve üretim aşamasındaki işçilik kusurları elastisite modülü hakkında tutarsız sonuçlar vermiştir. Bu nedenle çekme deneyi dışında başka yöntemler seçilmiştir.

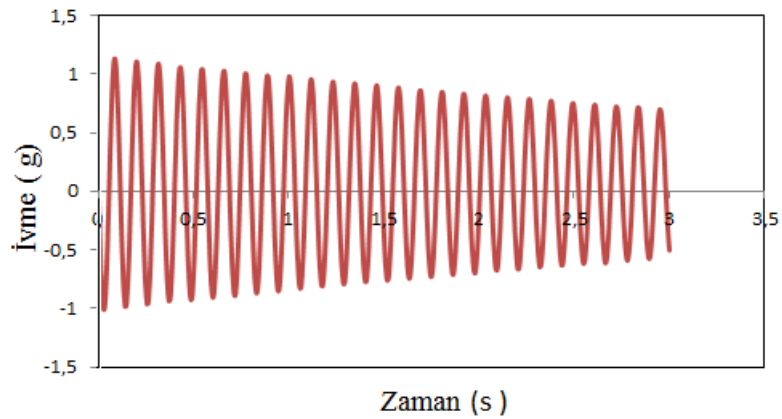
Yapı elemanlarının elastisite modülünün tayini için gerilme testi gibi birçok tekniğin yanı sıra, serbest titreşim testleri de uygulanabilir [21]. İncelenen yapı modeline ait sonlu eleman modelinde kullanılmak üzere yapı kolonlarının elastisite modülünün tayini için serbest titreşim deneyi yapılmıştır. Bunun için sistemin kolay çözülebilirliği açısından tek katlı yapı modeli deneye tabi tutulmuştur. Ayrıca yapının serbest titreşim deneyinin yanı sıra, yapı modeline farklı frekans değerlerinde kuvvetler uygulanmış, uygulanan kuvvetlerin yapı modelinin serbest salınımına geçtiği andaki ivme kayıtlarından yapının modal frekansları elde edilmiştir. Böylece elde edilen modal frekanslar farklı yöntemlerle doğrulanmıştır. Deney sırasında kullanılan yapı modeline ait kat yüksekliği 25 cm'dir.

Yapı modeline uygulanan kuvvet ve serbest titreşime ait ivme kayıtları kat düzleminde yapıya yerleştirilmiş ivmeölçerler aracılığıyla sağlanmıştır (Şekil 4.10).



Şekil 4.10. Serbest titreşim için oluşturulan tek katlı yapı modeli

Yapılan deneyler sonucu elde edilen titreşim kayıtlarından yapı periyodu 0.114 saniye olarak elde edilmiştir. Tek katlı yapı modeline ait serbest titreşim kaydı örneği Şekil 4.11'de gösterilmiştir.



Şekil 4.11. Tek katlı yapıya ait serbest titreşim ivme kaydı

Yapıya ait periyod değeri kullanılarak model yapı kolonlarına ait elastisite modülü Denklem 4.1 kullanılarak elde edilmiştir. Ayrıca Denklem 4.1, tek katlı bir çerçeve için periyod denklemini ifade etmektedir [22].

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{\sum \frac{12EI}{H^3}}} \quad (4.1)$$

Denkleimde bulunan **m** kütle, **I** atalet momenti, **H** kat yüksekliği değerleri kullanılarak elastisite modülü **E** hesaplanmıştır. Hesaplanan değer gijonların elastisite modülünü vermektedir. Ayrıca deney sırasında kullanılan çelik levhaya ait malzeme özellikleri literatürden 210 GPa olarak alınmıştır. Buna göre sonlu elemanlar programında kullanılan malzeme özellikleri Tablo 4.1’de belirtilmiştir.

Tablo 4.1. Malzeme özellikleri

	Elastisite Modülü (MPa)	Poisson Oranı	Öz kütle (kg/m ³)
Çelik Levha	210000	0.3	7849
Gijon	115700		7073

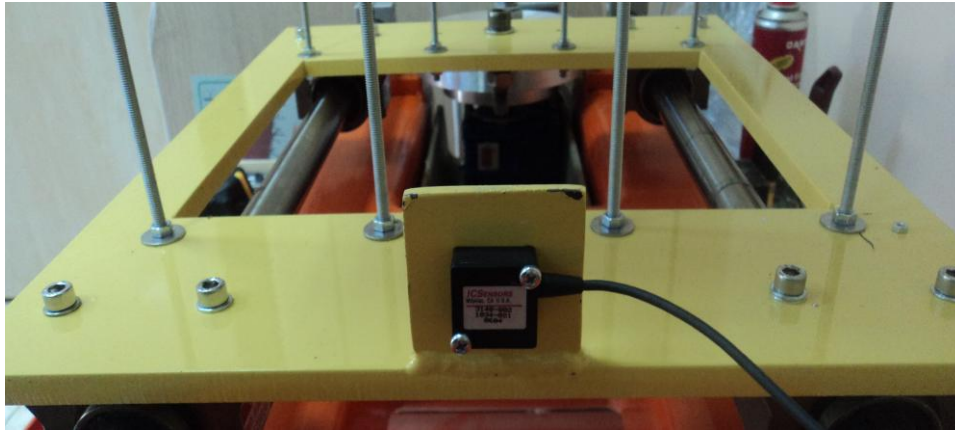
4.3. Üç Katlı Yapı Modeli

Deney sırasında kullanılan malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesinin ardından yapı tanı çalışmaları için üç katlı yapı modeli oluşturulmuştur. Yapı modelinin katları, metrik boyutlarda bulunan sekiz adet gijonun planda belirtilen boyutlarda kat yüksekliğinde civata ve somunlu birleşimlerin eşit miktarda sıkıştırılmasıyla oluşturulmuştur (Şekil 4.12).



Şekil 4.12. Üç katlı yapı modeli

Yapıya aktarılan kuvvet rijit tabla aracılığıyla sağlanmaktadır. Rijit tabla ile yapı modeli arasındaki bağlantı dönme ve ötelenmeye karşı cıvatalı birleşimlerle sınırlandırılmıştır (Şekil 4.13).



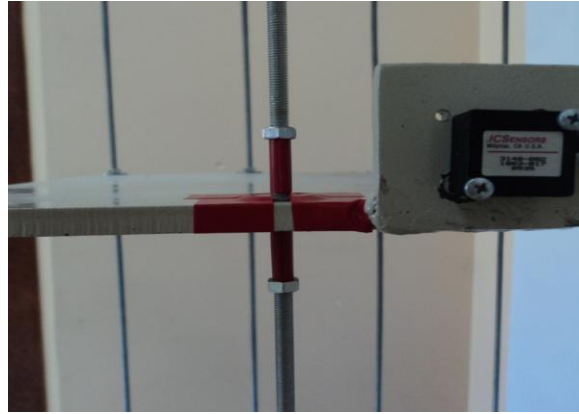
Şekil 4.13. Rijit sarsma tablası

4.4. Üç Katlı Yapı Modeli İçin Oluşturulan Deneysel Programı

Yapılan deneysel çalışmalarda amaç, yapı modelinde oluşturulan hem hasarlı hem de hasarsız durumlar için alınan ivme kayıtları doğrultusunda elde edilen ve yapının dinamik karakteristiklerinden biri olarak adlandırılan modal frekanslarının değişimi gözlemlemektir. Yapı tanı çalışmaları sırasında incelenen yapı modeli için hem

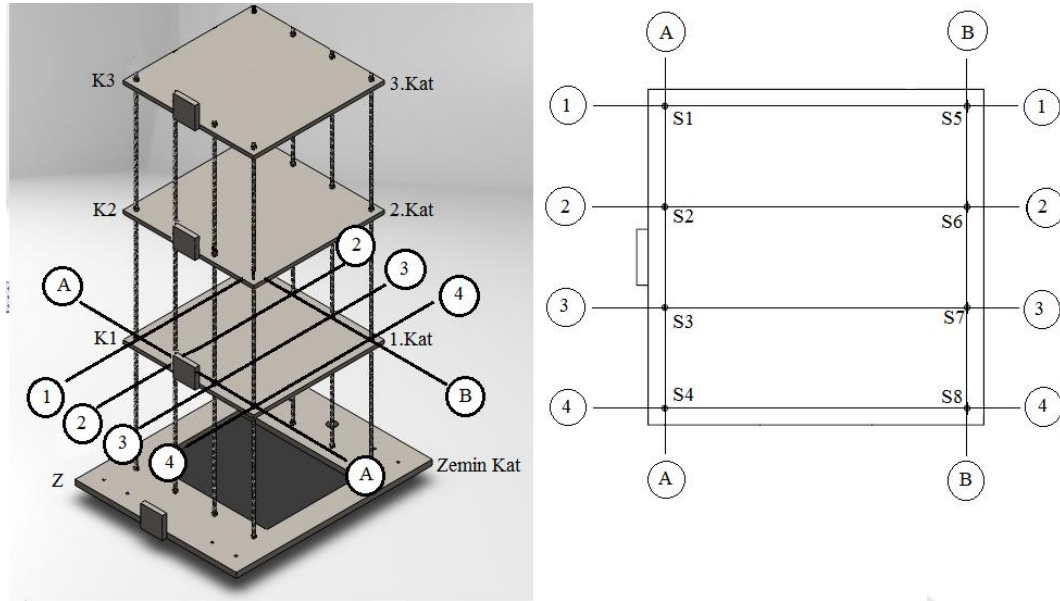
hasarsız hem de farklı hasar durumları oluşturularak yapı modeli deneye tabi tutulmuştur.

Oluşturulan hasar durumları sadece kat kolonları olarak kullanılan gijonların tabla ve kat seviyelerinde bulunan bağlantı elemanlarındaki cıvatalı birleşimlerin tam olarak gevşetilmesiyle belirlenmiştir (Şekil 4.14).



Şekil 4.14. Kat seviyelerinde bulunan cıvatalı birleşimlerin gevşetilmesi

Yapı tanı teknikleriyle yapı modelinin dinamik karakteristiklerinin belirlenmesi işlemi biri hasarsız, on altı tanesi hasarlı olmak üzere on yedi farklı deneyle gözlemlenmiştir. Hasarlı kayıtlar yapı modelinin iç kısımlarında bulunan kolonlar için oluşturulmuştur. Kolonlarda oluşturulan hasarlar ilk olarak aynı kolona ait tabla bağlantısının gevşetilmesi ve her bir kolonun sırasıyla 1, 2 ve 3. kat bağlantılarının hasar durumuna ilavesiyle oluşturulmuştur. Oluşturulan hasar durumlarının yerlerinin belirlenebilmesi amacıyla yapı modelinde bulunan kat kolonları numaralandırılmıştır (Şekil 4.15). Yapılan hasarlı deneyler iç kısımda bulunan 4 kolon için tekrar edilmiştir. Yapılan deneyler numaraları ve oluşturulan deney türleri Tablo 4.2’de gösterilmiştir. Örneğin, yapının zemin katında bulunan S2 kolonunun civatasının gevşetilmesiyle oluşan hasar durumu ZS2 Hasarlı olarak adlandırılmıştır.



Şekil 4.15. Yapı modeline ait akslar ve kolon numaraları

Tablo 4.2. Deney numarası ve deney türü

DENEY NUMARASI	DENEY TÜRÜ	DENEY NUMARASI	DENEY TÜRÜ
1	Hasarsız Yapı	10	ZS3 Hasarlı
2	ZS2 Hasarlı	11	ZS3-1S3 Hasarlı
3	ZS2-1S2 Hasarlı	12	ZS3-1S3-2S3 Hasarlı
4	ZS2-1S2-2S2 Hasarlı	13	ZS3-1S3-2S3-3S3 Hasarlı
5	ZS2-1S2-2S2-3S2 Hasarlı	14	ZS7 Hasarlı
6	ZS6 Hasarlı	15	ZS7-1S7 Hasarlı
7	ZS6-1S6 Hasarlı	16	ZS7-1S7-2S7 Hasarlı
8	ZS6-1S6-2S6 Hasarlı	17	ZS7-1S7-2S7-3S7 Hasarlı
9	ZS6-1S6-2S6-3S6 Hasarlı		

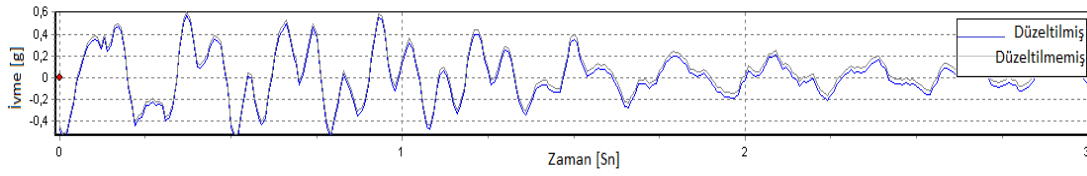
4.5. Üç Katlı Yapı Modeli Deneyleri

Deney çalışmaları ilk olarak hasarsız durum için hem farklı frekanslarda kuvvetlerin uygulanmasının ardından yapının serbest salınımına geçtiği durum için, hem de yapının kuvvetsiz serbest titreşim durumu için ayrı ayrı incelenmiştir. Deney çalışması sırasında tabla motorunun kapasitesi de belirlenmiştir. Kontrol ünitesinden uygulanan farklı giriş frekanslarındaki sinüsoidal kuvvetler, tabla düzlemine yerleştirilmiş ivmeölçerler aracılığıyla çıkış frekansları Tablo 4.3'teki gibi elde edilmiştir.

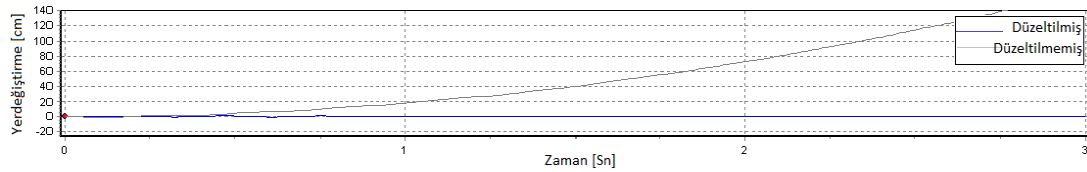
Tablo 4.3. Uygulanan sinüsoidal kuvvetlere ait girdiş-çıkış frekansları

Kontrol Ünitesinden Uygulanan Giriş Frekansı (Hz)	Sarsma Tablasından Alınan Çıkış Frekansı (Hz)
15	1.60
20	2.56
25	3.15

Yapı modeline ait ivmeölçerlerden alınan kayıtların LabVIEW programıyla bilgisayara aktarılmasının ardından kayıtların doğru okunabilmesi için temel çizgisi hatalarının düzeltilmesi gerekmektedir (Şekil 4.16). Aksi takdirde elde edilen deplasman değerlerinde çok büyük farklar oluşmaktadır (Şekil 4.17). Kayıtların düzeltilmesi amacıyla deprem ve inşaat mühendisliğinde geniş kullanım alanına sahip olan Seismosignal programından yararlanılmıştır.

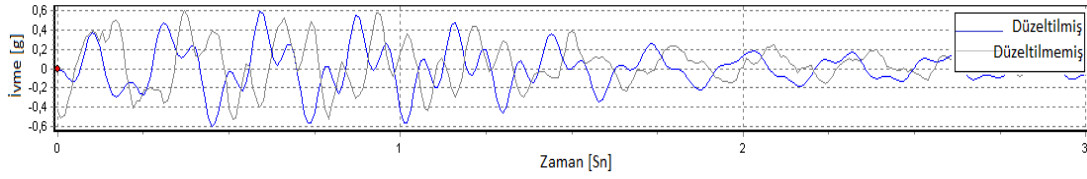


Şekil 4.16. Temel çizgisi hataları düzeltilmiş örnek ivme kayıtları



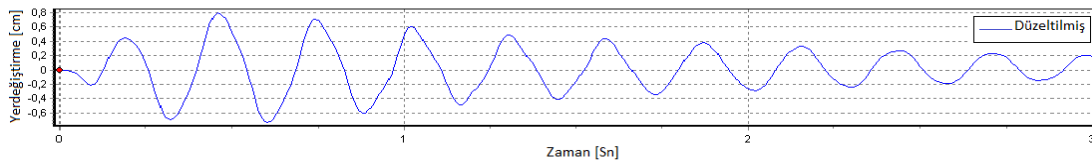
Şekil 4.17. Temel çizgisi hatası düzeltilmiş örnek deplasman kayıtları

Alınan ivme kayıtlarından temel çizgisi hatalarının düzeltilmesinin ardından yapının modal frekanslarının doğru belirlenebilmesi amacıyla filtreleme işlemine tabi tutulmuştur. Yapıya etki eden ivme kayıtlarının filtrelenmesi için programda tanımlanmış çeşitli filtre türlerine göre üstünlüğü daha fazla olan Butterworth filtre seçilmiştir. Ayrıca istenilen yapıdaki etkin frekans değerleri 25Hz altında bulunduğu ve belirli bir aralıktaki kayıtların filtreden geçirilmesi istenildiğinden bandpass filtre ve bandpass filtre için uygun olan filtreleme derecesi olarak dördüncü derece tercih edilmiştir [23]. Ortam gürültüsünün kayıtlara olan etkisini gidermek amacıyla filtreleme işlemleri yapılmıştır. (Şekil 4.18).



Şekil 4.18. Filtrelenmiş ivme kayıtları

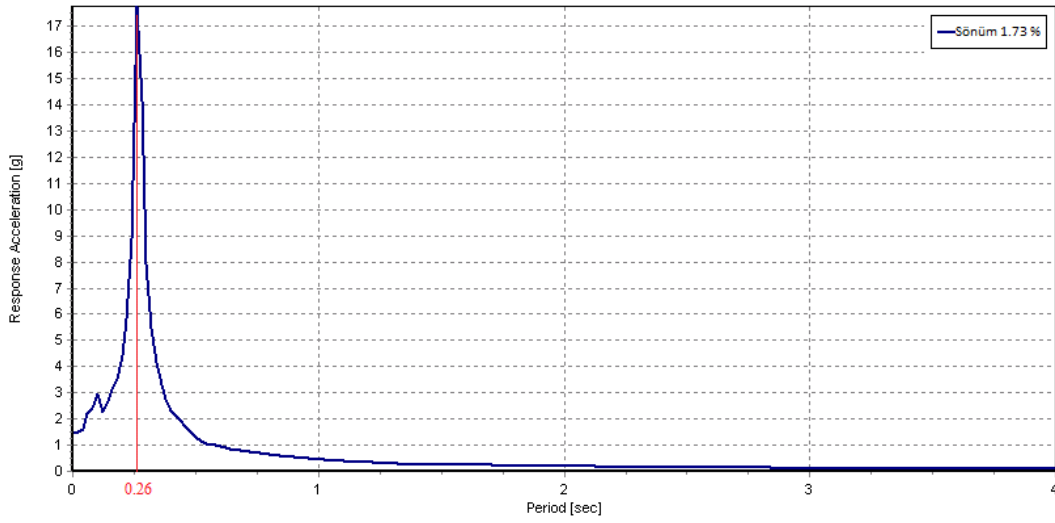
Filtreleme sonrası serbest titreşime ait deplasman değerleri elde edilmiştir (Şekil 4.19).



Şekil 4.19. Filtrelenmiş ivme kayıtlarından elde edilen deplasman kaydı

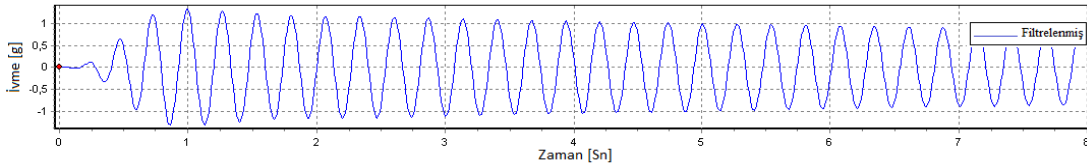
4.6. Etkin Periyodun Hesaplanması

Yapıya uygulanan kuvvet etkisi sonrası oluşan serbest salınım değerlerinden elde edilmiş ivme spektrumundan zorlanmış titreşim sonrası yapının hasarsız durumuna ait modal frekans değerleri elde edilmiştir (Şekil 4.20). Yapıya ait modal frekanslar ivme spektrumunda bulunan tepe noktalarına karşılık gelmektedir. Elde edilen değerler doğrultusunda yapı modelinin etkin moduna ait periyod değeri 0.26 sn civarındadır.



Şekil 4.20. Filtrelenmiş kayıtlardan elde edilen ivme spektrumu

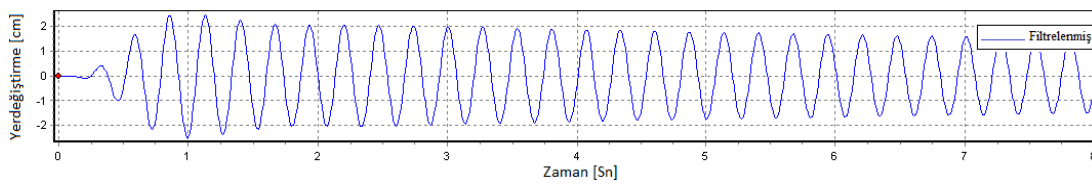
Yapının modal frekans değerlerinin belirlenebilmesinin bir diğer yöntemi ise yapı modelinin serbest titreşim deneyine tabi tutularak ivme kayıtlarının elde edilmesidir. Bunun için yapı modelinin tepe noktasına başlangıç deplasmanı verilerek yapının serbest salınım kayıtları elde edilmiştir. Elde edilen tek eksenli ivme kayıtları filtrelenmiştir (Şekil 4.21).



Şekil 4.21. Yapının serbest titreşim ivme kaydı

4.7. Sönüm Oranı Hesabı

Filtreleme sonrası oluşan ivme kayıtlarından serbest titreşim deplasman değerleri elde edilmiştir (Şekil 4.22).



Şekil 4.22. Yapının serbest titreşim deplasman kaydı

Yapı modeline ait filtrelenmiş deplasman değerlerinin kullanılmasıyla yapısal sönüm oranı elde edilmektedir. Sönüm oranının hesaplanması için logaritmik azalım yöntemi kullanılmıştır. Birbirine komşu veya birbirinden j uzaklıkta bulunan maksimumların kullanılmasıyla sönüm oranı hesaplanabilir. Yapı modeline ait 1 maksimum değer 2.44 cm iken 14 devir sonra bu değerde %14.15 azalma gözlemlenmiştir.

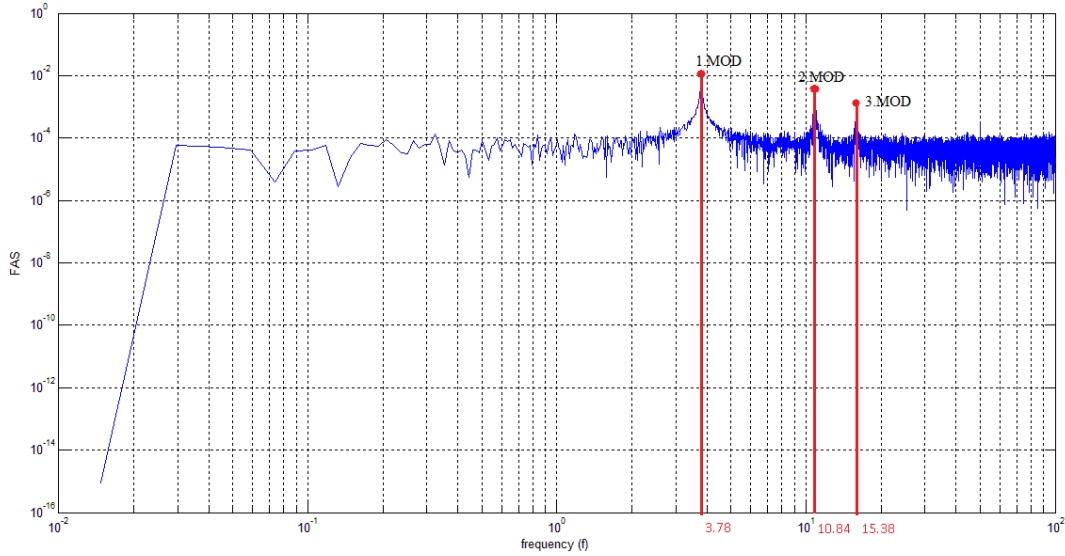
Oluşturulan modelde ξ için, logaritmik azalım yöntemiyle Denklem 4.2'deki δ hesaplanmasıyla sönüm oranı belirlenmiştir [22].

$$\delta = \frac{1}{j} \ln\left(\frac{u_1}{u_{j+1}}\right) \approx 2\pi\xi \quad (4.2)$$

Denklem 4.2'de j hareketin genliğinin u_1 den u_{j+1} e azalması için gereken çevirim sayısını göstermektedir. Bu denklem kullanılarak sönüm oranı % 1.73 olarak hesaplanmıştır.

4.8. Modal Frekansların Elde Edilmesi: Hasarsız Yapı

Elde edilen ivme kayıtlarından yapıya ait modal frekansların elde edilmesi amacıyla Fast Fourier Transform (FFT) olarak adlandırılan hızlı fourier dönüşümleri grafiklerine ihtiyaç vardır. Bunun için MATLAB ortamında hazırlanmış kodlar kullanılarak hasarsız yapı modeli için Fourier İvme Sprekturumu (FAS) ve etkin frekans değerleri elde edilmiştir (Şekil 4.23).



Şekil 4.23. Hasarsız yapı deneyine ait FFT ile hesaplanmış frekans içeriği

Grafikten elde edilen bilgiler doğrultusunda hasarsız yapı modeline (birinci deney) ait modal frekans de 3.78, 10.84 ve 15.38 Hz olarak elde edilmiştir.

4.9. Modal Frekansların Elde Edilmesi: Hasarlı Yapı

Hasarsız yapı modeli deney verilerinin elde edilmesinin ardından hasarlı yapı deneylerine başlanılmıştır.

Yapı modeli için oluşturulan hasarlı yapı deneyleriyle deprem, patlama, aşırı yük ile aşırı yük etkisine maruz olan yapı sistemlerinin dinamik etki altında rijit plaka hareketi yapan yatay elemanların dışında düşey taşıyıcı eleman olan ve yapının dinamik davranışına asıl etkisi olan kolon elemanların birleşim noktalarında oluşan hasarların etkisi incelenmiştir.

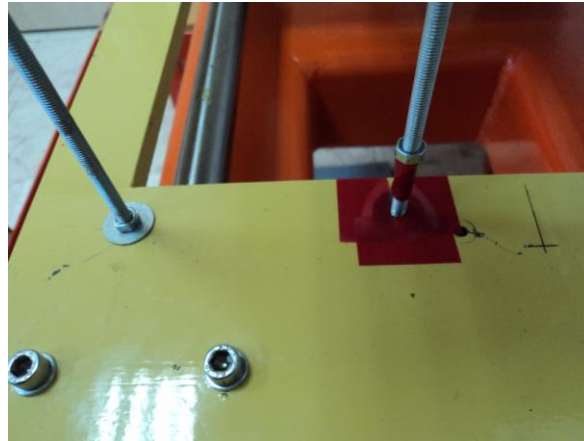
Hasarlı deneyler için yapı elemanlarında oluşturulan hasarlar temelde ve kat seviyelerinde bulunan ve yapı elemanları arasında rijit birleşim sağlayan cıvatalı birleşimlerin tamamen gevşetilmesiyle oluşturulmuştur.

4.9.1. Hasarlı yapı: ZS2 hasarlı

İlk olarak iç kısımda bulunan tek bir kolonun tabla seviyesindeki birleşim gevşetilerek yapı modeli için iki numaralı deney yapılmıştır.

Gevşetilen bağlantı elemanları olan cıvata ve somunlar, kayıt sırasında gürültü olarak kayıtlara etkiyeceğinden, sabitlenmesi gerekmektedir. Bu nedenle cıvata ve somunlar bantlar kullanılarak döşeme ve kolonlara sabitlenmiştir (Şekil 4.24).

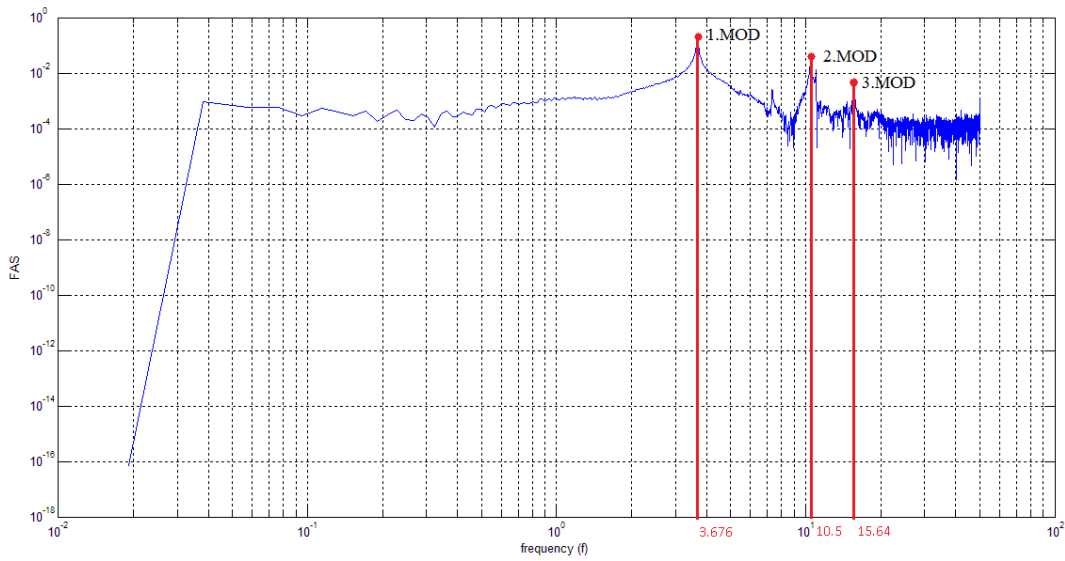
Hasar verilen yapı elemanları için kuvvet etkisiyle titreşim sonrası serbest titreşim ve tepe noktası deplasmanı verilerek oluşturulmuş serbest titreşim değerleri dikkate alınmıştır.



Şekil 4.24. ZS2 Hasarlı kolon deneyi için oluşturulmuş hasar durumu

Alınan titreşim kayıtları kullanılarak hasar sonrası elde edilen frekanslar Şekil 4.25 'te verilmiştir.

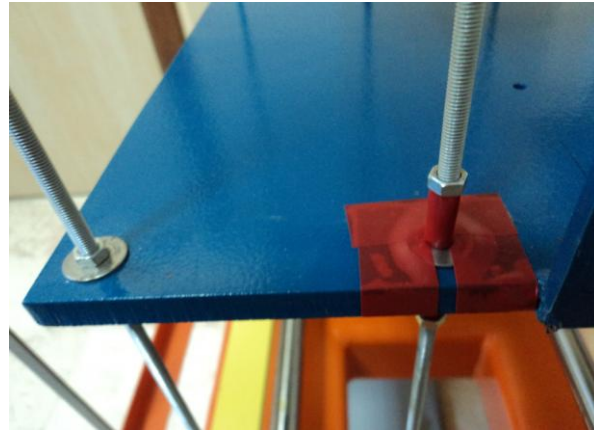
Grafikten elde edilen bilgiler doğrultusunda yapıya ait deneysel modal frekanslar 3.676, 10.5 ve 15.64 Hz'dir.



Şekil 4.25. ZS2 Hasarlı kolon deneyine ait FFT ile hesaplanmış frekans içeriği

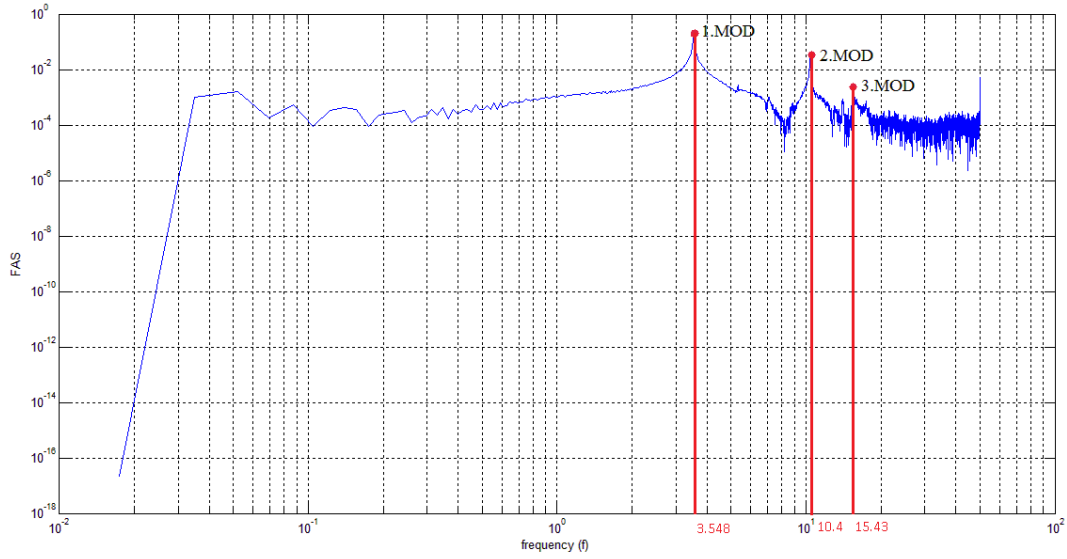
4.9.2. Hasarlı yapı: ZS2-1S2 hasarlı

Yapı modeline ait üçüncü deney durumu yapı modelinin birinci kat kolonunda oluşturulmuştur (Şekil 4.26).



Şekil 4.26. ZS2-1S2 Hasarlı kolon deneyi için oluşturulmuş hasar durumu

Yapı modeli için oluşturulan üçüncü deneye ait frekans değerleri FFT ile elde edilmiştir (Şekil 4.27).



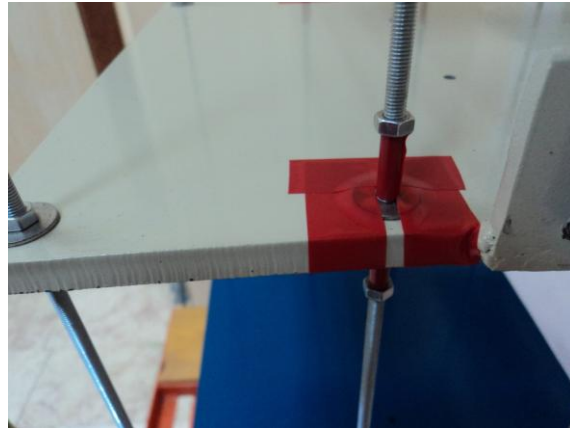
Şekil 4.27. ZS2-1S2 Hasarlı kolon deneyine ait FFT ile hesaplanmış frekans içeriği

Yapı modelinden oluşturulan hasar durumuna göre elde edilen modal frekans değerleri sırasıyla 3.548, 10.5 ve 15.64 Hz'dir.

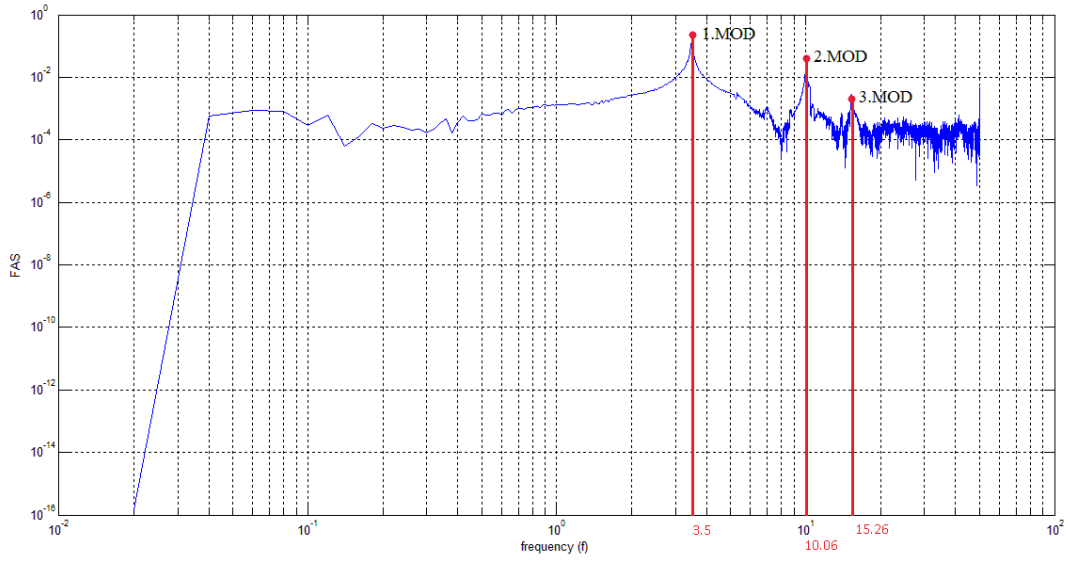
4.9.3 Hasarlı yapı: ZS2-1S2-2S2 hasarlı

Yapıya ait dördüncü deney için oluşturulmuş hasar, hasarlı kolonun ikinci kat seviyesindeki civataların gevşetilmesi şeklindedir (Şekil 4.28).

İkinci kat seviyesi için oluşturulan hasar durumuna ait FFT grafiği elde edilmiştir (Şekil 4.29). Deney sonrası grafiklerden okunan modal frekans değerleri sırasıyla 3.5, 10.06 ve 15.26 Hz'dir.



Şekil 4.28. ZS2-1S2-2S2 Hasarlı kolon deneyi için oluşturulmuş hasar durumu



Şekil 4.29. ZS2-1S2-2S2 Hasarlı kolon deneyine ait FFT ile hesaplanmış frekans içeriği

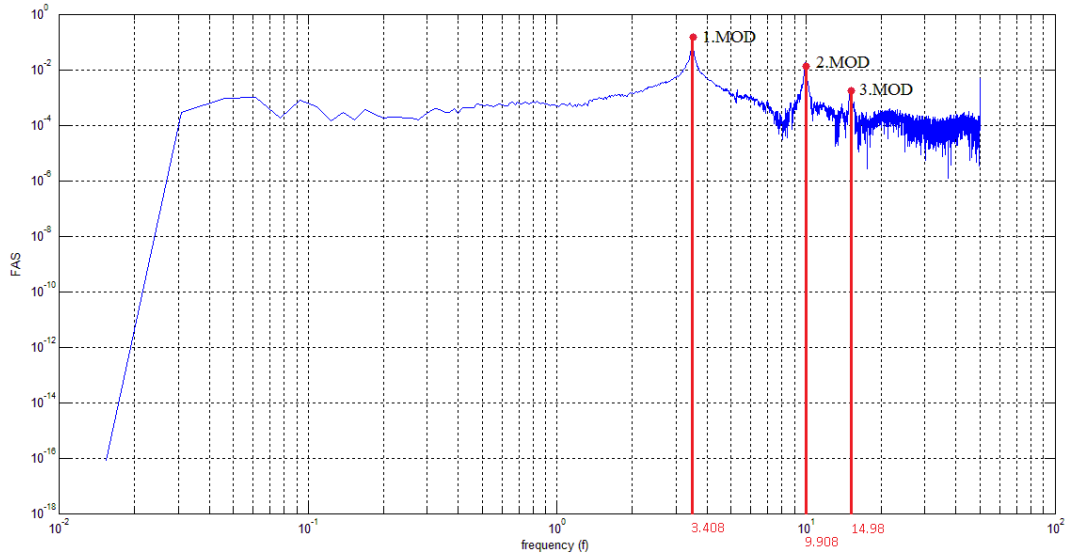
4.9.4. Hasarlı yapı: ZS2-1S2-2S2-3S2 hasarlı

Yapıda oluşturulan beşinci deney durumu için aynı kolona ait üçüncü kat seviyesindeki bağlantılar gevşetilmiştir (Şekil 4.30).



Şekil 4.30. ZS2-1S2-2S2-3S2 Hasarlı kolon deneyi için oluşturulmuş hasar durumu

Oluşturulan hasar durumuna ait FFT grafiği elde edilmiştir (Şekil 4.31). Yapıya ait modal frekans değerleri sırasıyla 3.41, 9.91 ve 14.98 Hz olarak hesaplanmıştır.

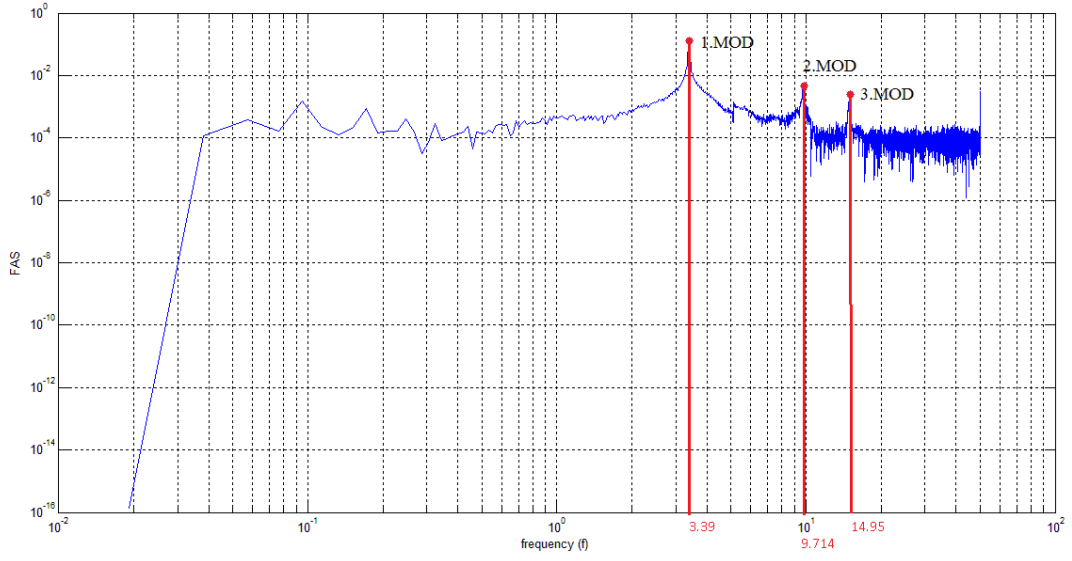


Şekil 4.31. ZS2-1S2-2S2-3S2 hasarlı kolon deneyine ait FFT ile hesaplanmış frekans içeriği

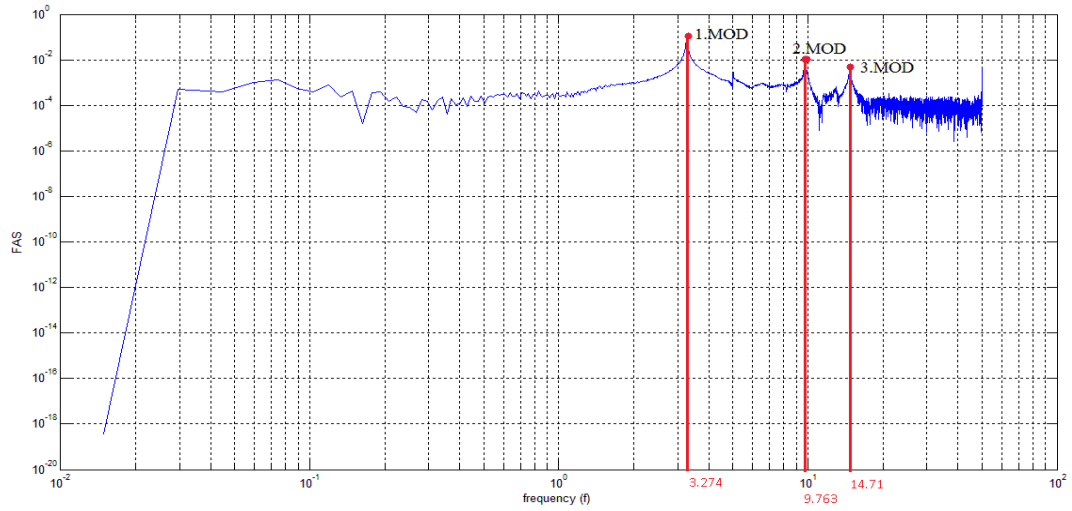
4.9.5. Hasarlı yapı: ZS6 hasarlı, ZS6-1S6 hasarlı, ZS6-1S6-2S6 hasarlı, ZS6-1S6-2S6-3S6 hasarlı, ZS3 hasarlı, ZS3-1S3 hasarlı, ZS3-1S3-2S3 hasarlı, ZS3 - 2S3-3S3 hasarlı, ZS7 hasarlı, ZS7-1S7 hasarlı, ZS7 -1S7 -2S7 hasarlı, ZS7-1S7-2S7-3S7 hasarlı

Deney sırasında oluşturulan biri hasarsız, dördü hasarlı durum olmak üzere ilk beş deney sonucuna göre değerler ayrıntılı bir biçimde incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalarda oluşturulan hasar durumu ayrıntılı olarak anlatılan ilk dört hasarlı durumla aynı sırada tekrar etmektedir.

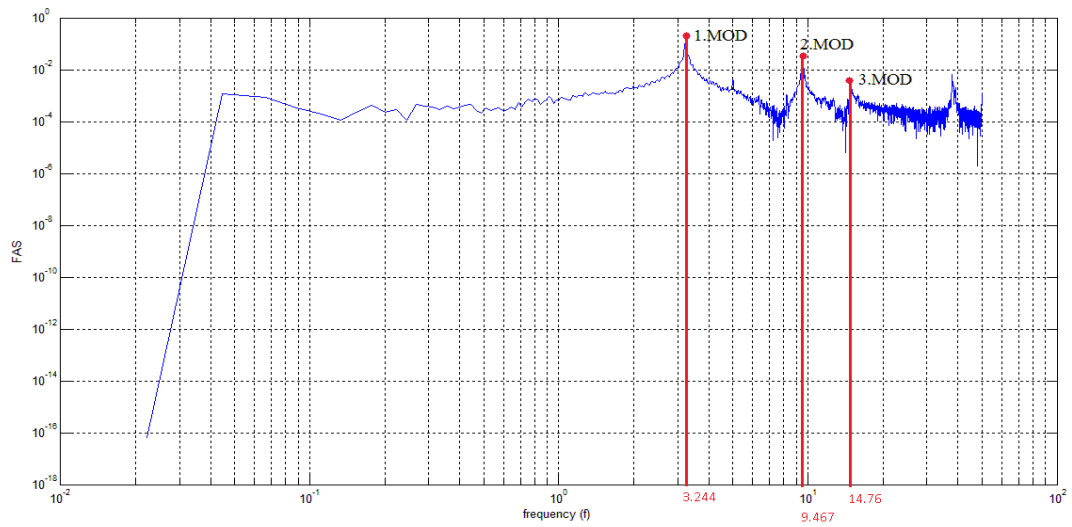
Geri kalan on iki hasar durumuna ait FFT grafikleri sırasıyla Şekil 4.32, Şekil 4.33, Şekil 4.34, Şekil 4.35, Şekil 4.36, Şekil 4.37, Şekil 4.38, Şekil 4.39, Şekil 4.40, Şekil 4.41, Şekil 4.42 ve Şekil 4.43'te gösterilmiştir.



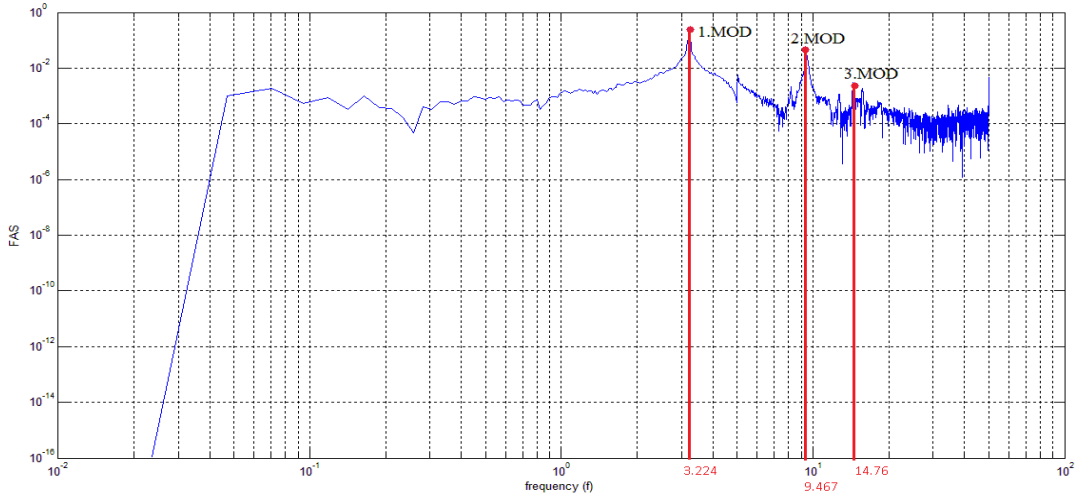
Şekil 4.32. ZS6 Hasarlı kolon deneyine ait FFT ile hesaplanmış frekans içeriği



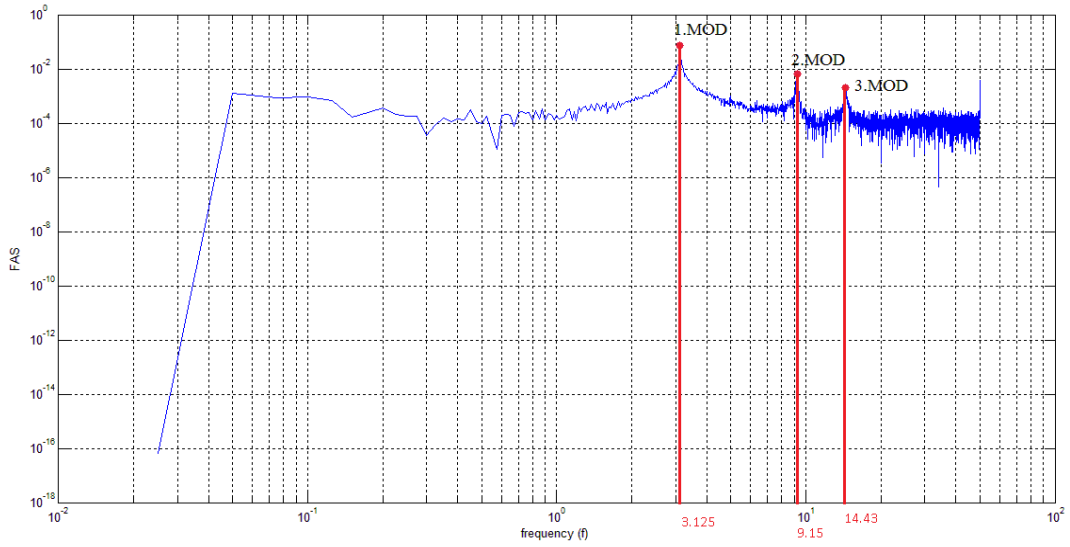
Şekil 4.33. ZS6-1S6 Hasarlı kolon deneyine ait FFT ile hesaplanmış frekans içeriği



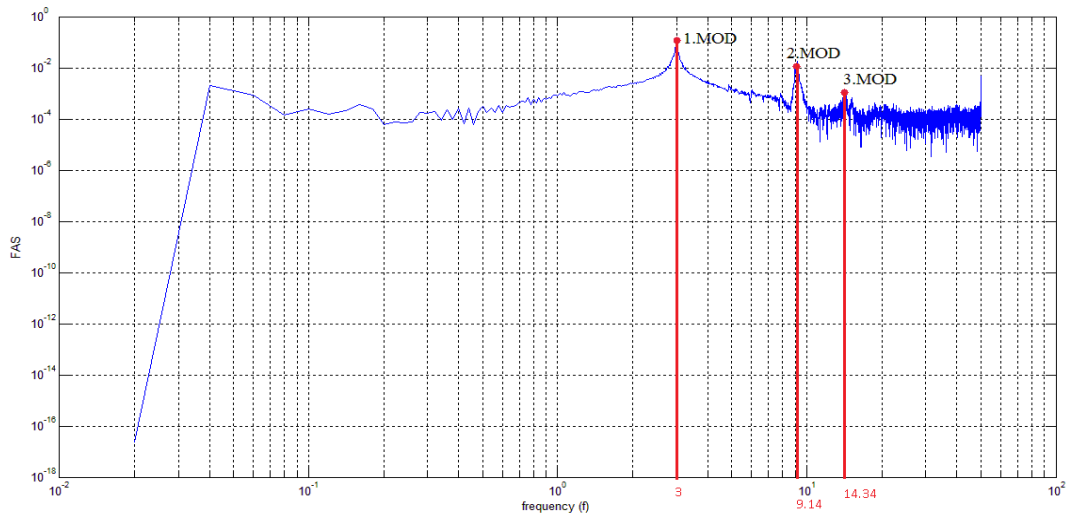
Şekil 4.34. ZS6-1S6-2S6 Hasarlı kolon deneyine ait FFT ile hesaplanmış frekans içeriği



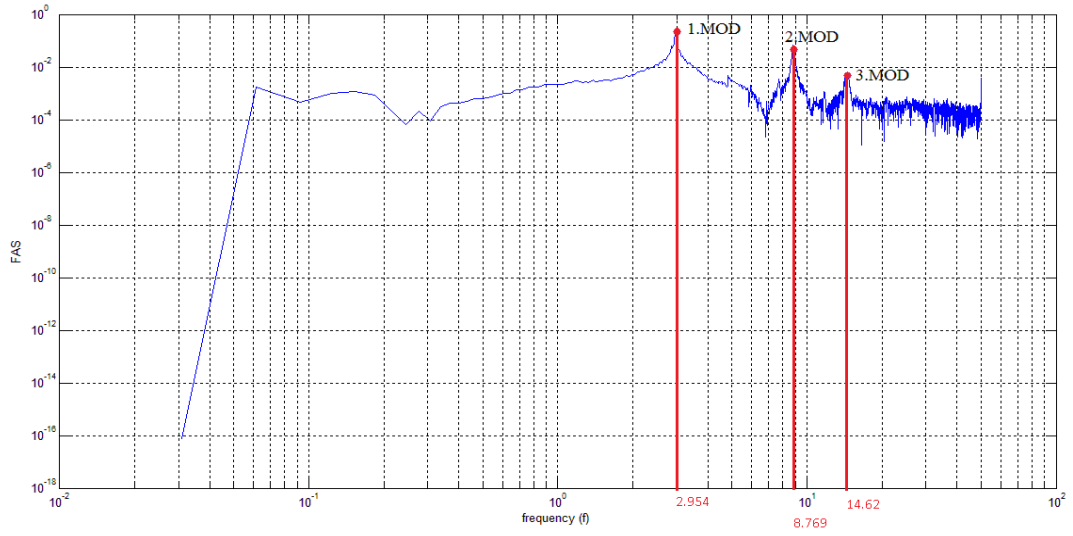
Şekil 4.35. ZS6-1S6-2S6-3S6 Hasarlı kolon deneyine ait FFT ile hesaplanmış frekans içeriği



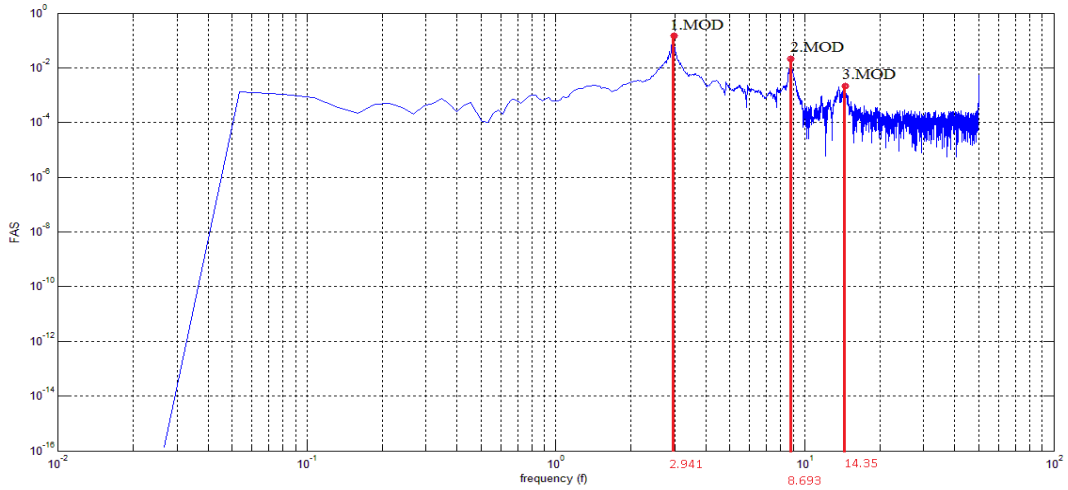
Şekil 4.36. ZS3 Hasarlı kolon deneyine ait FFT ile hesaplanmış frekans içeriği



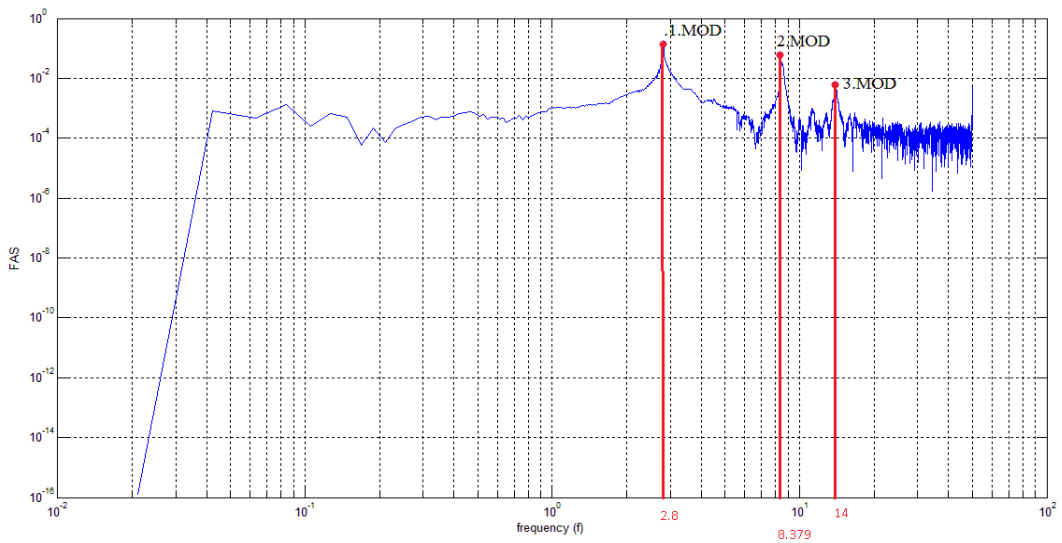
Şekil 4.37. ZS3-1S3 Hasarlı kolon deneyine ait FFT ile hesaplanmış frekans içeriği



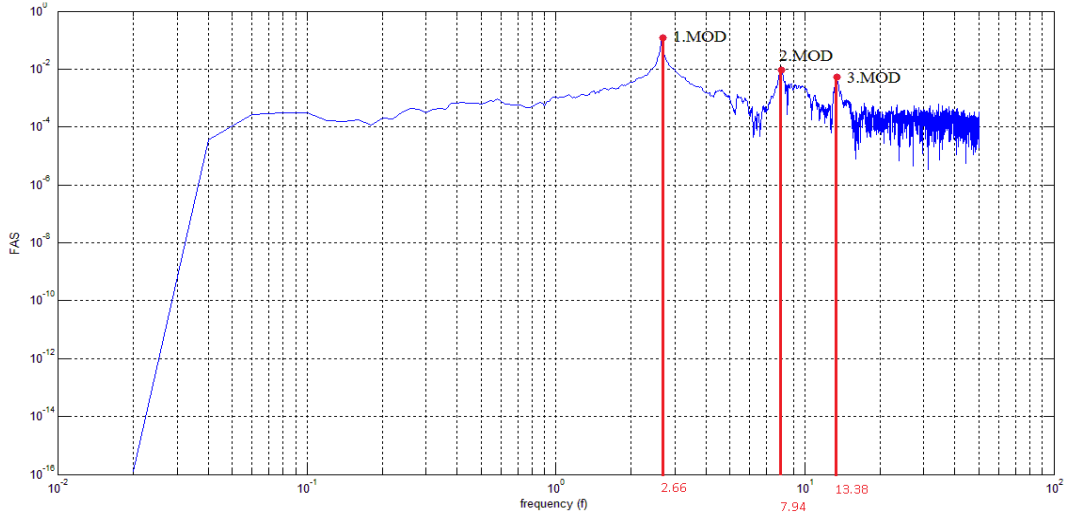
Şekil 4.38. SZ3-S13-S23 Hasarlı kolon deneyine ait FFT ile hesaplanmış frekans içeriği.



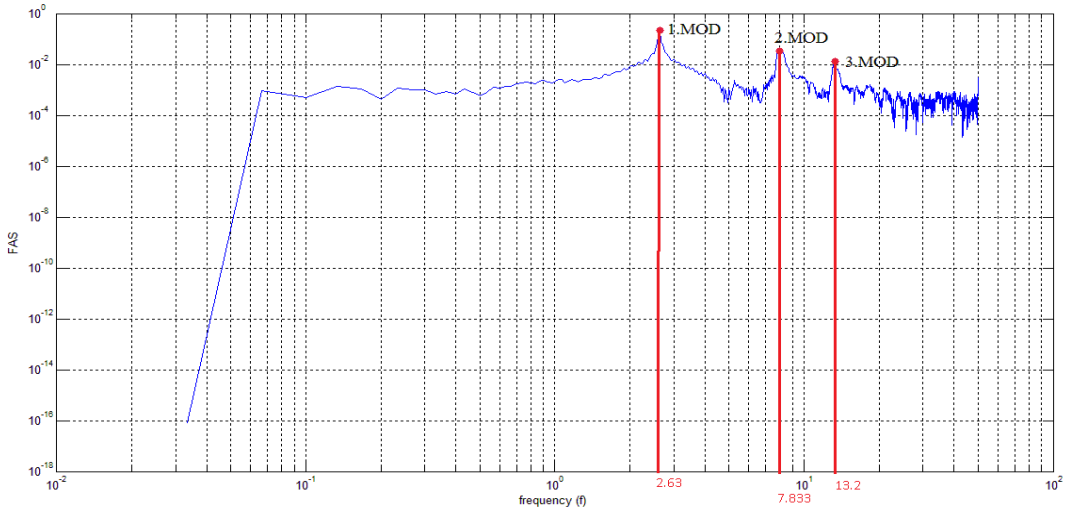
Şekil 4.39. SZ3-S13-S23-S33 Hasarlı kolon deneyine ait FFT ile hesaplanmış frekans içeriği.



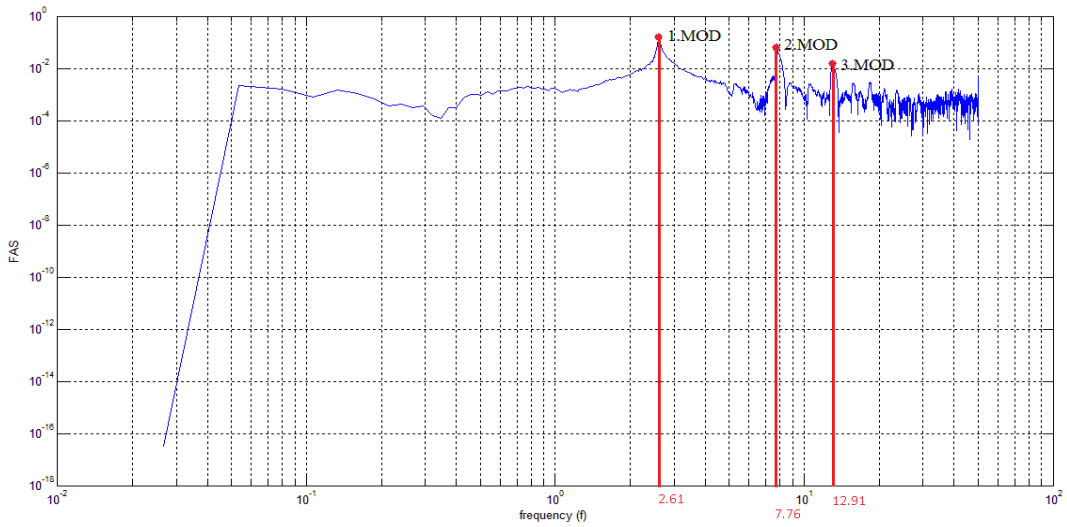
Şekil 4.40. ZS7 Hasarlı kolon deneyine ait FFT ile hesaplanmış frekans içeriği.



Şekil 4.41. ZS7-1S7 Hasarlı kolon deneyine ait FFT ile hesaplanmış frekans içeriği



Şekil 4.42. ZS7-1S7-2S7 Hasarlı kolon deneyine ait FFT ile hesaplanmış frekans içeriği



Şekil 4.43. ZS7-1S7-2S7-3S7 Hasarlı kolon deneyine ait FFT ile hesaplanmış frekans içeriği

Hasar durumları sonrası oluşan FFT grafiklerinden elde edilen her bir moda karşılık gelen modal frekans değerleri Tablo 4.4 'te gösterilmiştir.

Tablo 4.4. Deneysel çalışma sonrası FFT ile elde edilen modal frekanslar

Deney Numarası	Deney Tipi	Deney Sonucu		
		f_1 Hz	f_2 Hz	f_3 Hz
1	Hasarsız Yapı	3.78	10.84	15.38
2	ZS2 Hasarlı	3.676	10.5	15.64
3	ZS2-1S2 Hasarlı	3.548	10.4	15.43
4	ZS2-1S2-2S2 Hasarlı	3.5	10.06	15.26
5	ZS2-1S2-2S2-3S2 Hasarlı	3.408	9.908	14.98
6	ZS6 Hasarlı	3.39	9.714	14.95
7	ZS6-1S6 Hasarlı	3.274	9.763	14.71
8	ZS6-1S6-2S6 Hasarlı	3.244	9.467	14.76
9	ZS6-1S6-2S6-3S6 Hasarlı	3.224	9.365	14.42
10	ZS3 Hasarlı	3.125	9.15	14.43
11	ZS3-1S3 Hasarlı	3	9.14	14.34
12	ZS3-1S3-2S3 Hasarlı	2.954	8.769	14.62
13	ZS3-1S3-2S3-3S3 Hasarlı	2.941	8.693	14.35
14	ZS7 Hasarlı	2.8	8.379	14
15	ZS7-1S7 Hasarlı	2.66	7.94	13.38
16	ZS7-1S7-2S7 Hasarlı	2.63	7.833	13.2
17	ZS7-1S7-2S7-3S7 Hasarlı	2.61	7.76	12.91

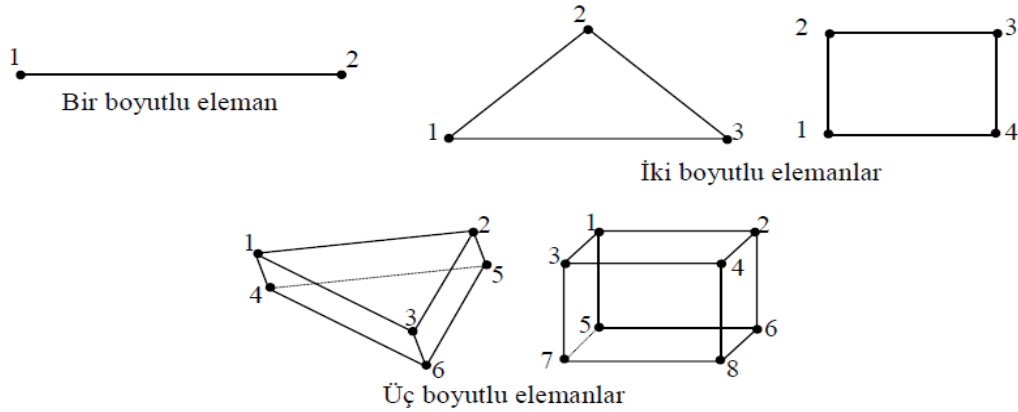
Yapı modelinde oluşturulan diğer on iki hasar durumuna ait hasar şekilleri Ek-A 'da verilmiştir.

BÖLÜM 5. ANALİTİK MODEL

Çalışmada deney sırasında kullanılan yapı modelinin sonlu eleman modeliyle olan doğruluk ilişkisi incelenmiştir. Deney sırasında kullanılan yapının sonlu eleman modeli SAP2000 programında oluşturulmuştur. Analitik modelleme aşamasında kullanılan malzemeler, deney sonucu elde edilen ve SAP2000 malzeme kütüphanesinden alınan verilerin analitik model elemanlarına tanımlanmasıyla oluşturulmuştur.

Kullanılan sonlu eleman programında deney modeline ait analitik modelin oluşturulması amacıyla sonlu eleman programı bünyesinde çok sayıda kesit özelliği tanımlanmıştır. Bulunan kesit özellikleri malzemenin kullanım amacına göre ve uygun boyutlarda seçilerek sonlu eleman modelinin oluşturulmasına imkan tanımıştır. Modelleme sırasında kullanılan elemanların öteleme ve dönme serbestlik değerleri göz önünde bulundurulmaktadır.

Analitik modellerin oluşturulmasında yapının gerçek davranışını temsil edecek elemanların seçilmesi önemli bir yer tutmaktadır. Birçok mühendislik yapısında kullanılması gereken eleman türleri bilinmekte ve genellikle kafes sistemler için bir boyutlu, döşemeler ve perdeler için iki boyutlu, köprüler ve barajlar için üç boyutlu elemanlar kullanılmaktadır (Şekil 5.1) [14,19].



Şekil 5.1. Sonlu Elemanlarda kullanılan eleman tipleri [14]

Yapıya ait oluşturulan analitik modelde analiz için kullanılan malzeme türleri döşemede kabuk eleman ve kolon için ise çerçeve elemanlardır. Kabuk eleman davranış tanımında ince ve kalın olmak üzere iki farklı durum bulunmaktadır. Yapılan analizle döşemelerde oluşacak olan kayma deformasyonu ihmal edilebileceğinden, ince kabuk elemanlar kullanılmıştır.

5.1. Malzeme Özelliği Ve Sınır Şartları

Oluşturulan analitik modelden elde edilen sonuçların tutarlı olabilmesi için kullanılan malzemenin mekanik özellikleri ve yapı modelindeki bağlantıları oluşturan sınır şartlarının analitik modelde doğru belirlenmesi gerekmektedir.

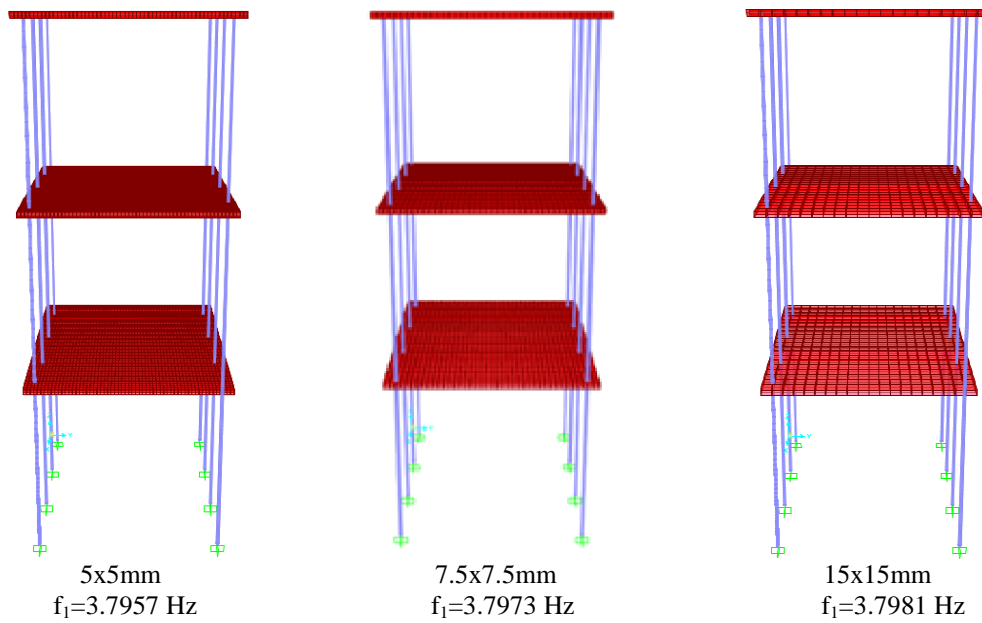
Yapılan deneyler doğrultusunda bağlantı elemanlarında farklı mesnet koşulları oluşturulmuştur. Bu nedenle deneylerde incelenen yapı modelinde oluşturulan mesnet şartları yapılan sonlu eleman analizlerinde değişiklik göstermektedir.

5.2. Ağ Örgüsü

Geometrik olarak gerçek yapıyı en iyi yansıtacak analitik model, her bir yapı elemanını parçalara (ağlara) bölerek ve ağ yakınsaması kontrolü yaparak oluşturulur. Hasar tespitinde frekanslara dayalı karşılaştırma yapılması durumunda ağ

yakınsamasının önemi daha da ortaya çıkmaktadır. Yeterli ağ yakınsaması sağlanmamış analitik modellerin hassas sonuç vermeyeceği açıktır [14,19].

Oluşturulan sonlu eleman modeli için kat levhalarının boyutları ve yapı modelini oluşturan kolon elemanların döşemelerde oluşturduğu birleşimlerin koordinatları da dikkate alınarak ağ örgüsü oluşturmuştur. Bu nedenle kat döşemeleri 5x5mm, 7,5x7,5mm ve 15x15mm boyutlarında ağ örgüsüne bölünerek analitik model analiz edilmiştir (Şekil 5.2).



Şekil 5.2. Analitik model için oluşturulmuş ağ örgüsü sıklıkları

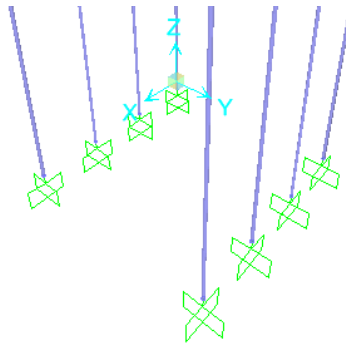
Yapılan analizde kullanılan ağ örgüsü sıklığı yapının çözüm süresini etkilemesinin yanında, elde edilen sonuç değerlerinde de değişimlere yol açmıştır. Fakat elde edilen değerlere bakıldığında analiz sonrası sonuçlardaki ilişki çok yakın olduğundan ve bilgisayarın kapasitesi için daha elverişli olduğundan 15x15 mm'lik ağ örgüsü analizlerde kullanılmıştır.

Yapının deprem yükleri altında, kat döşemelerinin, kendi düzlemi içinde rijit cisim hareketi yaptıklarının belirtilmesi gerekir [16]. Bu nedenle oluşturulan sonlu eleman modelinin her katındaki düğüm noktalarının aynı doğrultudaki yerdeğiştirmelerinin eşit olması kabulünden rijit diyafram özelliği tanımlanmıştır.

Deney modeline ait modal frekansların, sonlu eleman modeliyle olan tutarlılığının gözlemlenmesi amacıyla sonlu eleman modeli için modal analiz yapılması gerekmektedir. Bunun için SAP2000 programında hazırlanmış olan sonlu eleman modeli analize tabi tutulmuştur. Bunun için programın hesapladığı 12 mod arasından yapı modeline ait kayıtların alındığı doğrultudaki modal frekans değerleri dikkate alınmıştır.

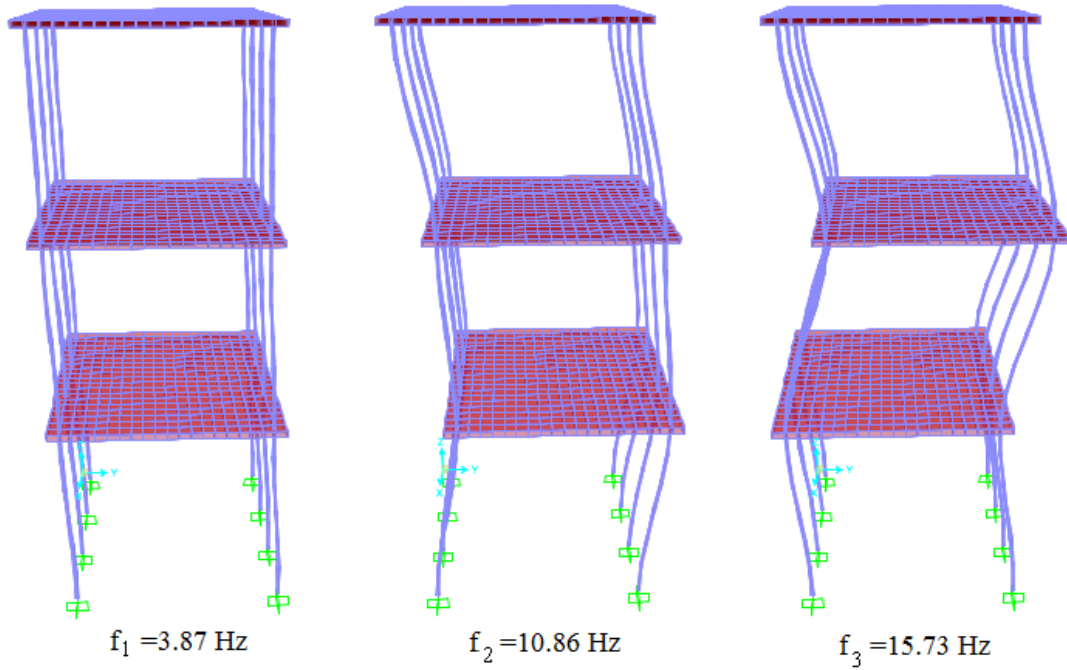
5.3. Analitik Model İle Modal Analiz Verilerinin Elde Edilmesi: Hasarsız Yapı

Yapılan analizde ilk olarak hasarsız yapı modeli incelenmiştir. Analitik modelde oluşturulan yapı sistemi kolonlarına ait mesnet şartları ilk deney için sabit mesnet olarak tanımlanmıştır (Şekil 5.3).



Şekil 5.3. Hasarsız yapı deneyi için sonlu eleman modelinde oluşturulmuş mesnetler

Analitik modelde yapılan modal analiz sonucunda yapının mod şekilleri ve modal frekans değerleri elde edilmiştir (Şekil 5.4).



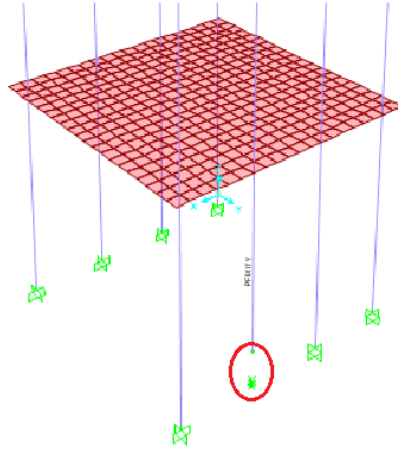
Şekil 5.4. Hasarsız yapı deney modeli için elde edilmiş mod şekilleri ve modal frekanslar

5.4. Analitik Model İle Modal Analiz Verilerinin Elde Edilmesi: Hasarlı Yapı

Yapı modelinin bağlantı noktalarında oluşturulan hasarlar, yapının sonlu eleman çözümü için analitik modelde tanımlanması gerekmektedir. Yapılan çalışmada oluşturulan her bir hasar durumu için gevşetilen kolon birleşim noktaları, sonlu eleman programında yapıya mafsalsal olarak tanımlanmıştır. Ayrıca yapı modelinin mesnet şartları değiştirilerek hasar durumunun analitik çözümüne katkı sağlamıştır.

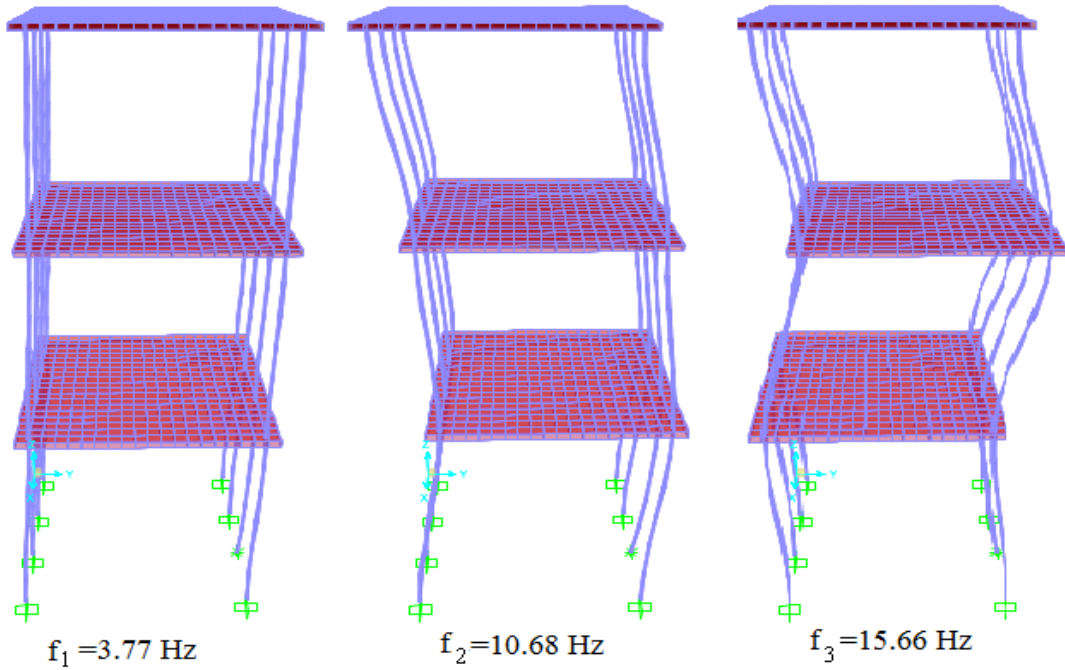
5.4.1. Hasarlı yapı: ZS1 hasarlı

Yapıya modeline ait sonlu eleman modeli için hasar durumları mesnet koşullarının değiştirilmesi ve bağlantı elemanlarına mafsalsal eklenerek ardışık iki deneyden elde edilen frekanslar oranında rijitlik azalması yapılarak elde edilmiştir (Şekil 5.5).



Şekil 5.5. ZS1 Hasarlı yapı deneyi için sonlu eleman modeline tanımlanmış hasar durumu

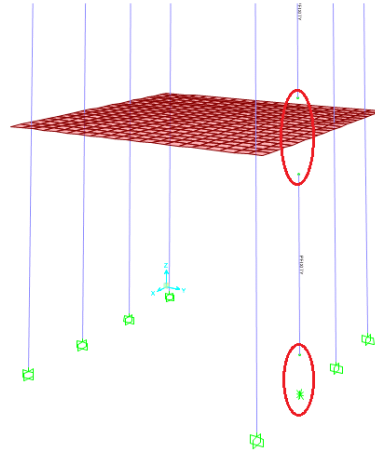
İkinci deney sonucu oluşan mesnet koşulları ve frekans değerleri oranında yapılan rijitlik azalması sonucu modal frekans değerleri ve mod şekilleri elde edilmiştir (Şekil 5.6).



Şekil 5.6. ZS1 Hasarlı yapı deney modeli için elde edilmiş mod şekilleri ve modal frekanslar

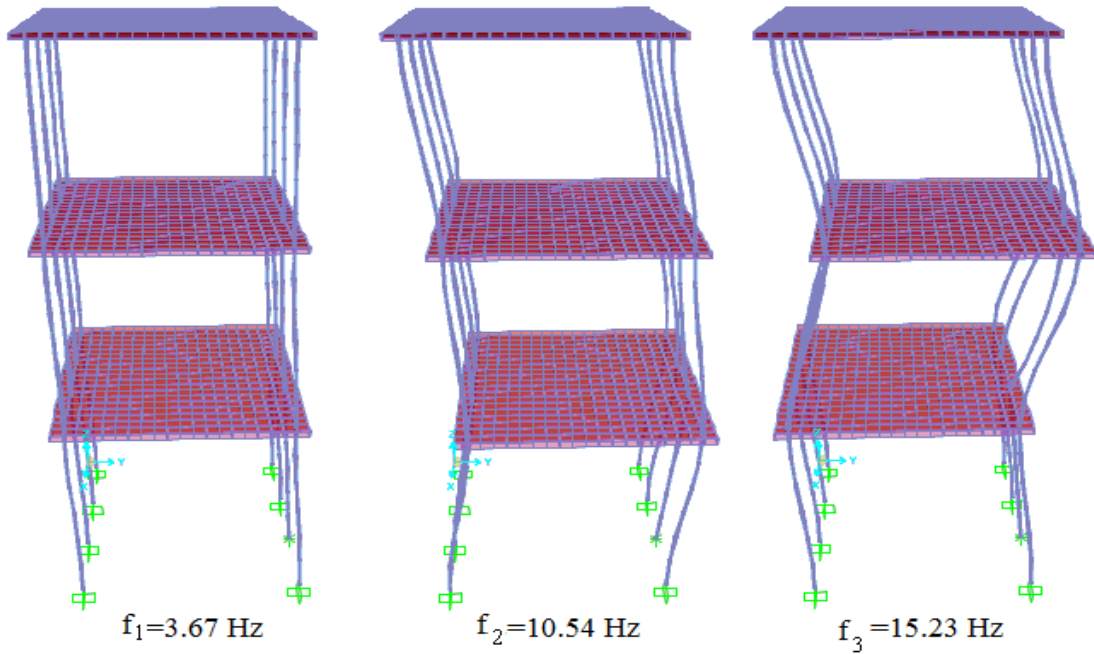
5.4.2. Hasarlı yapı: ZS1-1S1 hasarlı

Üçüncü deneyde oluşturulan hasar durumu ve modal frekans değerleri oranında rijitlik azalması yapılarak yapının sonlu eleman modeli oluşturulmuştur (Şekil 5.7).



Şekil 5.7. ZS1-1S1 Hasarlı yapı deneyi için sonlu eleman modeline tanımlanmış hasar durumu

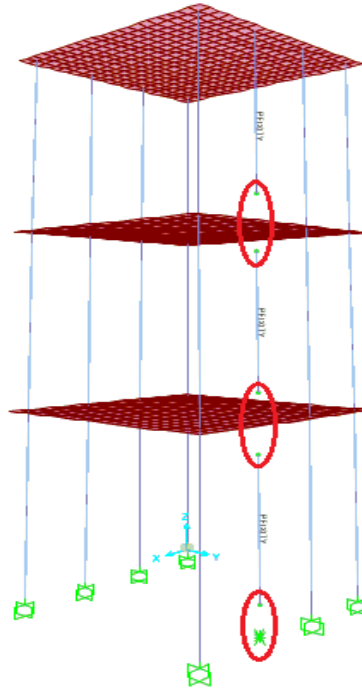
Analitik modelin analizinden elde edilen modal frekans değerleri ve mod şekilleri Şekil 5.8’de verilmiştir.



Şekil .5.8. ZS1-1S1 Hasarlı yapı deney modeli için elde edilmiş mod şekilleri ve modal frekanslar

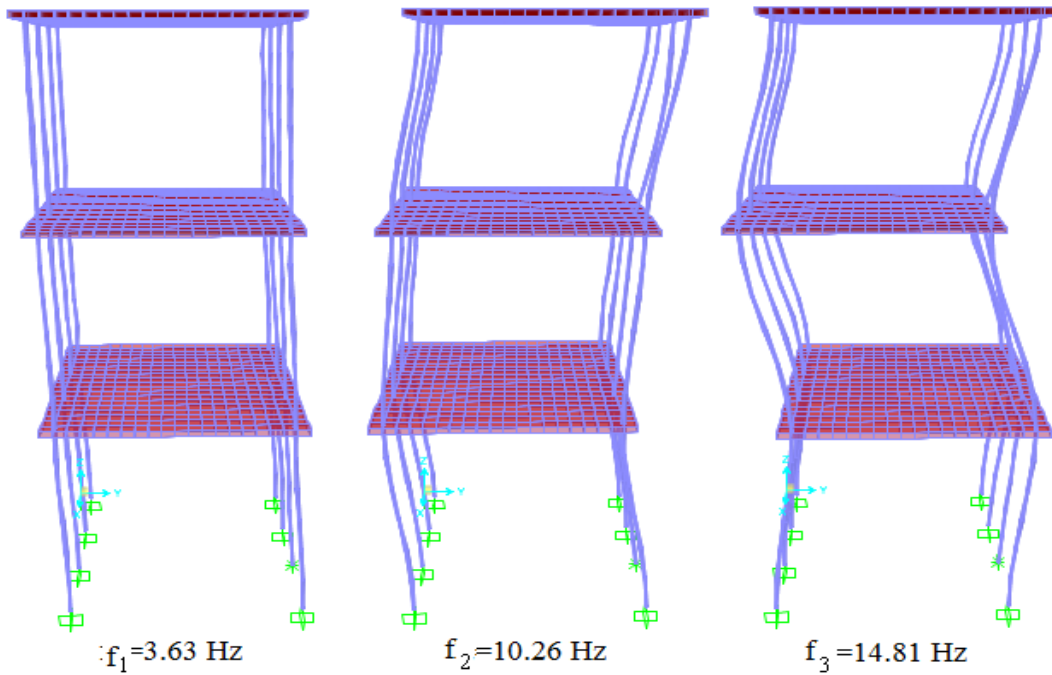
5.4.3. Hasarlı yapı: ZS1-1S1-2S1 hasarlı

Dördüncü deney şartları doğrultusunda yapının ikinci kat düzleminde birleşimler tamamen gevşetilmiştir. Deneylerden elde edilen frekans değerleri ışığında rijitlik azalması yapılmıştır. Deney numarasına göre oluşturulan analitik model Şekil 5.9’da gösterilmiştir.



Şekil 5.9. ZS1-1S1-2S1 Hasarlı yapı deneyi için sonlu eleman modeline tanımlanmış hasar durumu

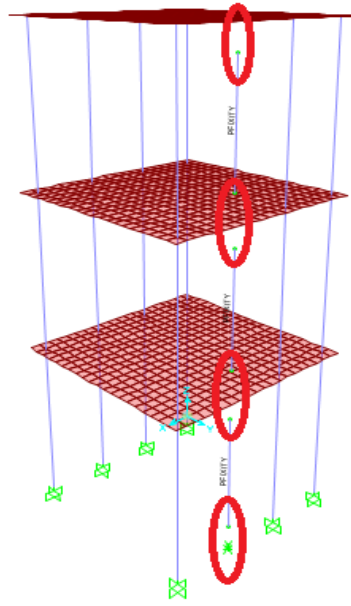
Oluşturulan hasar durumu sonrası elde edilen mod şekil değiştirmeleri ve modal frekanslar Şekil 5.10'daki gibidir.



Şekil 5.10. ZS1-1S1-2S1 Hasarlı yapı deney modeli için elde edilmiş mod şekilleri ve modal frekanslar

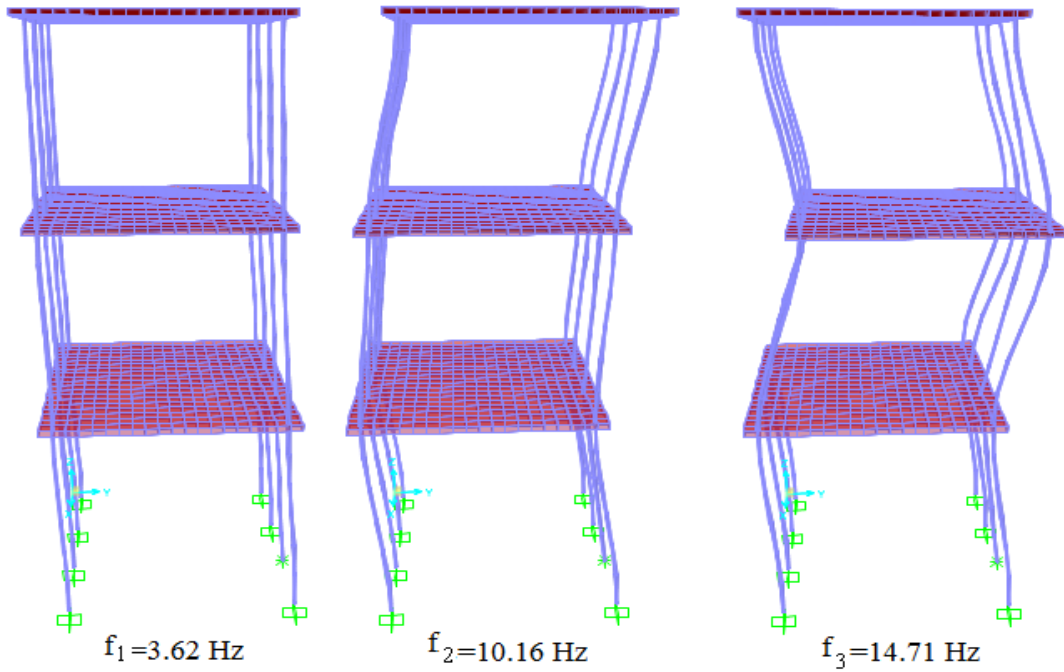
5.4.4. Hasarlı yapı: ZS1-1S1-2S1-3S1 hasarlı

Yapı modelinin aynı kolonuna ait oluşturulmuş hasar biçimi üçüncü kat seviyesindeki birleşim elemanlarındadır. ZS1-1S1-2S1-3S1 Hasarlı deneyi için oluşturulan bu hasar biçimi aynı kolon için uygulanan son hasar durumudur. Deney verileri doğrultusunda oluşturulan analitik model Şekil 5.11’de gösterilmiştir.



Şekil 5.11. ZS1-1S1-2S1-3S1 Hasarlı yapı deneyi için sonlu eleman modeline tanımlanmış hasar durumu

Oluşturulan sonlu eleman modeline ait modal şekil değiştirmeleri ve modal frekans değerleri Şekil 5.12’de bulunmaktadır.



Şekil 5.12. ZS1-1S1-2S1-3S1 Hasarlı yapı deneyi için elde edilmiş mod şekilleri ve modal frekanslar

Oluşturulan analitik modeller ilk beş deney durumu için ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Kalan on iki deney iç kısımda bulundan diğer üç kolon için aynı biçimde tekrar edilmiştir. Sonlu eleman analizi sonrası elde edilen on iki deney durumuna ait modal frekanslar ve mod şekilleri Ek-B de verilmiştir.

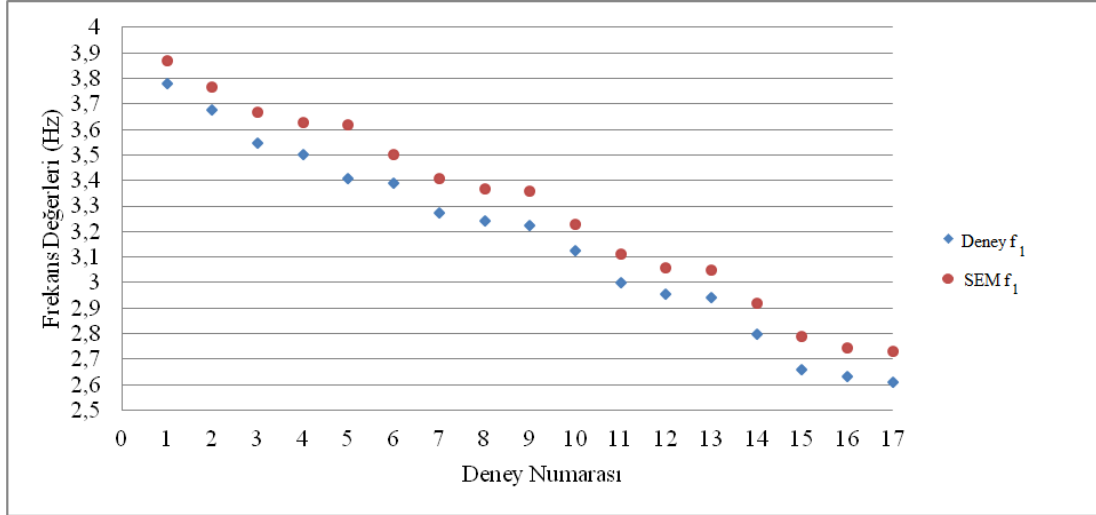
Analitik modelde uygulanan deneyler sonrası yapının modal frekans değerleri üç mod için elde edilmiştir. her bir deney durumuna bağlı olarak sonlu eleman analizinden elde edilen modal frekans değerleri Tablo 5.1’de belirtilmiştir.

Tablo 5.1. Sonlu eleman modeli ile elde edilen modal frekanslar

Deney Numarası	Deney Tipi	Sonlu Eleman Modeli (SEM)		
		f_1 Hz	f_2 Hz	f_3 Hz
1	Hasarsız Yapı	3.87	10.86	15.73
2	ZS2 Hasarlı	3.767	10.68	15.66
3	ZS2-1S2 Hasarlı	3.668	10.54	15.23
4	ZS2-1S2-2S2 Hasarlı	3.628	10.258	14.81
5	ZS2-1S2-2S2-3S2 Hasarlı	3.62	10.16	14.71
6	ZS6 Hasarlı	3.50	9.96	14.63
7	ZS6-1S6 Hasarlı	3.407	9.81	14.20
8	ZS6-1S6-2S6 Hasarlı	3.366	9.52	13.73
9	ZS6-1S6-2S6-3S6 Hasarlı	3.359	9.295	16.62
10	ZS3 Hasarlı	3.228	9.20	13.54
11	ZS3-1S3 Hasarlı	3.11	9.017	13.08
12	ZS3-1S3-2S3 Hasarlı	3.06	8.699	12.548
13	ZS3-1S3-2S3-3S3 Hasarlı	3.05	8.58	12.43
14	ZS7 Hasarlı	2.92	8.35	12.33
15	ZS7-1S7 Hasarlı	2.79	8.08	11.75
16	ZS7-1S7-2S7 Hasarlı	2.744	7.80	11.25
17	ZS7-1S7-2S7-3S7 Hasarlı	2.73	7.67	11.12

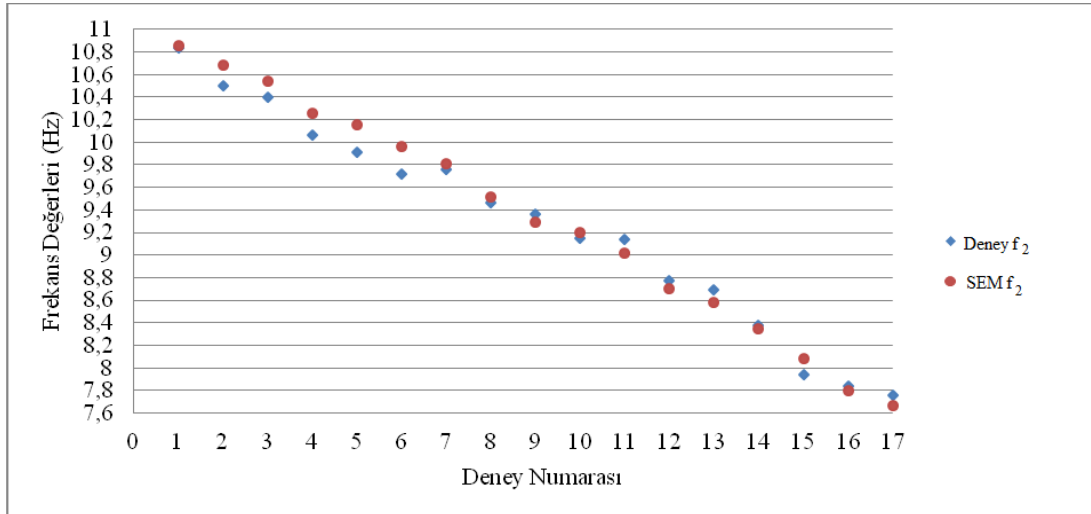
BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan çalışma kapsamında deney modeli ve analitik modeli oluşturulmuş yapı modeli verilerinin tutarlılık ilişkileri belirlenmiştir. Yapıda kayıtların alındığı yöndeki ivme değerlerinden elde edilen ve etkin olduğu kabul edilen ilk üç mod için her bir moda karşılık gelen modal frekans değerleri Şekil 6.1, Şekil 6.2. ve Şekil 6.3.'de belirtilmiştir.



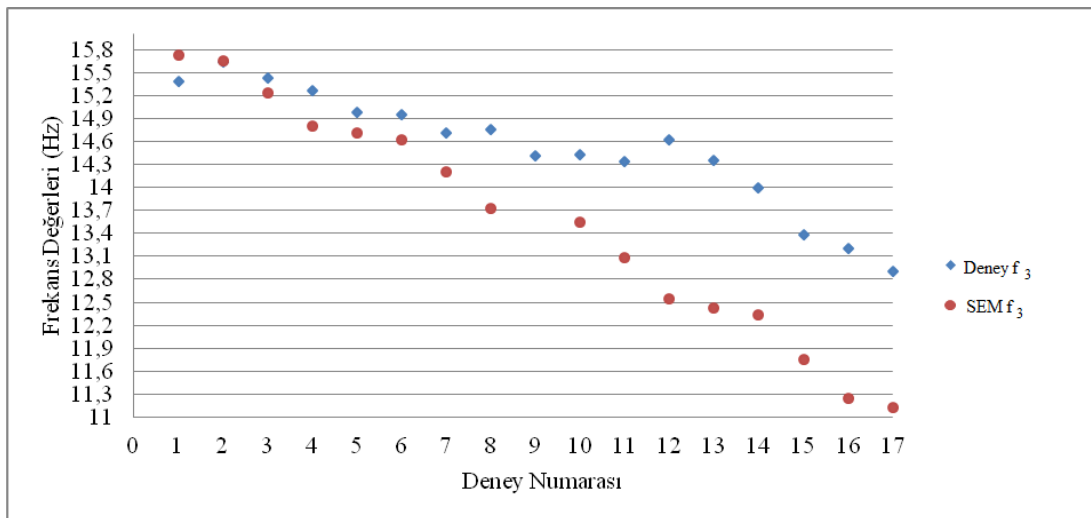
Şekil 6.1 Deney ve sonlu eleman modelinden elde edilen birinci modal frekans değeri

Birinci modal frekans değerleri incelendiğinde kurulan analitik model ve deney modeli uyum bakımından gayet tutarlı sonuçlar vermiştir.



Şekil 6.2. Deney ve sonlu eleman modelinden elde edilen ikinci modal frekans değeri

Yapının ikinci modal frekans değerleri incelendiğinde elde edilen sonuçlar birinci mod kadar tutarlı olmasa da, sonuçlar oldukça yakındır.



Şekil 6.3 Deney ve sonlu eleman modelinden elde edilen üçüncü modal frekans değeri

İncelenen üçüncü moda ait frekans uyumu incelendiğinde, analitik model ve deney modeli verileri büyük sapmalara uğramıştır.

Yapıların dinamik davranışında modal katılım oranlarının etkisi büyüktür. Özellikle birinci mod ve ikinci mod değerlerinin etkisi yapı davranışını oluşturan diğer modlara oranla daha fazladır. Grafiklerden elde edilen bilgiler doğrultusunda modal katılım oranının birinci ve ikinci mod verilerinin üçüncü moda kıyasla hem grafik

verilerinin paralelliği açısından hem de analitik ve deneysel çalışmalardan elde edilen frekans değerlerinin paralelliği açısından daha uyumlu olduğu elde edilmiştir.

Çalışma kapsamında her iki modelin uyum ilişkisinin tutarlı olması deneylerden elde edilen kayıtlarda yapılan sinyal işleme ve kayıt filtreleme tekniklerinin sağlıklı yapıldığının kanıtıdır.

Yapılan analizlerden elde edilen bilgiler ışığında düğüm noktaları tam olarak gevşetilen ve hasarlı olduğu kabul edilen yapı kolonlarının aksel yük taşımadığı, ancak yapının titreşim modlarına hem deneysel hem de analitik çözüm bakımından yaklaşık olarak %20 civarında etkidiği görülmüştür.

Yapılan yüksek lisans tez çalışması kapsamında sinyal işleme teknikleri öğrenilmiş, elde edilen veriler ile hasarlı ve hasarsız durumlar için dinamik değişimlerin programlama dilinde kullanılan kodlama yöntemleriyle nasıl elde edildiği incelenmiştir.

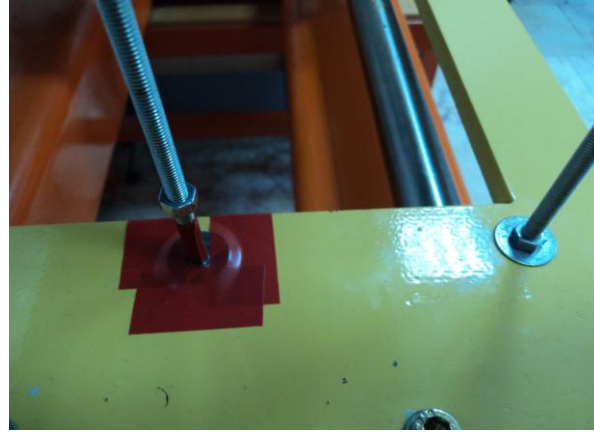
Sonraki çalışmalarda gerçek bir yapıdan uzun süreli kayıtlar alınabilir, üç eksenli ivme ölçerler kullanılarak çevrel titreşim verileri çok modlu elde edilebilir ve gözlem süreci içerisinde yapıda oluşan hasarların yapının hangi noktalarında ve hangi derecede olduğu kurulan analitik modelin model güncelleme teknikleriyle analiz edilmesinin ardından hasarın derecesi belirlenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] BEYEN, K., KUTANİS, M., TANÖZ, H.Ö., BAŞKAN, D., Yapı sağlığı izleme ve yapı tanı çalışmaları için akıllı aktarma protokollu kablosuz sensör ağı, Yedinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 30 Mayıs-3 Haziran, İstanbul, 2011.
- [2] BAYRAKTAR, A., TÜRKER, T., ÖZCAN, M., AKKÖSE, M., ADANUR, S., ATEŞ, Ş., Yapısal hasarların deneysel ve operasyonel modal analiz yöntemleriyle belirlenmesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, 106m038'nolu Tübitak Projesi, 2009.
- [3] CATBAS, F.N., GUL, M., BURKETT, J.L., Conceptual damage-sensitive features for structural health monitoring: Laboratory and field demonstrations, Mechanical Systems and Signal Processing 22, 1650-1669, 2008.
- [4] KAYA, H., Experimental Modal Analysis of A Steel Grid Frame, ODTU, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Ocak 2004.
- [5] BEYEN, K., KUTANİS, M., BAL İ.E., Çevrel ve zorlama kuvvet titreşimleri altında 17 ağustos 1999 kocaeli depreminde hasar almış binaların yapı tanı çalışmaları , Yedinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 30 Mayıs-3 Haziran, İstanbul, 2011.
- [6] BEYEN, K., Structural identification for post-earthquake safety analysis of the Fatih mosque after the 17 August 1999 Kocaeli earthquake, Engineering Structures 30, 2165-2184, 2008.
- [7] TURER, A., BOZ, B., Computer modeling and seismic performance assessment of historic Aspendos theatre in Antalya, Turkey, Engineering Structures 30, 2127-2139, 2008.
- [8] GUNDOĞAN, M., Çelik model köprünün yapı sağlığının gözlemlenmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi , 2012.
- [9] BESKHYROUN, S., WOTHERSPOON, L., MA, Q.T., POPLİ, B., Ambient and forced vibration testing of a 13-story reinforced concrete building, NZSEE Conference, 2013.

- [10] ŞAFAK, E.,Yapı Titreşimlerinin izlenmesi: nedir, neden yapılır, nasıl yapılır, ve ne elde edilir?, Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 16-20 Ekim, İstanbul, 2007.
- [11] CHIU, H.C., Stable baseline correction of digital strong-motion data, Bulletin Of The Seismological Society Of America 87, 932-944, 1997.
- [12] BARAN, T., Yapıların dinamik davranışının deneysel ve teorik olarak incelenmesi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 2008.
- [13] KUTANİS, M., Deprem simülatörü yapımı ve tasarımı, Sakarya Üniversitesi, MAG-HD-11 (105m082)'nolu Tübitak Projesi, 2007.
- [14] TURKER, T., Çevresel titreşim verileri kullanılarak yapıların hasar durumlarının tespiti ve değerlendirilmesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 2011.
- [15] MERTAYAK, C., Yapı modellerinin dinamik davranışlarının deneysel ve teorik incelenmesi, Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2009.
- [16] ÖZMEN, G., ORAKDÖĞEN, E., DARILMAZ, K., Örneklerle Sap2000-V12, Birsen Yayınevi, 2009.
- [17] Sap2000 V15.1.0(2011), Integrated Software for Structural Analysis and Design Program Computers and Structures Inc., Berkeley, California, USA.
- [18] <https://wiki.csiberkeley.com/display/kb/Ritz+vs.+Eigen+vectors>, Erişim Tarihi: 07.05 2013.
- [19] PETYT M., Introduction to finite element vibration analysis, Cambridge University Press, 1990.
- [20] LabVIEW 8.0., National Instruments, USA, 2006.
- [21] BALCIQNAS, G., AUGUTİS, V., GAILIUS, D., LATVELİS, G., Young modulus measurement using free vibration technique, Proceedings of the International Conference VIBROENGINEERING, 17-20, 2008.
- [22] CHOPRA, A. K., Dynamic of structures, theory and applications t earthquake engineering, third edition, Pearson Prentice Hall, 2007.
- [23] SeismoSignalHelp, SeismoSignal, SeismoSoft Ltd, 2002-2012, Pavia, Italy.

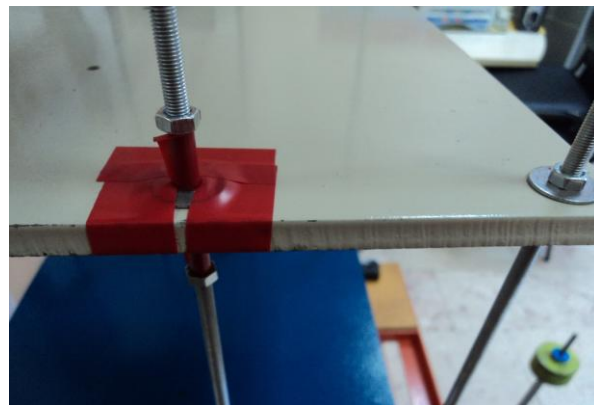
EKLER

EK-A

Şekil A.1. ZS6 Hasarlı kolon deneyi için oluşturulmuş hasar durumu



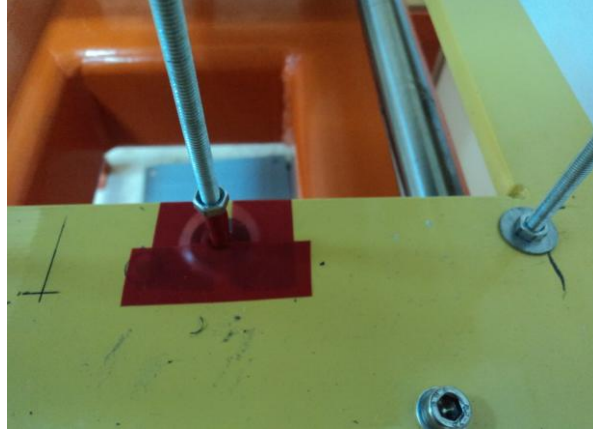
Şekil A.2. ZS6-1S6 Hasarlı kolon deneyi için oluşturulmuş hasar durumu



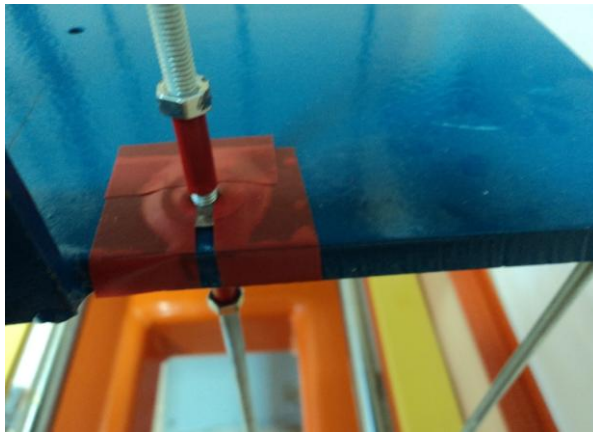
Şekil A.3. ZS6-1S6-2S6 Hasarlı kolon deneyi için oluşturulmuş hasar durumu



Şekil A.4. ZS6-1S6-2S6-3S6 Hasarlı kolon deneyi için oluşturulmuş hasar durumu



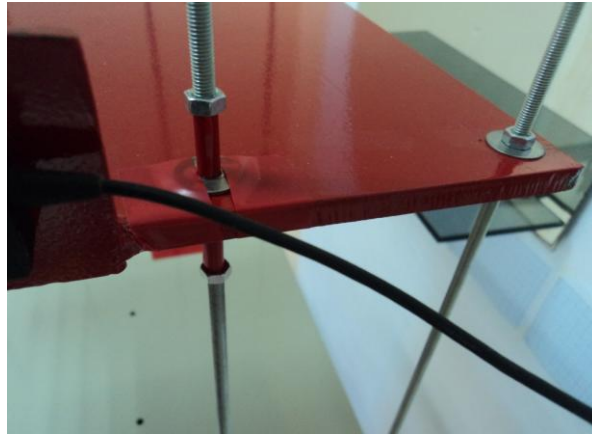
Şekil A.5. ZS3 Hasarlı kolon deneyi için oluşturulmuş hasar durumu



Şekil A.6. ZS3-1S3 Hasarlı kolon deneyi için oluşturulmuş hasar durumu



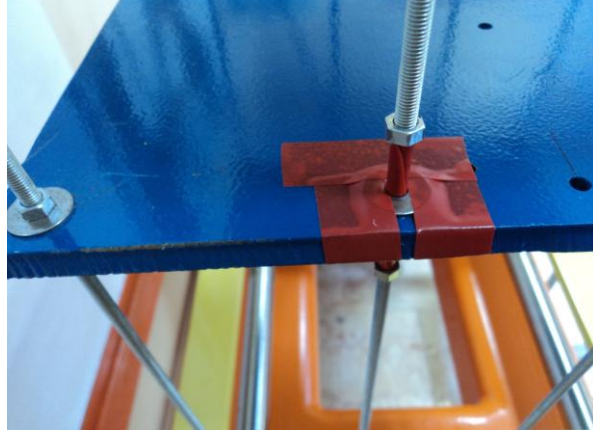
Şekil A.7. ZS3-1S3-2S3 Hasarlı kolon deneyi için oluşturulmuş hasar durumu



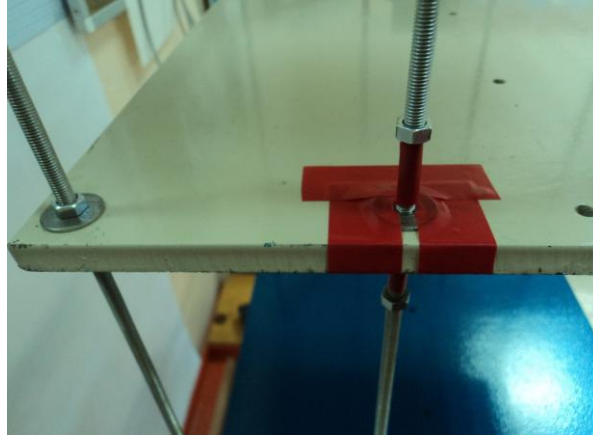
Şekil A.8 ZS3-1S3-2S3-3S3 Hasarlı kolon deneyi için oluşturulmuş hasar durumu



Şekil A.9. ZS7 Hasarlı kolon deneyi için oluşturulmuş hasar durumu



Şekil A.10 ZS7-1S7 Hasarlı kolon deneyi için oluşturulmuş hasar durumu

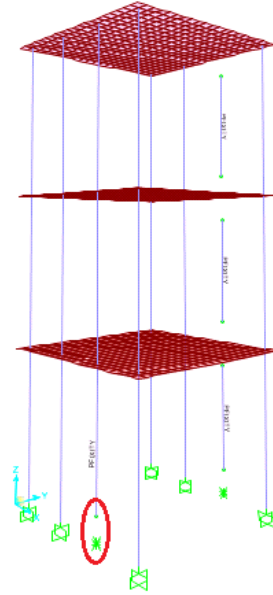


Şekil A.11. ZS7-1S7-2S7 Hasarlı kolon deneyi için oluşturulmuş hasar durumu

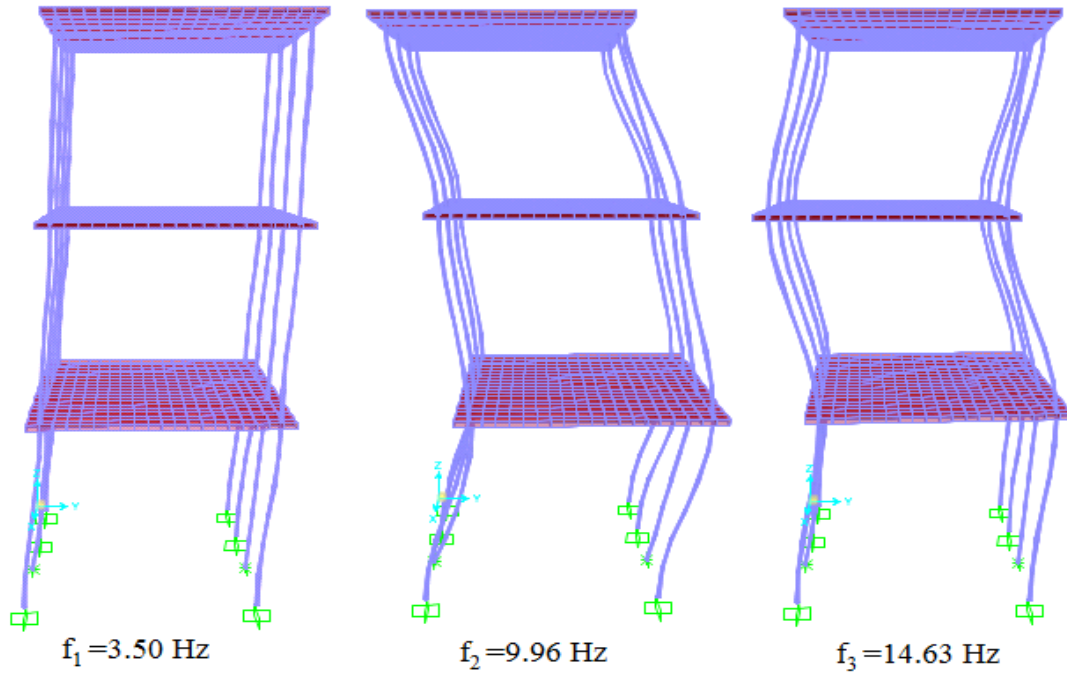


Şekil A.12. ZS7-1S7-2S7-3S7 Hasarlı kolon deneyi için oluşturulmuş hasar durumu

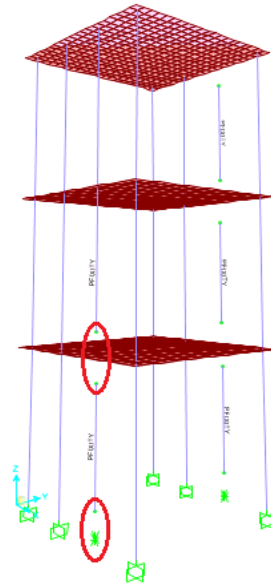
EK-B



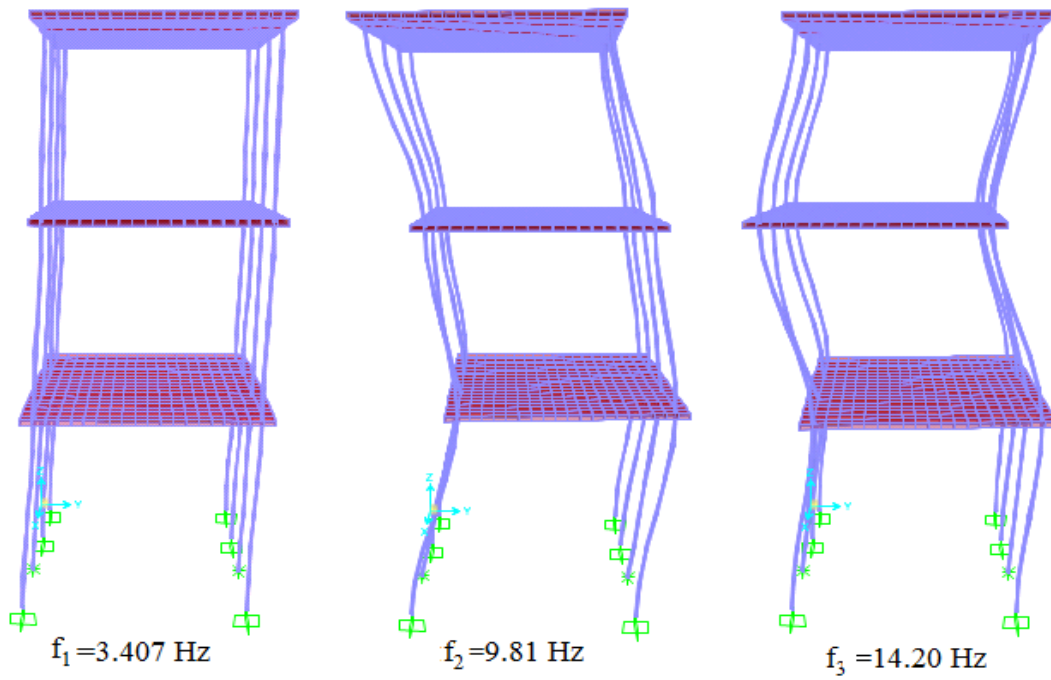
Şekil B.1. ZS6 Hasarlı yapı deneyi için sonlu eleman modeline tanımlanmış hasar durumu



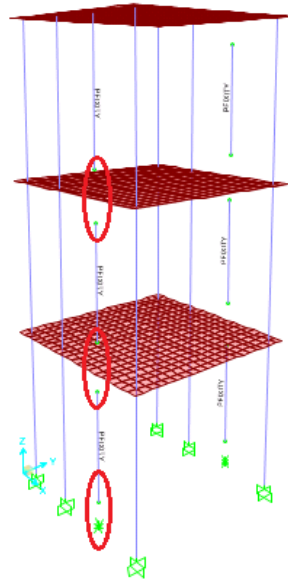
Şekil B.2. ZS6 Hasarlı yapı deney modeli için elde edilmiş mod şekilleri ve modal frekanslar



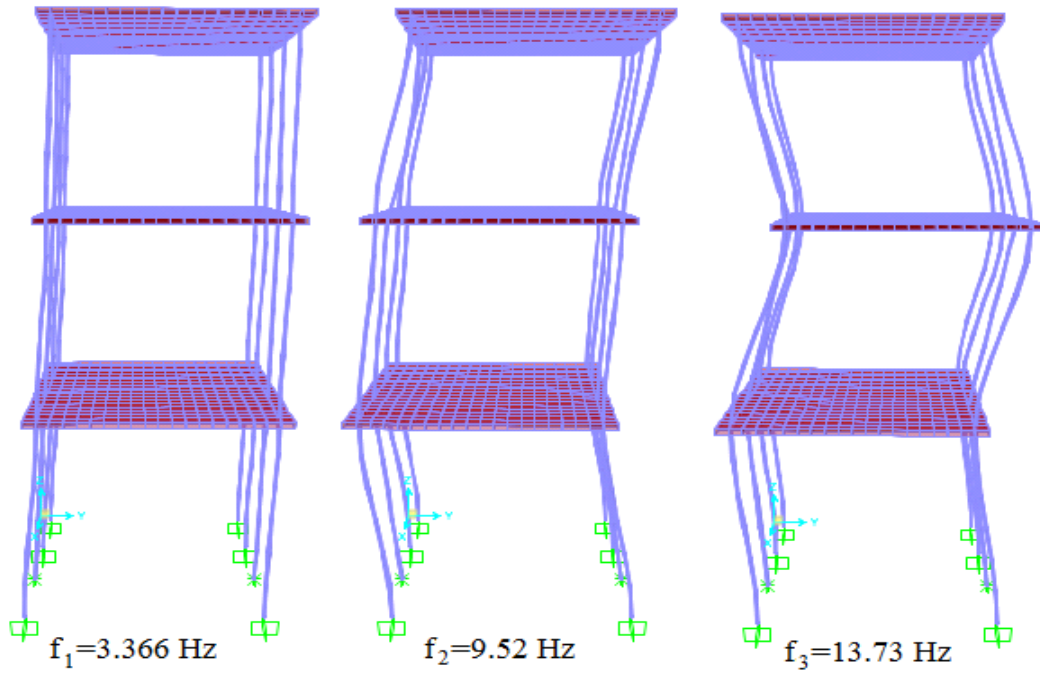
Şekil B.3. ZS6-1Z6 Hasarlı yapı deneyi için sonlu eleman modeline tanımlanmış hasar durumu



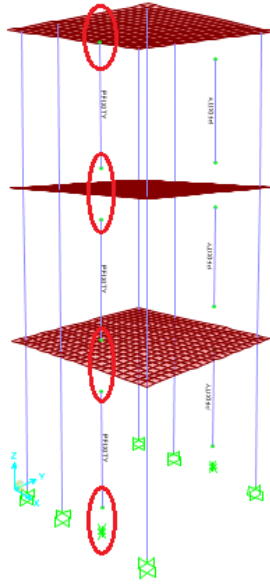
Şekil B.4. ZS6-1S6 Hasarlı yapı deney modeli için elde edilmiş mod şekilleri ve modal frekanslar



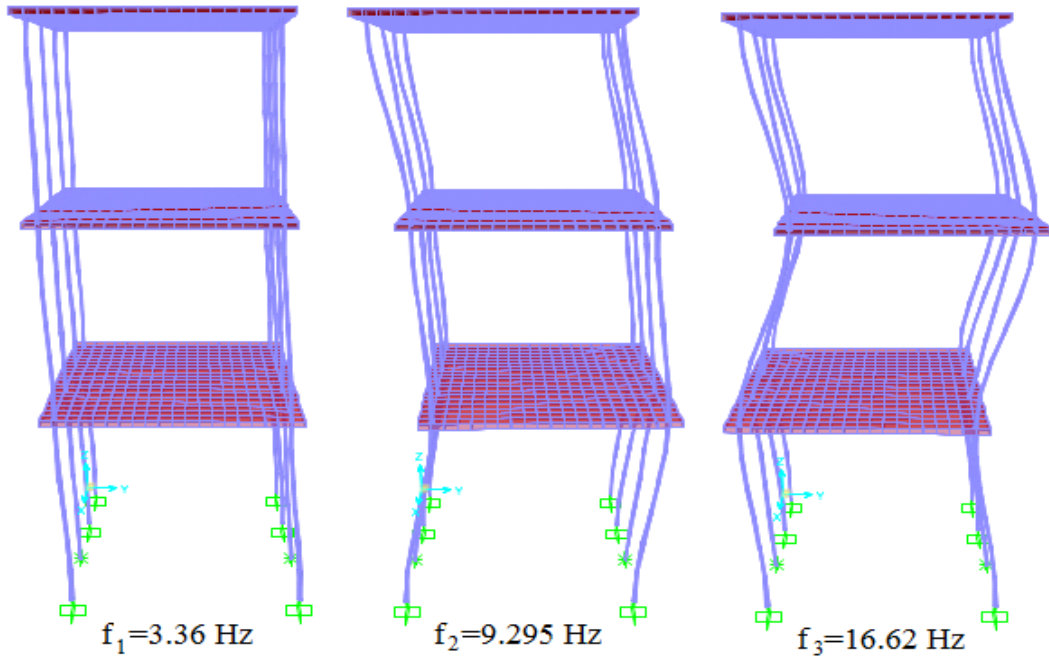
Şekil B.5 ZS6-1S6-2S6 Hasarlı yapı deneyi için sonlu eleman modeline tanımlanmış hasar durumu



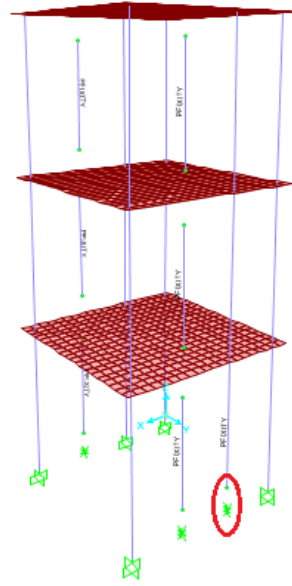
Şekil B.6. ZS6-1S6-2S6 Hasarlı yapı deney modeli için elde edilmiş mod şekilleri ve modal frekanslar



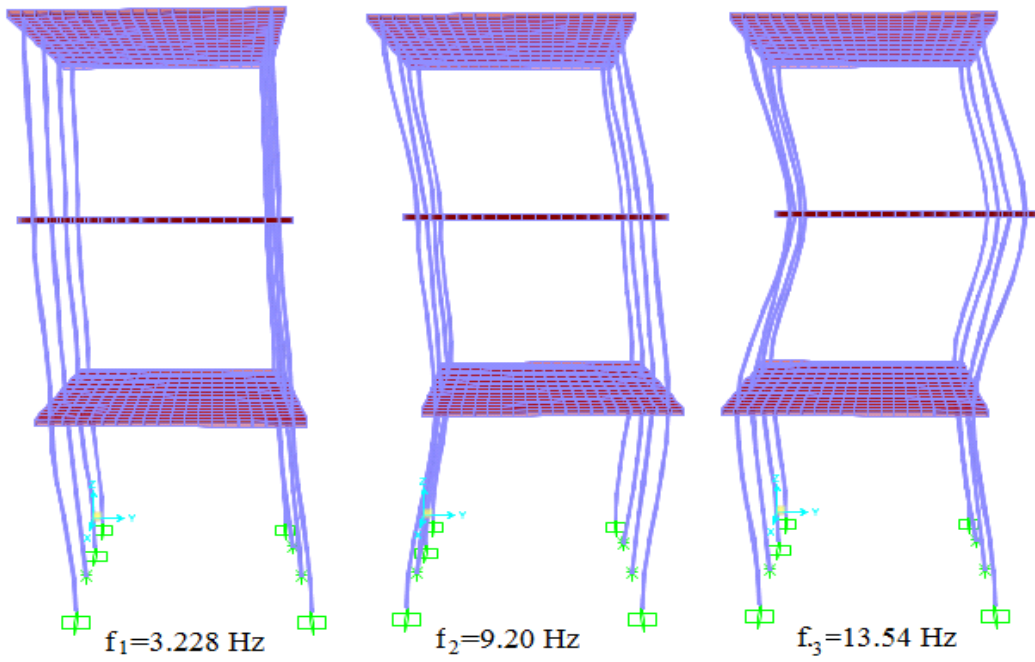
Şekil B.7. ZS6-1S6-2S6-3S6 Hasarlı deney için sonlu eleman modeline tanımlanmış hasar durumu



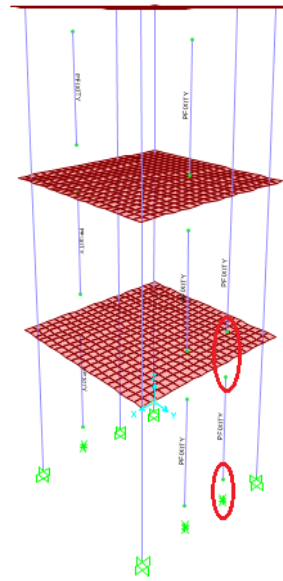
Şekil B.8. ZS6-1S6-2S6-3S6 Hasarlı deney modeli için elde edilmiş mod şekilleri ve modal frekanslar



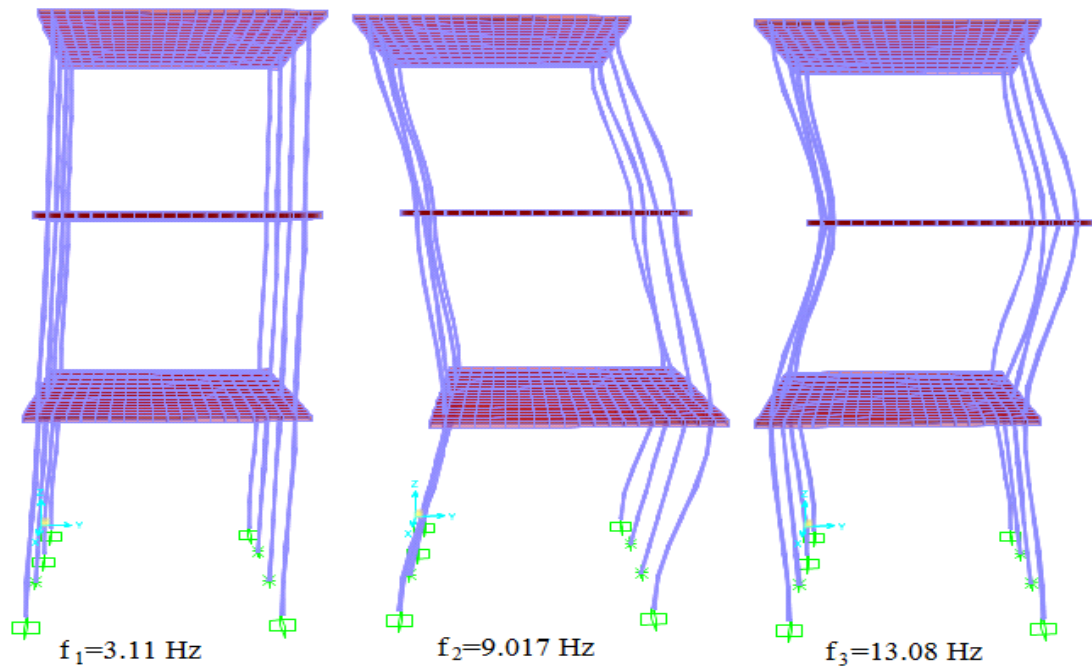
Şekil B.9. ZS3 Hasarlı deney için sonlu eleman modeline tanımlanmış hasar durumu



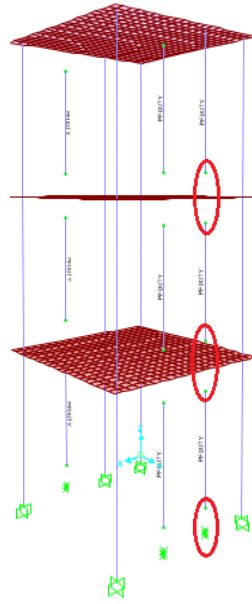
Şekil B.10. ZS3 Hasarlı yapı deney modeli için elde edilmiş mod şekilleri ve modal frekanslar



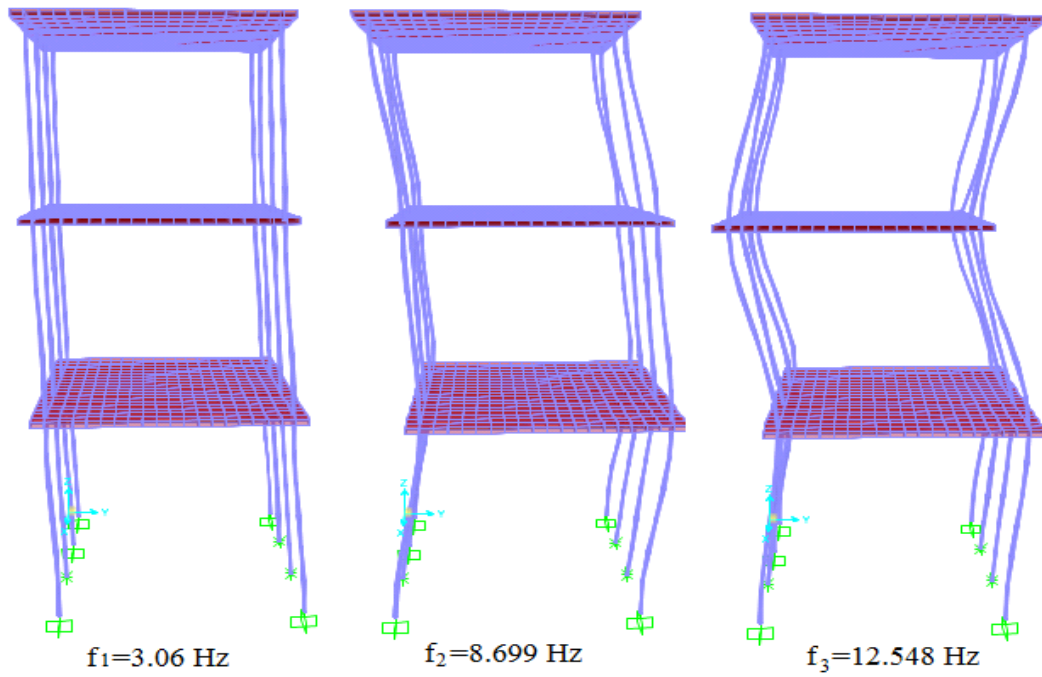
Şekil B.11. ZS3-1S3 Hasarlı deney için sonlu eleman modeline tanımlanmış hasar durumu



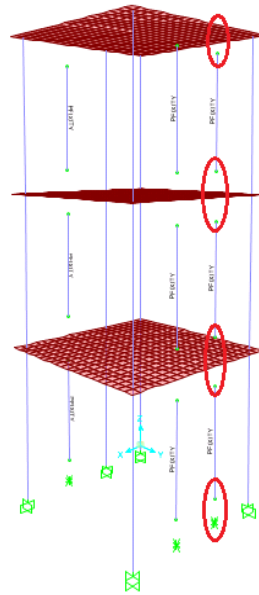
Şekil B.12. ZS3-1S3 Hasarlı yapı deney modeli için elde edilmiş mod şekilleri ve modal frekanslar



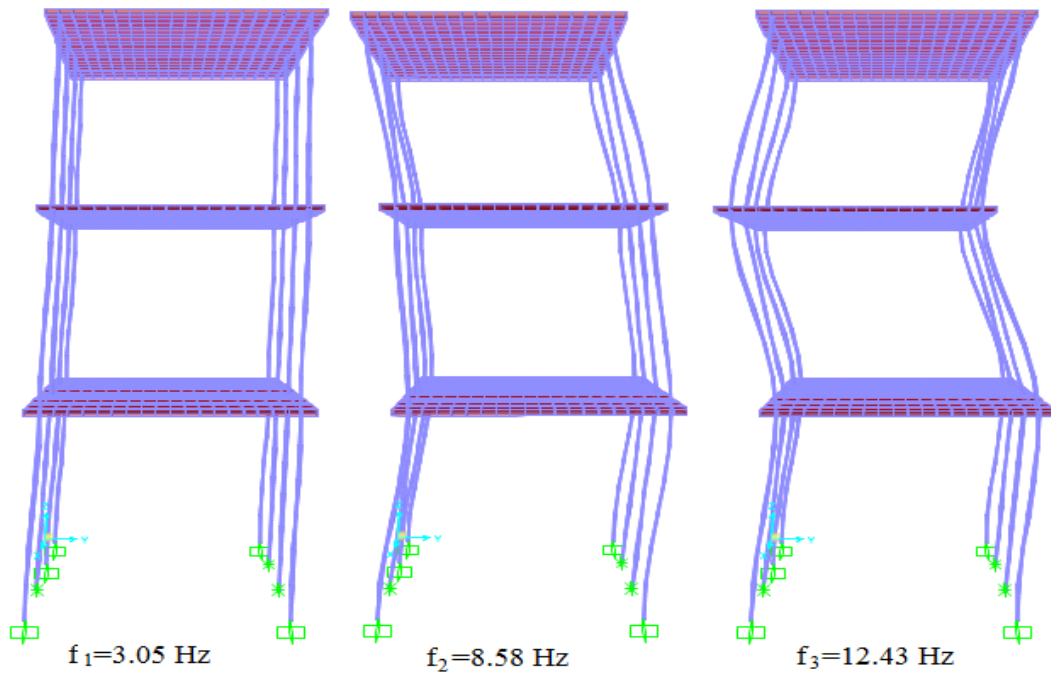
Şekil B.13. ZS3-1S3-2S3 Hasarlı deney için sonlu eleman modeline tanımlanmış hasar durumu



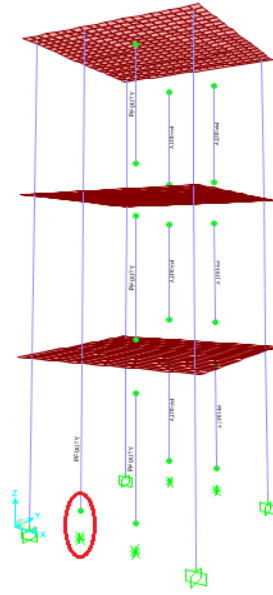
Şekil B.14. SZ3-S13-S23 Hasarlı yapı deney modeli için elde edilmiş mod şekilleri ve modal frekanslar



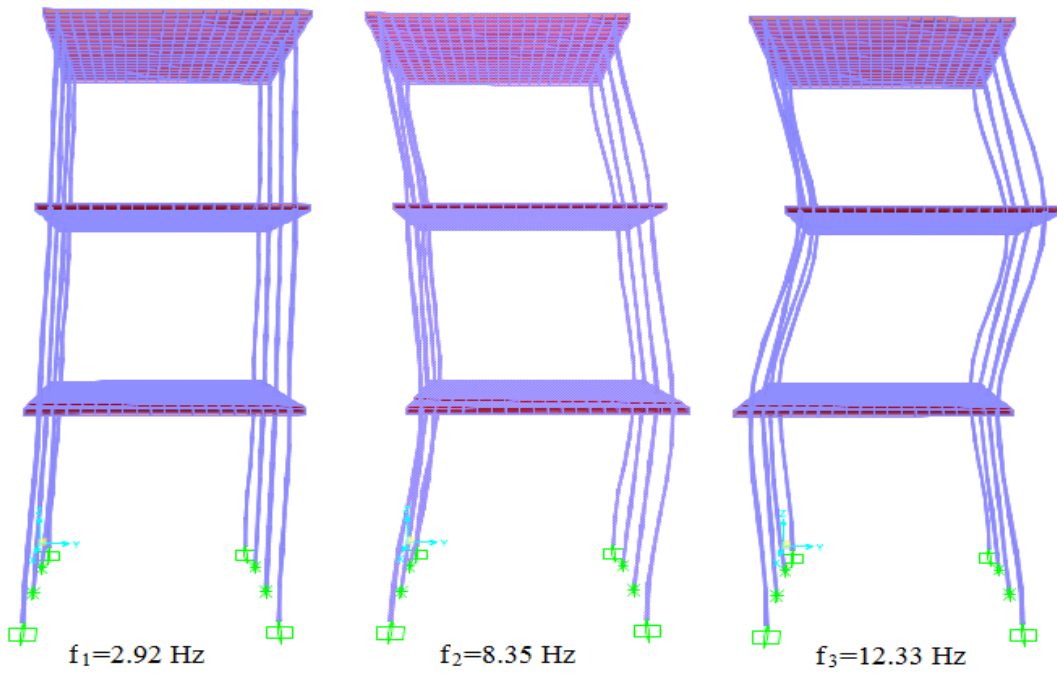
Şekil B.15. ZS3-1S3-2S3-3S3 Hasarlı deney için sonlu eleman modeline tanımlanmış hasar durumu



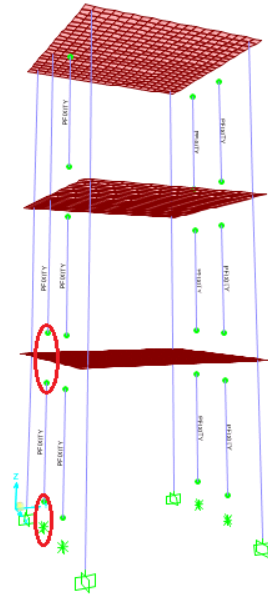
Şekil B.16. ZS3-1S3-2S3-3S3 Hasarlı deney modeli için elde edilmiş mod şekilleri ve modal frekanslar



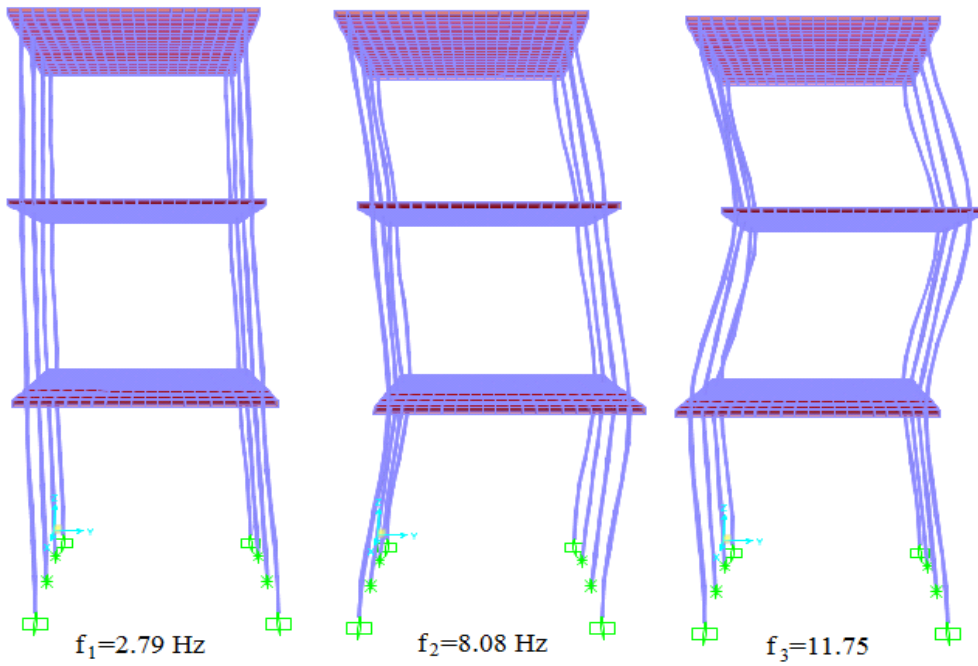
Şekil B.17. ZS7 Hasarlı deney için sonlu eleman modeline tanımlanmış hasar durumu



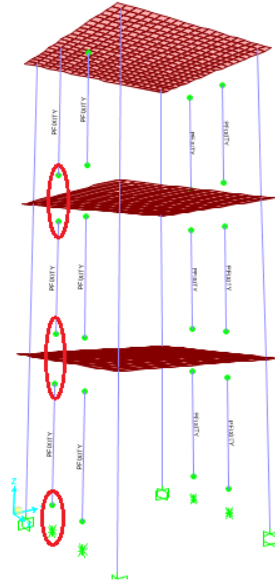
Şekil B.18. ZS7 Hasarlı yapı deney modeli için elde edilmiş mod şekilleri ve modal frekanslar



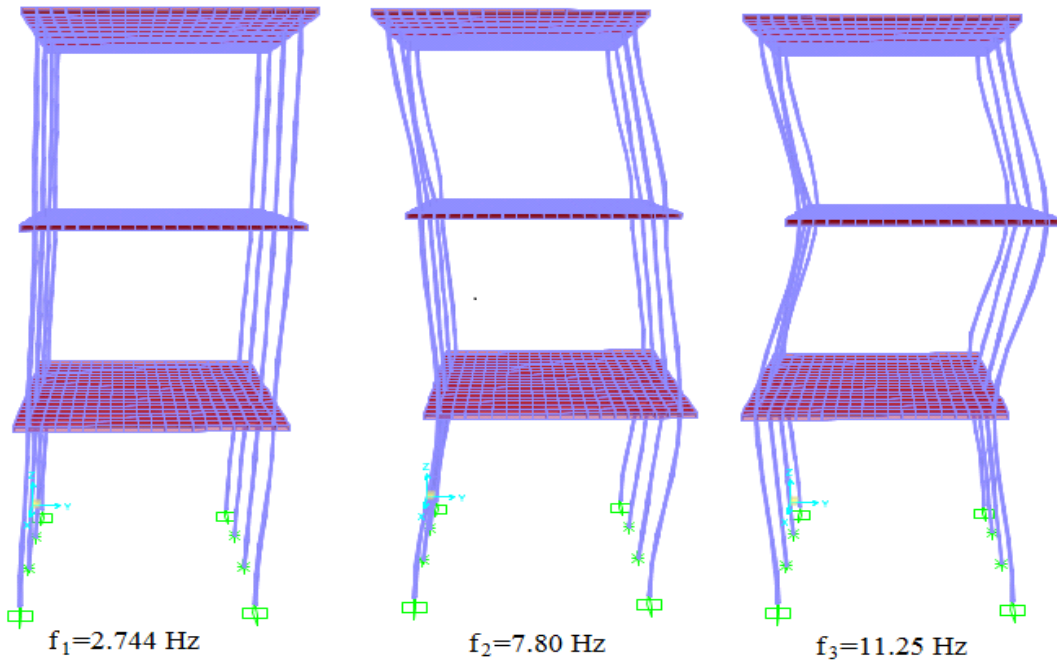
Şekil B.19. ZS7-1S7 Hasarlı deney için sonlu eleman modeline tanımlanmış hasar durumu



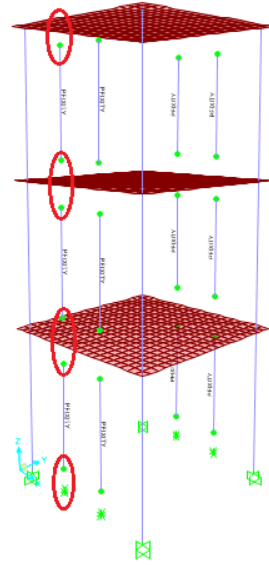
Şekil B.20. ZS7-1S7 Hasarlı yapı deney modeli için elde edilmiş mod şekilleri ve modal frekanslar



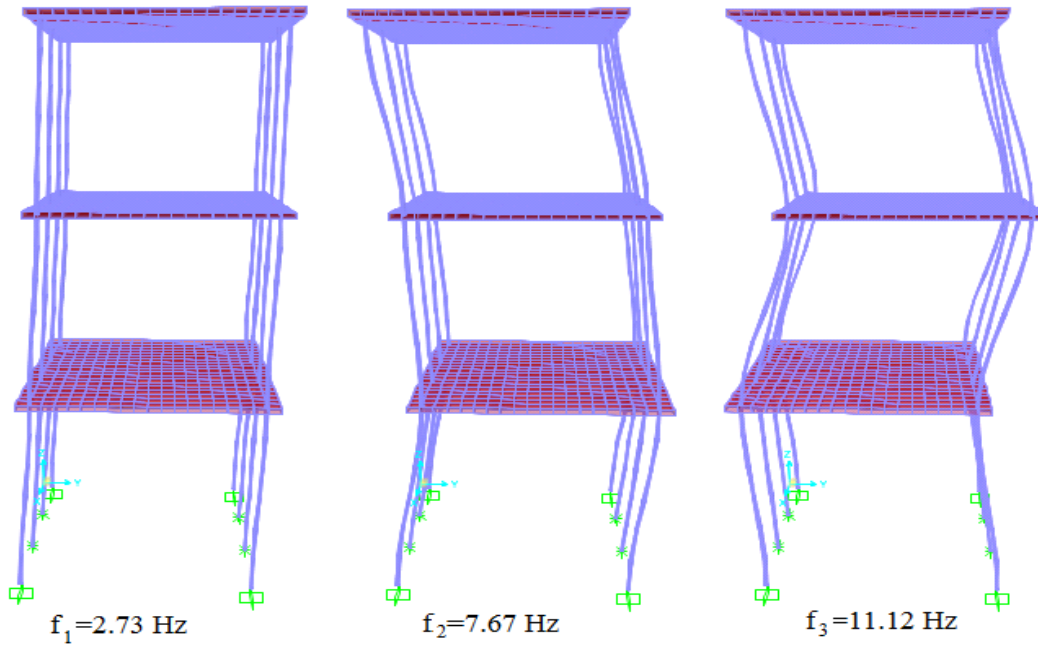
Şekil B.21. ZS7-1S7-2S7 Hasarlı deney için sonlu eleman modeline tanımlanmış hasar durumu



Şekil B.22. ZS7-1S7-2S7 Hasarlı yapı deney modeli için elde edilmiş mod şekilleri ve modal frekanslar



Şekil B.23. ZS7-1S7-2S7-3S7 Hasarlı deney için sonlu eleman modeline tanımlanmış hasar durumu



Şekil B.24. ZS7-1S7-2S7-3S7 Hasarlı deney modeli için elde edilmiş mod şekilleri ve modal frekanslar

ÖZGEÇMİŞ

Yüşa Gökhan Durgun, 14.10.1986 da İstanbul' da doğdu. İlköğretim eğitimini Kadir-Rezan Has İlköğretim Okulu, Lise Eğitimini İse Kadıköy Habire Yahşi Yabancı Dil Ağırlıklı Lisesinde tamamladı. 2005 yılında Erciyes Üniversitesi İnşaat Mühendisliğini kazanmış ve 2009 yılında mezun olmuştur. 2010-2011 eğitim-öğretim yılı güz döneminde Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Yapı Anabilim Dalında Yüksek Lisans eğitimine başlamıştır. Aynı dönem içerisinde Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başlamış ve görevini sürdürmektedir. Yüşa Gökhan Durgun evli ve bir kız çocuk babasıdır.