



**KAUÇUK İZOLATÖRLÜ BİR YAPININ SOĞUK
HAVA KOŞULLARI ETKİSİ ALTINDAKİ MODAL
DAVRANIŞININ OPERASYONEL MODAL ANALİZ
YÖNTEMİ İLE İNCELENMESİ**

Muhammet ŞAHİN

**Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Dilek OKUYUCU**

2020

Her hakkı saklıdır.



**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**KAUÇUK İZOLATÖRLÜ BİR YAPININ SOĞUK HAVA KOŞULLARI ETKİSİ
ALTINDAKİ MODAL DAVRANIŞININ OPERASYONEL MODAL ANALİZ
YÖNTEMİ İLE İNCELENMESİ**

Muhammet ŞAHİN

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Dilek OKUYUCU

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği

Erzurum

2020

Her hakkı saklıdır

T.C.
ERZURUM TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEZ ONAY FORMU

KAUÇUK İZOLATÖRLÜ BİR YAPININ SOĞUK HAVA KOŞULLARI ETKİSİ
ALTINDAKİ MODAL DAVRANIŞININ OPERASYONEL MODAL ANALİZ
YÖNTEMİ İLE İNCELENMESİ

Dr. Öğr. Üyesi Dilek OKUYUCU danışmanlığında, Muhammet ŞAHİN tarafından hazırlanan bu çalışma 20 / 04 / 2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak **Oy birliği ile** kabul edilmiştir.

Başkan	: Prof. Dr. İlker KAZAZ	İmza	:
Üye	: Doç. Dr. Ahmet BUDAK	İmza	:
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi Dilek OKUYUCU	İmza	:

Yukarıdaki sonucu onaylıyorum.

Prof. Dr. Arzu GÖRMEZ
Enstitü Müdürü

Bu tez çalışması tarafından nolu proje ile desteklenmiştir.

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Erzurum Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki tüm bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

20 / 04 / 2020

Muhammet ŞAHİN

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KAUÇUK İZOLATÖRLÜ BİR YAPININ SOĞUK HAVA KOŞULLARI ETKİSİ ALTINDAKİ MODAL DAVRANIŞININ OPERASYONEL MODAL ANALİZ YÖNTEMİ İLE İNCELENMESİ

Muhammet ŞAHİN

Erzurum Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Dilek OKUYUCU

Bu tez çalışması kapsamında kauçuk izolatörlü bir binanın soğuk hava koşulları etkisi altındaki modal davranışı operasyonel modal analiz yöntemi ile incelenmiştir. Kauçuk, soğuk hava koşullarında rijitliği artan bir malzemedir. Sismik yalıtımın temel yaklaşımı ise, yapı temel seviyesinde kullanılan izolatörlerle yapı periyodunu artırarak yapının sismik hareket süresince maruz kalabileceği ivme değerlerini düşürmektir. Kauçuk izolatör çalışma ortamı sıcaklığının düşmesi ile birlikte yapı periyodunun da düşmesi beklenen bir yapısal davranıştır. Bu bakımdan ağır kış koşullarının hüküm sürdüğü bölgelerde kauçuk izolatörlerle deprem yalıtımı yapılmış yapıların kış koşulları etkisi altındaki global davranışının incelenmesi sismik yalıtımlı yapı teknolojisi için önem arz etmektedir. Bu kapsamda, soğuk hava koşullarının yıl içerisinde uzun süre hüküm sürdüğü Erzurum ilinde toplam 386 adet kauçuk izolatör üzerinde inşa edilmiş Erzurum Bölge Eğitim ve Araştırma Hastanesi yapısı incelenmiştir. Yapısal model üzerinde teorik modal analizler yapıldıktan sonra bina üzerinde operasyonel modal analiz çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma ile yapının dinamik davranış parametrelerinin yerinde belirlenmesi mümkündür. Operasyonel modal analiz çalışması kapsamında öncelikle sensör yerleşim düzeni çalışmış, sonrasında farklı atmosferik sıcaklıklarda bina dinamik davranış parametreleri belirlenmiştir. İlaveten, izolatör katında ortam ve kauçuk izolatör sıcaklık ölçümleri alınmıştır. Bulgular, atmosferik sıcaklıkta 10 °C düşüş olması durumunda izolatör rijitliğinde yaklaşık %32.8 artış ile birlikte yapı birinci periyodunda %13 azalma olabileceğini göstermiştir.

2020, 113 sayfa

Anahtar Kelimeler: Sismik yalıtım, kauçuk izolatör, soğuk hava, operasyonel modal analiz, modal davranış

ABSTRACT

MS. Thesis

MODAL BEHAVIOUR EVALUATION OF A RUBBER BEARING ISOLATED STRUCTURE UNDER THE EFFECTS OF COLD WEATHER BY OPERATIONAL MODAL ANALYSIS

Muhammet ŞAHİN

Erzurum Technical University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Dilek OKUYUCU

Within the scope of this thesis, the modal behavior of a building with a rubber isolator under the influence of cold weather conditions was studied by the operational modal analysis method. Rubber is a material rigidity of which increases in cold weather conditions. The basic approach of seismic isolation is to increase the building period with the isolators used at the foundation level of the building and to decrease the acceleration values that the structure may be exposed to during the seismic activity. The decrease in the period of the building with the decrease in working environment temperature of the rubber isolator is an expected structural behaviour. In this regard, the study of the global behavior of seismic isolated buildings with rubber isolators in areas under severe winter conditions is important for seismic isolated building technology. In this context, the structure of Erzurum Regional Training and Research Hospital, built on 386 rubber isolators in Erzurum province, where cold weather conditions prevail for a long time, was studied. After the theoretical modal analysis was done on the structural model, operational modal analysis studies were carried out on the building. By application of this method, it is possible to determine the dynamic behavior parameters of the building on site. Within the scope of the operational modal analysis study, the sensor layout first worked, and then the building dynamic behavior parameters at different atmospheric temperatures were determined. In addition, ambient and rubber isolator temperature measurements were taken on the isolator floor. Findings showed that; in case of 10 °C drop in atmospheric temperature, there may be a 13% decrease in the first period of the structure with an increase of approximately 32.8% in the isolator stiffness.

2020, 113 page

Keywords: Seismic isolation, rubber bearing, cold weather, operational modal analysis, modal behaviour

TEŞEKKÜR

Tez çalıőmam sűresince her daim fikir ve yűnlendirmelerini esirgemeyen; alāka, titizlik ve anlayıőı ile daima desteęini hissettięim kıymetli danıőmanım sayın Dr. Őęr. Őyesi Dilek OKUYUCU' ya teőekkűr ederim.

Bu tez çalıőması sűresince yanımda bulunarak deneysel çalıőmalarıma katkılarından dolayı sevgili meslektaőlarım Burak GEDİK, Burak ŐAHİN, Gűke Kaan SAVAŐ, Ahmet Yasir KANBUR ve Arő. Gűr. İsmail Hakkı TARHAN' a teőekkűr ederim. Ayrıca muhabbetini ve dostluęunu esirgemeyen manevi kardeőim Yunus KARABABA' ya teőekkűr ederim.

Bu yaőıma kadar benden maddi, manevi destekleriyle dualarını eksik etmeyen babam Prof. Dr Sırrı ŐAHİN' e, kıymetli annem Sevilay ŐAHİN' e, ablam Dr. Hűlya ŐAHİN ŐİMŐEK' e ve değerli meslektaőım kız kardeőim Zeynep ŐAHİN' e műteőekkirim.

Tűm zorlu sűrelerde olduęu gibi bu tezi oluőturmamda sabırla bana katlanarak hep yanımda olan desteęini her daim hissettięim sevgili eőim, kadim yoldaőım Seda ŐAHİN' e minnettaram.

Muhammet ŞAHİN
Nisan / 2020

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	4
3. MATERYAL ve YÖNTEM	12
3.1. Erzurum Bölge Eğitim ve Araştırma Hastanesi	12
3.2. Deprem İzolatör Sistemleri	15
3.2.1. Kauçuk Esaslı İzolatörler	16
3.2.1.1. Kurşun Çekirdekli Kauçuk izolatörler (LRB).....	16
3.2.1.2. Düşük Sönümlü Kauçuk İzolatörler.....	17
3.2.1.3. Yüksek Sönümlü Kauçuk İzolatörler	18
3.2.2. Sürtünme Esaslı İzolatörler	18
3.2.3. Yay Tipi İzolatörler.....	19
3.3. Deneysel Modal Analiz.....	20
3.3.1 Operasyonel Modal Analiz	20
3.3.1.1. Operasyonel Modal Analiz Saha Uygulaması	23
3.3.1.1.1. Ölçüm-1	26
3.3.1.1.2. Ölçüm-2	28
3.3.1.1.3. Ölçüm-3	31
3.3.1.1.4. Ölçüm-4	32
3.3.1.2. ARTeMIS Modal Pro Yazılımı Kullanılarak Titreşim Kaydı İşleme ve Analiz Çalışmaları	34
3.3.1.2.1. Model Geometrisinin Oluşturulması.....	34
3.3.1.2.2. İvme Kayıtlarının Yazılıma Tanıtılması	35
3.3.1.2.3. İvme Kayıtlarının Modele Uygulanması ve Analize Hazır Hale Getirilmesi .	35
3.3.1.2.4. Analiz Neticesinde Mod Şekilleri ve Modal Frekansların Elde Edilmesi	36
3.4. SAP2000 Programında Yapının Sonlu Elemanlar Modelinin Oluşturulması.....	37
3.5. Sismik İzolatör Katı Sıcaklık Ölçüm Çalışmaları	39
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	42
4.1. Yapısal Modelleme ve Teorik Modal Analiz Sonuçları	42

4.1.1. Ankastre Mesnetli Yapı Modeli	42
4.1.2. Sismik İzolatörlü Yapı Modeli.....	44
4.1.3. İzolatör Katı Sıcaklık Ölçüm Sonuçları	45
4.2. Operasyonel Modal Analiz Sonuçları	54
4.2.1. Ölçüm-1	54
4.2.1.1. Mod Şekilleri ve Modal Frekanslar.....	55
4.2.1.2. Mod Şekillerine İlişkin Tutarlılık Kontrolleri.....	56
4.2.2. Ölçüm-2	58
4.2.2.1. Mod Şekilleri ve Modal Frekanslar.....	59
4.2.2.2. Mod Şekillerine İlişkin Tutarlılık Kontrolleri.....	60
4.2.3. Ölçüm-3	61
4.2.3.1. Mod Şekilleri ve Modal Frekanslar.....	62
4.2.3.2. Mod Şekillerine İlişkin Tutarlılık Kontrolleri.....	63
4.2.4. Ölçüm-4	64
4.2.4.1. Mod Şekilleri ve Modal Frekanslar.....	65
4.2.4.2. Mod Şekillerine İlişkin Tutarlılık Kontrolleri.....	66
4.3. Teorik ve Deneysel Modal Analiz Sonuçlarının İrdelenmesi	68
4.4. OMA Sonuçlarının İlgili Literatür ile Değerlendirilmesi	71
4.5. Yapısal Modelin Ölçüm-3 OMA Sonuçları Doğrultusunda Kalibrasyonu ve Sıcaklıkla İzolatör Rijitlik Değişiminin İrdelenmesi	80
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	84
KAYNAKLAR	87
EKLER.....	92
EK-1.....	92
EK-2.....	93
EK-3.....	95
ÖZGEÇMİŞ.....	97

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
°C	Santigrad derece
K_v	Düşey rijitlik
K_{eff}	Yatay lineer etkili rijitlik
K_{ds1}	Yatay nonlinear etkili rijitlik
F_{ys1}	Akma dayanımı
K_1	Başlangıç rijitliği
K_2	İkincil rijitlik
g	Yerçekimi ivmesi
kN	KiloNewton
N	Newton
G	Ölü yük
Q	Hareketli yük
W	Yapı ağırlığı
m	Metre
T	Periyot
f	Frekans
Hz	Hertz
dk	Dakika
m	Kütle
sn	Saniye

Kısaltmalar

BEAH	Bölge eğitim ve araştırma hastanesi
EBEAH	Erzurum bölge eğitim ve araştırma hastanesi
LRB	Lead rubber bearing
NRB	Natural rubber bearing
MCE	Maximum considered earthquake
DBE	Desing basis earthquake
OMA	Operational modal analysis
IBC	International building code
FDD	Frequency domain decomposition
EFDD	Enhanced frequency domain decomposition
MAC	Modal assurance criterion

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1 Erzurum Bölge Eğitim ve Araştırma Hastanesi.....	12
Şekil 3.2 Erzurum hastanesinin Erzurum Fayına göre konumu (Erdik, 2007)	13
Şekil 3.3 Üretilen izolatlara yapılan test sonucu LRB900 tipi izolatora ait histeresiz eğrisi	14
Şekil 3.4 EBEAH' a ait MCE ve DBE spektral ivme-periyot grafiği.....	15
Şekil 3.5 Şematik olarak kurşun çekirdekli kauçuk izolator içyapısı	17
Şekil 3.6 (a) Kauçuk, (b) Kurşun ve (c) Kauçuk + Kurşun mekanik davranışı	17
Şekil 3.7 Şematik olarak kurşun çekirdeksiz (düşük sönümlü) kauçuk izolator içyapısı	18
Şekil 3.8 (a) ve (b) Sürtünme esaslı izolator	19
Şekil 3.9 Yay tipi izolator	19
Şekil 3.10 Ultra hassas ivmeölçer cihazları ve ekipmanları	21
Şekil 3.11 Yön kabulü krokisi.....	23
Şekil 3.12 İvmeölçer sensörün alçıyla zemine sabitlenmesi uygulaması	25
Şekil 3.13 İvmeölçer sensörden veri kaydı depolama işlemi.....	26
Şekil 3.14 EBEAH Ölçüm-1 sensör yerleşim krokisi.....	27
Şekil 3.15 EBEAH maketi üzerinde Ölçüm-1 sensör yerleşim krokisi	27
Şekil 3.16 EBEAH Ölçüm-2 sensör yerleşim krokisi.....	29
Şekil 3.17 EBEAH maketi üzerinde Ölçüm-2 sensör yerleşim krokisi	29
Şekil 3.18 İvmeölçerlerin teras kuleleri üzerinde konumlandırılması	30
Şekil 3.19 EBEAH Ölçüm-3 sensör yerleşim krokisi	32
Şekil 3.20 Hacimsel model üzerinde Ölçüm-3 sensör yerleşim krokisi	32
Şekil 3.21 EBEAH Ölçüm-4 sensör yerleşim krokisi.....	33
Şekil 3.22 Hacimsel model üzerinde Ölçüm-4 sensör yerleşim krokisi	33
Şekil 3.23 Artemis Modal Pro yazılımında analize esas modelin oluşturulması.....	34
Şekil 3.24 Veri kayıt dosyalarının işlenmesi çalışmasına ilişkin bir görüntü.....	35

Şekil 3.25 Veri kayıt dosyalarının modele uygulanması çalışmasına ilişkin bir görüntü	36
Şekil 3.26 Deneysel modal davranış parametrelerinin elde edilmesine ilişkin bir görüntü	36
Şekil 3.27 Erzurum Bölge Eğitim ve Araştırma Hastanesi statik projesi	37
Şekil 3.28 Histerisiz eğrisi	38
Şekil 3.29 İzolatör katı su boruları	40
Şekil 3.30 Sıcaklık ölçümü yapılabilen izolatör bölgesi	41
Şekil 4.1 Ankastre mesnetli model 1.Mod görseli	42
Şekil 4.2 EBEAH kauçuk izolatörlü model 1.Mod görseli	44
Şekil 4.3 EBEAH yapısı çevresinde müsaade edilen deplasman boşluğu	46
Şekil 4.4 (a) Sargısız izolatör, (b) Sargılı izolatör	46
Şekil 4.5 (a),(b),(c),(d),(e) Aralık ayı sıcaklık ölçüm kayıtları.	48
Şekil 4.6 Aralık ayı izolatör katı sıcaklık dağılım haritası	49
Şekil 4.7 (a),(b),(c),(d),(e) Ocak ayı sıcaklık ölçüm kayıtları.	51
Şekil 4.8 Ocak ayı izolatör katı sıcaklık dağılım haritası	51
Şekil 4.9 Ölçüm-1 için spektral yoğunluk fonksiyonları ve FDD analiz çalışmasına ilişkin görüntü	54
Şekil 4.10 Ölçüm -1 için spektral yoğunluk fonksiyonları ve EFDD analiz çalışmasına ilişkin görüntü	55
Şekil 4.11 (a) FDD MAC değerlerine ilişkin grafik, (b) EFDD MAC değerlerine ilişkin grafik: Ölçüm-1	57
Şekil 4.12 Ölçüm-2 için spektral yoğunluk fonksiyonları ve FDD analiz çalışmasına ilişkin görüntü	58
Şekil 4.13 Ölçüm-2 için spektral yoğunluk fonksiyonları ve EFDD analiz çalışmasına ilişkin görüntü	58
Şekil 4.14 (a) FDD MAC değerlerine ilişkin grafik, (b) EFDD MAC değerlerine ilişkin grafik: Ölçüm-2	60

Şekil 4.15 Ölçüm-3 için spektral yoğunluk fonksiyonları ve FDD analiz çalışmasına ilişkin görüntü	61
Şekil 4.16 Ölçüm-3 için spektral yoğunluk fonksiyonları ve EFDD analiz çalışmasına ilişkin görüntü	61
Şekil 4.17 (a) FDD MAC değerlerine ilişkin grafik, (b) EFDD MAC değerlerine ilişkin grafik: Ölçüm-3	63
Şekil 4.18 Ölçüm-4 için spektral yoğunluk fonksiyonları ve FDD analiz çalışmasına ilişkin görüntü	64
Şekil 4.19 Ölçüm-4 için spektral yoğunluk fonksiyonları ve EFDD analiz çalışmasına ilişkin görüntü	65
Şekil 4.20 (a) FDD MAC değerlerine ilişkin Grafik, (b) EFDD MAC değerlerine ilişkin grafik: Ölçüm-4	67
Şekil 4.21 EBEAH yapısı sahaya özel DBE tasarım spektrumu (Erdik ve Mowrtage, 2005).....	70
Şekil 4.22 DBE Spektrumu üzerinde modal analiz sonuçları	70
Şekil 4.23 LRB izolatörler üzerinde sıcaklık etkisi (Gan, 2016)	74
Şekil 4.24 LRB-S-350 türü izolatörün Kobe Depremi' nin 20 saniyelik kaydı altındaki termal analiz sonuçları	79

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 EBEAH yük parametreleri.....	14
Çizelge 3.2 Erzincan depremine ait spektral ivme değerleri (Erdik ve Mowrtage, 2005)	15
Çizelge 3.3 Ultra hassas ivmeölçer cihazların teknik özellikleri (Anonim, 2019)	22
Çizelge 3.4 EBEAH'ta kullanılan izolatörlerin karakteristik özellikleri	38
Çizelge 4.1 Ankastre mesnetli model teorik modal analiz sonuçları.....	43
Çizelge 4.2 EBEAH kauçuk izolatörlü model sonuçları.....	45
Çizelge 4.3 Erzurum İli 2012-2018 Yılları Arasında Aylık Ortalama Sıcaklık (°C) Değerleri (MGM, 2019).....	52
Çizelge 4.4 Erzurum İli 2012-2018 Yılları Arasında En Düşük Sıcaklık (°C) Değerleri (MGM, 2019).....	52
Çizelge 4.5 Ağırlıkça rijitlikle elde edilen periyot değerleri ve deneysel periyot ile karşılaştırması	53
Çizelge 4.6 EBEAH binasının operasyonel modal analiz sonuçları: Ölçüm-1.....	56
Çizelge 4.7 Frekans Alanında Çözümleme (FDD) sonucunda elde edilen mod şekillerine ilişkin Modal Güvence Kriteri (MAC) değerleri: Ölçüm-1	57
Çizelge 4.8 Geliştirilmiş Frekans Alanında Çözümleme (EFDD) sonucunda elde edilen mod şekillerine ilişkin Modal Güvence Kriteri (MAC) değerleri: Ölçüm-1	57
Çizelge 4.9 EBEAH binasının operasyonel modal analiz sonuçları: Ölçüm-2.....	59
Çizelge 4.10 Frekans Alanında Çözümleme (FDD) sonucunda elde edilen mod şekillerine ilişkin Modal Güvence Kriteri (MAC) değerleri: Ölçüm-2	60
Çizelge 4.11 Geliştirilmiş Frekans Alanında Çözümleme (EFDD) sonucunda elde edilen mod şekillerine ilişkin Modal Güvence Kriteri (MAC) değerleri: Ölçüm-2	60
Çizelge 4.12 EBEAH binasının operasyonel modal analiz sonuçları: Ölçüm-3.....	62
Çizelge 4.13 Frekans Alanında Çözümleme (FDD) sonucunda elde edilen mod şekillerine ilişkin Modal Güvence Kriteri (MAC) değerleri: Ölçüm-3	63

Çizelge 4.14 Geliştirilmiş Frekans Alanında Çözümleme (EFDD) sonucunda elde edilen mod şekillerine ilişkin Modal Güvençe Kriteri (MAC) değerleri: Ölçüm-3	63
Çizelge 4.15 EBEAH binasının operasyonel modal analiz sonuçları: Ölçüm-4.....	66
Çizelge 4.16 Frekans Alanında Çözümleme (FDD) sonucunda elde edilen mod şekillerine ilişkin Modal Güvençe Kriteri (MAC) değerleri: Ölçüm-4	67
Çizelge 4.17 Geliştirilmiş Frekans Alanında Çözümleme (EFDD) sonucunda elde edilen mod şekillerine ilişkin Modal Güvençe Kriteri (MAC) değerleri: Ölçüm-4	67
Çizelge 4.18. Yapılan araştırma sonucu elde edilen Teorik ve Deneysel Modal Analiz sonuçları.....	68
Çizelge 4.19 EBEAH yapısı teorik modal analiz ve operasyonel modal analiz sonuçları	68
Çizelge 4.20 Gan (2016) Çalışması uyarınca hesaplanan izolatör parametreleri kullanılarak yapılan Teorik Modal Analiz sonuçları ile OMA değerlerinin karşılaştırılması.....	76
Çizelge 4.21 Gordone ve Gasualdi (2012) Çalışması uyarınca belirlenen kauçuk malzeme mekanik özellikleri için hesaplanan izolatör parametreleri kullanılarak yapılan Teorik Modal Analiz sonuçları ile OMA değerlerinin karşılaştırılması.....	78
Çizelge 4.22 Kauçuk izolatörler için ortalama rijitlik değerleri	82
Çizelge 4.23 Sonlu eleman modelinin Ölçüm-3 sonuçları için kalibrasyonuna ilişkin değerler tablosu.....	83

1. GİRİŞ

Depreme dayanıklı tasarımda günümüz mühendislerinin tercih edebileceği iki temel yaklaşım bulunmaktadır. Bu yaklaşımlardan ilki yapısal elemanların depreme dayanıklı, deprem etkilerini karşılayabilecek rijitlik ve dayanıma sahip olacak şekilde tasarlanması; ikincisi ise deprem esnasında yapı elemanlarına gelecek iç kuvvetleri azaltarak yapı davranışını kontrol altına almasını sağlayan yapısal kontrol sistemi uygulamalarının tercih edilmesidir. Bu husus dikkate alındığında; Erzurum Bölge Eğitim ve Araştırma Hastanesi yapısına özel bir parantez açmak gerektiği düşünülmektedir.

Erzurum Bölge Eğitim ve Araştırma Hastanesi, *tez kapsamında ele alınan yapı*, ilk etapta depreme dayanıklı yapısal eleman tasarımı ilkeleri uyarınca projelendirilmiştir. Bununla birlikte, uygulamadan kısa süre önce alınan bir karar neticesinde yapının temel bağlantısında sismik izolasyon yapılması kararlaştırılmıştır. Üst yapı ilk etaptaki projeye uygun olarak yapının temele rijit bağlantı yapılacağı ön görülerek projelendirilmiş; ancak sonradan alınan karar neticesinde sismik izolatör uygulaması gerçekleştirilmiştir. Sismik izolasyon uygulaması ile yapının periyodu artırılmakta ve yapının deprem etkisi altında rijit kütle hareketi yapması öngörüldüğü için yapısal elemanlara gelen iç kuvvetler azaltılmaktadır. Dolayısıyla bu kütle hareketi ile deprem enerjisinin yapıya aktarılmadan izolatörler tarafından sönmüneceği varsayılmaktadır.

Erzurum Bölge Eğitim ve Araştırma Hastanesi yapısı temel uygulamasında; farklı eksenel yük seviyeleri için tasarlanmış 5 farklı çapta kurşun çekirdekli kauçuk izolatörden toplam 386 adet yerleştirilmiştir. Yapı, Erzurum Fayı'na 4 km uzaklıkta bulunmaktadır. Yapıda kullanılan izolatörler +10°C ortalama sıcaklıkta çalışacak şekilde tasarlanmıştır (Erdik ve Mowrtage, 2005).

Kauçuk malzeme mekanik özelliklerinin soğuk hava koşullarında değiştiği ve malzemenin daha rijit davrandığı bilinmektedir (Pınarbaşı ve Akyüz, 2005). Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerin buldukları ortam sıcaklığının (bilhassa kauçuk malzemesinin sıcaklık etkisi altında davranışında önemli değişimler olması nedeniyle)

1. GİRİŞ

izolatörlü sistemin yapısal performansını etkileyeceği düşünülmektedir. Bu konuya ilişkin referans çalışmalara sonraki bölümde erişim sağlanması mümkündür.

Erzurum Bölge Eğitim ve Araştırma Hastanesi yapısı, *erişilebilen teknik bilgi itibariyle*, 386 adet kauçuk izolatör üzerinde inşa edilmiş dünyanın en büyük tek parça yapılarından birisidir. Erzurum ilindeki gece – gündüz ve mevsimler arası ortalama sıcaklık farklarının oldukça yüksek olduğu düşünüldüğünde izolatörlerin bulunduğu kattaki sıcaklık koşullarının tasarımıdaki çalışma sıcaklığına uygunluğunun önem arz ettiği kendiliğinden ortaya çıkmaktadır.

Erzurum sadece tehlikeli deprem kuşaklarına yakın olması itibariyle sismik davranış açısından değil aynı zamanda ısı etkilerinin izolatörlerde kullanılan kauçuğun davranışını da önemli oranlarda etkileyebileceği iklimsel olarak da tehlikeli bir bölgededir. Erzurum Bölge Eğitim ve Araştırma Hastanesi'nde sismik izolatör davranışlarının izolatör katındaki atmosferik koşulların değişimine bağlı olarak izlenmesinin yapı sağlığı tayini açısından önemli bir çalışma olduğu düşünülmektedir. Bu amaçla, yapıdan sorumlu kamu birimleri ile görüşmeler yapılarak, tez çalışmasına konu olan uygulama için yasal izinler alınmış ve deney merkezli araştırmalar yapılmıştır.

Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerin atmosferik şartların değişiminden hangi ölçüde etkilendiklerinin belirlenmesi bu çalışmanın temel amaçlarından birisidir. Erişim sağlanabilen literatürde, genel olarak kauçuk izolatörlerin tekil olarak soğuk hava koşullarından etkilenme düzeylerine ilişkin araştırmalara erişim sağlamak mümkündür. Ancak, yapısal davranışın bütün olarak incelendiği bir çalışmaya erişim sağlanamamıştır. Tez çalışması öncesinde, yapının izolatör katında gerçekleştirilen çok sayıda gözlem çalışmasında izolatör katının atmosferik değişimlere çok açık olduğu görülmüştür. Yapı kenarlarına yakın olan izolatörlerin dış ortam atmosferik koşullarını birebir benimseyecekleri düşüncesi oluşmuştur. Bununla birlikte, alınan pilot sıcaklık ölçümleri doğrultusunda kenarlardan orta alana doğru gidildikçe sıcaklığın bariz olarak değiştiği gözlenmiştir.

1. GİRİŞ

Yukarıda sıralanan hususlar dikkate alınarak, Erzurum Bölge Eğitim ve Araştırma Hastanesi yapısı üzerinde soğuk hava koşullarının yapısal davranış üzerindeki etkilerinin araştırılması için bir proje kurgulanmış ve çalışmalara yasal izinlerin alınması ile başlanmıştır. Mod şekli ve periyot gibi dinamik davranış karakteristiklerinin, yapısal davranışın incelemesi amacıyla kullanılabilir önemli kimlik parametreler olduğu bilinmektedir. Bu yaklaşımdan hareketle, sismik yalıtımlı Erzurum Bölge Eğitim ve Araştırma Hastanesi üzerinde farklı atmosferik hava koşullarında operasyonel modal analiz (OMA) çalışması yapılarak mod şekli ve periyotların yerinde elde edilmesi ve karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi yöntemi benimsenmiştir.

Çalışmanın birinci aşamasında yapı hakkında teknik bilgi toplanmış, yerinde inceleme çalışmaları yapılmıştır. Statik ve mimari proje dokümanı esas alınarak sonlu eleman modeli oluşturulmuş, teorik modal analiz çalışması yapılmış ve çalışmadan elde edilen sonuçlar proje raporuyla karşılaştırılmıştır. Teorik mod şekilleri ve yapının fiziksel durumu ele alınarak OMA çalışmasına esas yapısal titreşim kayıtları alınması aşamasına geçilmiştir. Bu aşamada 3 ayrı ölçüm düzeni ile deneme yapılmış ve modal davranış parametrelerinin elde edilmesine imkân sağlayan, yüzer sensör-referans sensör yöntemi benimsenerek oluşturulan nihai ölçüm düzeni çalışma ilerletilmiştir. Bu aşama, araştırmanın en çok zaman alan bölümü olmuştur. Sensör yerleşim planının netleşmesi sonrası farklı hava koşullarında OMA uygulaması yapılarak modal davranış parametrelerinin elde edilmesi çalışması yapılmıştır. Modal Güvence Kriteri (MAC) kullanılarak güvenilirliği ayrıca irdelenen OMA sonuçları, genel olarak, soğuk hava koşullarında yapı periyot değerlerinin düştüğünü ve kauçuk izolatörlerin daha rijit davranış gösterdiği çıkarımının yapılmasını sağlamıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Roeder vd. (1987), bu raporda sismik kauçuk izolatörün dönme, kayma, stabilite, yorulma ve malzeme modülünü araştırmışlardır. Düşük sıcaklıklarda kauçuk izolatör üzerinde teorik çalışmalar yapmışlar ve bunun yanı sıra düşük sıcaklıklarda hızla kristalleşen elastomerler hakkında bilgiler verilmiştir. Termal sertleşme, düşük sıcaklıklarda problem oluşturduğu için 3 ayrı bölgede farklı sıcaklıklarda araştırmalar yapılmış olup raporda detayları sunulmuştur.

Özpalanlar (2004), Sismik izolasyon ve enerji sönümlemesinin teorik bilgileri, uygulamaları ve dünyada sismik izolatör için var olan çeşitli yönetmeliklerin nasıl kullanılması gerektiği hakkında bilgiler verilmiştir. Ayrıca örnek bir yapı SAP2000 programı kullanılarak analizleri yapılmış ve bazı kriterleri incelenmiştir.

Yücesoy (2005), bu araştırmada 5 katlı bir yapı ilk olarak ankastre mesnetli sonrasında sismik izolasyon mesnetli olarak modellenmiş ve analiz etmiştir. Bu analizlere ek olarak İzmit ve Erzincan depremlerinin ivme kayıtları kullanılarak analiz edilmiştir. Kurşun çekirdekli kauçuk taban izolatörleri kullanılması durumuna göre hesaplamalar yapılmıştır.

Pınarbaşı ve Akyüz (2005), bu çalışmada bir izolasyon sisteminin sahip olması gereken koşulları ve uygulamaları incelemiştir. Ayrıca LRB'lerin düşük sıcaklıklarda cam özelliği yani kristalizasyon etkisinin olabileceğini ve hava soğudukça ciddi problemler olabileceğinden bahsetmişlerdir.

Erdik (2007), çalışmasında yapısal performansı etkileyen hususlar belirlenmiş olup, ABD, AB ve Japonya yönetmelikleri karşılaştırmıştır. Ülkemizde mevcut olan Tarabya Otelinin güçlendirme çalışması incelenmiştir. Buna dahil olarak Erzurum Devlet Hastanesinde mevcut olan deprem yalıtımı incelenmiştir.

Yavuz (2008), bu araştırmada sismik izolasyon tekniği ile modellenerek, depreme karşı stabil hale getirilmesini incelemiştir. Deprem yükleri altında yapı davranışı ve yapı tasarımının genel özelliklerinden bahsetmiştir. Sismik izolatörlerin

2. KAYNAK ÖZETLERİ

malzemeleri hakkında detaylı bilgi verilmiş olup ilgili yönetmeliklerle bu malzemelerin boyutlandırılması hakkında bilgiler verilmiştir. 5 katlı yapı ve EBEAH ilk ankastre mesnetli sonra sismik izolatör mesnetli olup analizleri inceleyerek karşılaştırmış ve sismik izolatörün yapı davranışı üzerindeki etkisini görmeyi amaçlamıştır.

Şengel vd. (2009), yapı tasarımında kullanılan sismik izolasyon tekniği ile yapıların depreme karşı stabil hale getirilmesini incelemiştir. Yapıdaki sismik davranışı incelemek maksatıyla 5 katlı bina ve EBEAH'ın çeşitli analizleri yapılmıştır. Analizler sonucunda izolasyonun avantajları ve dezavantajları karşılaştırılmıştır.

Montejo vd. (2009), betonarme köprü kolonları -36°C ile 22°C arasında değişen sıcaklıklarda ters çevrimli yükleme altında test etmişlerdir. Düşük sıcaklıklarda bükülme mukavameti, sertliği, kolonun plastitesi ve yer değiştirme kapasitesi hakkında araştırmalar yapılarak oda sıcaklığı ve düşük sıcaklıklar altında birbirleriyle kıyaslanmıştır.

Gökhan (2009), depreme dayanıklı yapı tasarımında kullanılan taban izolasyonlu sistemlerin betonarme yapılarda taşıyıcı sistemler üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Taban izolasyon ilkelerinin daha iyi anlaşılabilmesi için teorik hususlara değinilmiş olup SAP2000 programında zaman tanım alanında analiz yöntemi seçilerek sekiz katlı bir yapıya uygulanmış ve taban izolasyon taşıyıcı sistem üzerindeki analiz sonuçları incelenerek yorumlanmıştır.

Kalpakidis vd. (2010), kurşun kauçuklu izolatörler binalarda, köprülerde ve kritik yapılarda deprem sarsıntısı etkilerinden korumak için kullanılan izolatörlerdir. Büyük deplasmanlı döngüsel hareketler altında, kurşun kauçuklu izolatörün enerji yayması sonucu çekirdeğin ısınmasına sebep olur. Bu makalede kurşun kauçuk izolatörlerinin histeretik davranışının modellenmesinde kurşun çekirdeğin ısınması nedeniyle bozulan dengeyi dengelemek için bir yöntem önermektedir. Önerilen modelin geçerliliği sayısal ve deneysel sonuçlar karşılaştırılarak incelenmiştir.

Deneme vd. (2010), Yüksek sönümlü kauçuk izolatörle (HDRB) mesnetlenmiş çok katlı bir yapının yumuşak taban üzerindeki yapı-zemin etkileşiminin dinamik

2. KAYNAK ÖZETLERİ

davranışını incelemişlerdir. SAP2000 programı ile yapılan analizler doğrultusunda temeli izole edilmiş ve izolasyonsuz yapı modellerinin periyot, kat ivme değerleri, görelî yapı yer değiştirmeleri, eksenel kuvvet, kesme kuvveti ve eğilme momenti değerleri bulunarak karşılaştırma yapılmıştır.

Özkaya (2010), bu çalışmada kullanılan elastomer mesnetin ortasına açılan bir delik küçük çaplı elik bilyelerle doldurulmuş ve yatay yüklerden kaynaklanan ötelemeler altında sürtünme vasıtası ile deliğin içerisindeki enerjinin sönümlenme kapasitesini artırmak için sismik izolatör tipi geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Farklı geometrik ve malzeme özelliklerine sahip çok sayıda bilyeli kauçuk mesnet üretilmiş ve farklı yükler altında incelenmiştir.

Soyluk ve Tuna (2011), tarihi yığma bir cami yapısının sismik izolasyon teknolojisi uygulanarak güçlendirmesini ele almışlardır. Bu cami yapısının sonlu eleman modeli oluşturulmuştur. Bu yığma yapının ankastre mesnetli ve kurşun çekirdekli kauçuk mesnetli modellerin dinamik davranışları belirlenerek, karşılaştırılma yapılmıştır. Dinamik analizler, maksimum yapı tepkilerini veren “Davranış Spektrum” yöntemiyle elde edilmiş ve bulunan periyot değerleri ile sismik izolasyon yapı teknikleri karşılaştırılmıştır.

Kubin vd. (2012), çalışmasında 5 bloktan oluşan bir hastane binası için sahaya özel sismik risk analizi yapılmış olup modal anlamında bina performans özellikleri birbirleriyle karşılaştırmışlardır.

Gordone ve Gesualdi (2012), bu makalede elastomerik malzemelerin döngüsel davranışının hava sıcaklığı değişimlerine duyarlılığını araştırmayı amaçlamışlardır. Uzun süre düşük sıcaklıklara maruz kalmanın etkileri ile beraber kayma modülü, gerilmeler ve viskoz sönümlenme oranı gibi etkileri incelemişlerdir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Razzaq vd. (2012), yüksek sönümlenme kauçuk yatak (HDRB), doğal kauçuk yatak (RB) ve kurşun çekirdekli kauçuk yatak (LRB) oda sıcaklığında (+23°C) ve düşük sıcaklıkta (-20°C) prototip bir köprü üzerinde model yapılarak üç çeşit sismik izolatör hakkında inceleme yapılmış olup birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Güner (2012), 8 katlı bir betonarme hastane yapısını klasik yöntemle tasarımı yapılmış olup ardından klasik yöntemle göre tasarımı tamamlanmış olan bir yapının, kesit ölçütleri kullanılarak yapı kurşun çekirdekli kauçuklu izolatörlere göre de tasarlanmıştır. Böylelikle hem sismik yalıtımlı hem de sismik yalıtım uygulanmadan yapının dinamik analizleri karşılaştırılarak incelenmiştir.

Saraçoğlu (2013), bu çalışmada ilk önce sismik yalıtımın maksadıyla ilkelerinden söz edilmiştir. Sismik izolatörlerin yapı periyodunu artırma yoluyla yapıya gelecek yer ivmelerinin azaltılmasını ve olumsuz etkilerden kaçınılmasını açıklamıştır. İlerleyen bölümlerinde ise modern yalıtıcı sistemlerin avantajları ve dezavantajlarıyla açıklanmıştır. Dünyada genel olarak kullanılan “Uniform Building Code” talimatnamesi ile sismik izolasyon sistemlerinin dizayn aşamaları açıklanarak, betonarme bir bina için talimatnameye bağlı kalarak, LRB’li bir sistemin mesneti detaylandırılarak incelenmiştir. Dört katlı betonarme yapı, ETABS yazılımı kullanılarak deprem etkilerinden yalıtılmış ve ankastre haliyle modellenmiş yapının sonuçları karşılaştırılarak incelenmiştir.

Doğru (2014), son yıllarda yapılan incelemeler sismik izolatörlü yapılarda depreme karşı dayanımının artırıldığı ve büyük şekil değiştirme enerjilerinin dayanım sağladığı ortaya çıkarılmıştır. Bu çalışma kapsamında hastane binasının kullanılmasının nedeni aynı anda bir çok kullanıcıyı barındırması ve ileri teknoloji gerektirmesi gibi özellikleri incelendiğinden tasarımı yüksek performans gerektirmektedir. Deprem etkisi altındaki hastanelerin yapı elemanlarının deformasyona uğramadan yüksek ivmeler altında etkilenmeden, deprem sonrasında hemen kullanılması sağlanmalıdır. Bu kapsamda bu çalışmanın birinci kısmında sismik izolatör sistemleri hakkında bilgi verilmiştir. Sismik izolatörlerin lineer teori ile tasarımı ve bu teorinin bina üzerindeki uygulaması açıklanmıştır. Çalışmanın ikinci kısmında sismik izolatörlerin sınıflandırılması için gerekli yaklaşımlar incelenmiştir. Sınıflandırma içine dahil olan,

2. KAYNAK ÖZETLERİ

kauçuk esaslı, kayma esaslı ve yay tipi sistemler açıklanmıştır. Çalışmanın üçüncü kısmında sismik izolatörlerin özellikleri açıklanmış ve tasarım kurallarına giriş yapılmıştır. Sismik izolatörlerin modellenmesi, kauçuk esaslı izolatörlerin mekanik özellikleri, kurşun çekirdekli izolatörlerin mekanik özellikleri bu başlık altında incelenmiştir.

Karakurt (2015), sismik izolatör türleri ve özellikleri incelenmiştir. Sürtülmeli sarkaç izolatörler daha detaylı olarak incelenmiş olup farklı kat adetlerine sahip binalarda meydana gelecek olumlu ve olumsuz yönleri karşılaştırılmıştır.

Guay ve Bouaanani (2016), çalışmasında Kanada'daki elastomerik köprü yatakları ve izolatörlerinin tasarımının değerlendirilmesi için düşük sıcaklığa maruz kalan izolatörlerin ilgili analizler ve önemli verileri sunmuşlardır.

Çalık vd. (2016), tarihi taş duvar camilerin dinamik özelliklerinin nasıl etkilendiğinin çalışması yapılmıştır. Örnek olarak seçilen Dürbinar mahalle camisi, 2013 senesinde Trabzon Vakıflar Bölge Müdürlüğü tarafından yenilenmiştir. Dışı tabii kesme taş olan yığma duvarlar üzerine ilerleyen zamanlarda birkaç betonarme parçalar eklenmiştir. Yapılan bu restorasyon sonrasında ve öncesinde dinamik analizleri yapılmış, mod şekilleri ve modal sönüm oranları karşılaştırılmıştır.

Mirkelam ve Derdiman (2016), izolatörlü yapılarda yalıtım düzeyinde ortaya çıkan büyük yerdeğiştirmelerden dolayı stabilite problemi meydana gelmektedir. Bu çalışmada taban yalıtımı tekniğinin çok katlı yapılarda uygulanabilmesi amacıyla gereken yapı esnekliğinin tabanda toplandığı klasik taban yalıtımı yerine, hem tabanda hemde üst yapının bazı katlarına izolatör yerleştirilmesi sayesinde yapının depremsel yalıtım performansını nasıl etkilendiği incelenmiştir.

Özdemir ve Avşar (2016), bu çalışmada kurşun çekirdekli izolatörlerin kurşun çekirdeğindeki sıcaklık artışının oluşturabileceği problemleri ele almaktadırlar.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Carlos vd. (2016), bu raporda otoyol köprüleri için düşük sıcaklıklardaki izolator sistemlerinin nasıl davranış gösterdiği incelenmiş ve bunun sonucunda nasıl geliştirebileceği hakkında çalışmalar sunmuşlardır.

Shen vd. (2016), izole edilmiş yüksek katlı binanın yükseklik-genişlik oranı aşırı büyük olduğundan büyük deprem etkileri altında büyük gerilmelere maruz kalabilirler, bu yüzden izolatorün gerilme-kayma yükü altındaki kritik davranışı araştırmak için, aynı yapıya sahip 5 lineer doğal kauçuk aksenal gerilme ve kayma gerilmesi dahil olmak üzere % 0 ile % 483 arasında değişen farklı yatay gerilmeler altında deneysel olarak incelenmiş ve analizleri yapılmıştır.

Erşeker (2017), araştırmasındaki amaç, kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi azalım gösteren LRB'lerde, çift yönlü deprem etkisi altında maksimum izolator yerdeğiştirmelerinin farklı deprem etkime açılarının dikkate alındığı durumlar için elde edilmiştir. Elden edilen incelemeler sonucunda, deprem etkime açısı dikkate alınmadan elde edilen izolator deplasmanlarının, deprem etkime açısına bağlı olarak olası artış miktarı olacakmış gibi yansıtılarak bir katsayı aracılığıyla uygun bir biçimde geliştirilmesi amaçlanmaktadır.

Galindo vd. (2017), kurşun çekirdekli kauçukların kullanım alanları çok geniştir, fakat düşük sıcaklıklara karşı önemli bir hassasiyetleri vardır. Bu yüzden bu bildiriye -30°C yeni bir kauçuk karışımının geliştirilmesi ve izolatorlerin genel tasarımının optimizasyonu çalışılmıştır.

Sağlam (2017), bu çalışmada yüksek katlı binalarda deprem izolatorü tekniği altında farklı boyutlarda izolatorler tasarlanarak yapının deprem altındaki etkilerini incelemiştir. Taban izolatorlü yüksek binaların davranışını incelemek için yönetmeliğe uygun bina tasarlanmış ve modal analiz yöntemiyle statik yapısı incelenmiştir.

Çavdar ve Özdemir (2018), bu çalışmada sismik izolasyonun uygulanması, kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım sistemleri kullanılan bir yapıda maksimum izolator deplasmanlarındaki değişim deprem etkime açısına bağlı olarak incelenmiştir. Seçilen deprem kayıtlarının 10° aralıklarla 180° boyunca döndürülerek deprem hareketinin

2. KAYNAK ÖZETLERİ

farklı etkime açılarına sahip durumlar oluşturulmuştur. Analizlerde kullanılan deprem hareketleri, yakın saha kaynaklı kayıtlar arasından seçilmiş, tasarım deprem ve maksimum deprem seviyelerini temsil edecek şekilde ölçeklendirilmiştir. Ayrıca incelemeye ek olarak deprem etkime açısına bağlı maksimum izolatör deplasmanında ki değişimin, izolasyon periyoduna olan hassasiyetini belirleyebilmek amacıyla 4 farklı özellikte izolatör tasarlanmıştır.

Eem ve Hahm (2019), kurşun kauçuk yatak (LRB) izolasyon sisteminin nükleer enerji santrallerine uygulanmasına yönelik çalışmalar yürütülmüştür. Yalıtım sistemli nükleer enerji santralleri, tasarım temelindeki depremler dahil olmak üzere yapıların sismik kırılma güçleri hesaplanmış ve güvenliği değerlendirilmiştir.

Naimi ve Waheb (2019), bu çalışmada bir deprem anında yapısal tepkileri azaltmak için çeşitli girişimlerde bulunulmuştur. Farklı deprem hareketleri altında tek ayarlı kütle sönümleyici (STMD), çoklu ayarlı kütle sönümleyicileri (MTMD) ve dağıtılmış çoklu ayarlı kütle sönümleyicileri (d-MTMD'ler) kullanılarak, taban izolasyonlu yapıların sismik tepki kontrolü incelenmiştir.

Güneş ve Feyzullohoğlu (2019), birçok kauçuk ürün, çalıştıkları yerlerde soğuk hava şartlarına, çalışma ortamlarına, yağa, termal çevrime ve ısıya maruz kalmaktadırlar. Bu deneysel çalışmada yüksek ve düşük sıcaklıklar altında kauçuk malzemelerin adheziv aşınma özellikleri incelenmiştir.

Severcan ve Şen (2019), sismik izolatörlü binalarda kat adetine bağlı olarak yapısal etkisi incelenmiştir. Kat adedinin etkisini belirlemek için 5, 10, 15 katlı binalarda sürtünmeli sarkaç tipi izolatörler kullanılarak modellenmişlerdir.

Billah ve Todorov (2019), düşük sıcaklıklara maruz kalan kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Düşük sıcaklıklarda (+35°C ile -35°C) köprünün sismik performansını değerlendirmişlerdir. Köprü bileşenlerinin malzeme özellikleri, performansı, kayma gerilmesi ve rijitlikleri incelenerek analiz edilmiştir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Davas ve Alhan (2019), titreşime duyarlı ekipmanların ve bir yapının bütünlüğünün korunmasında yarı aktif izolasyonun etkinliğini ve yakın depremler altında yarı aktif sismik izolasyonun güvenilirliğini araştırmışlardır.



3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu bölümde Erzurum Bölge Eğitim ve Araştırma Hastanesi' nde kullanılan sismik izolatörlerin sıcaklığa bağlı davranışının, OMA yöntemiyle deneysel olarak incelenmesinde kullanılan materyal ve takip edilen yöntem hakkında detaylar sunulmaktadır.

3.1. Erzurum Bölge Eğitim ve Araştırma Hastanesi

Tez kapsamında incelenen Erzurum Bölge Eğitim ve Araştırma Hastanesinde (EBEAH) 386 adet kauçuk sismik izolatör kullanılarak 2005 yılında Erzurum ili Palandöken ilçesinde inşasına başlanmış olup 2008 yılında hizmete açılmıştır (Şekil 3.1). Erzurum devlet hastanesi 149.986 m² alan üzerine kurulmuş olup plan boyutları 167 m x 134 m ve toplam yüksekliği 29 m olacak şekilde inşa edilmiştir. Hastanede kullanılan toplam 386 adet kauçuk esaslı kurşun çekirdekli izolatörler 2 farklı tipte (LRB ve NRB) kullanılmıştır. LRB (Lead Rubber Bearings) tipi izolatörler 4 farklı çapta (LRB1100, LRB1000, LRB900, LRB800) üretilerek yerleştirilmiştir. Bu izolatörlere ek olarak NRB800 (Natural Rubber Bearings, diamater: 800 mm) tipi izolatör de kullanılmıştır. Bu tip izolatörde kurşun çekirdek bulunmamaktadır.



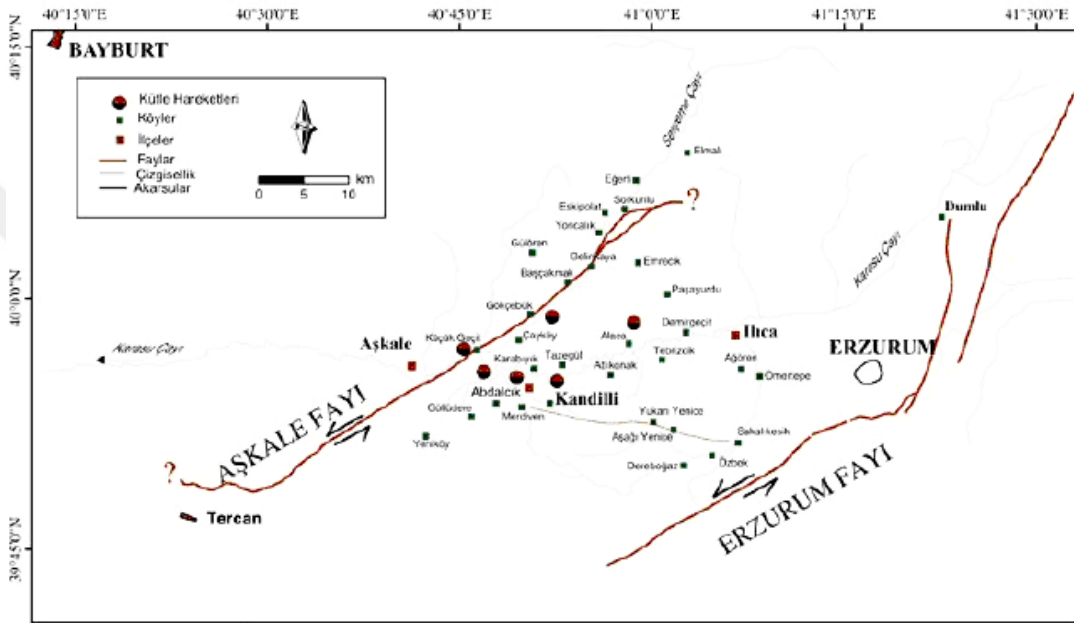
Şekil 3.1 Erzurum Bölge Eğitim ve Araştırma Hastanesi

Hastane, okul ve iş merkezi gibi geniş alan üzerine kurulan büyük yapılar parçalı olarak inşa edilmektedir. Parçalı imalat, literatürde dilatasyonlu imalat olarak tanımlanmaktadır. Bu tür büyük yapılarda dilatasyon kullanılmasının temel amacı, deprem anında büyük kütle hareketinin önüne geçilmesi ve yapıyı parçalı hale getirerek deprem anında göçme riskini en az seviyeye indirgenmesi amaçlanmaktadır. Fakat

3. MATERYAL ve YÖNTEM

büyük yapılarda izolatör kullanımı, bu tür yapıların ancak tek parçalı inşa edilmesini mümkün kılmaktadır. Türkiye’de tek parça olarak inşa edilen en büyük yapı özelliğini taşımaktadır (Anonim, 2018).

2005 yılında inşasına başlanan Erzurum devlet hastanesi konumu itibariyle Şekil 3.2’ de görüldüğü gibi yanal atımlı Erzurum fayına 4 km uzaklıkta yer almaktadır.



Şekil 3.2 Erzurum hastanesinin Erzurum Fayına göre konumu (Erdik, 2007)

Yapı öncelikle depreme dayanıklı yapı tasarım ilkeleri esas alınarak tasarlanmış, sonrasında temel seviyesine sismik yalıtım yapılmasına karar verilmiştir. Bu aşamada, üst yapı projesinde herhangi bir değişiklik yapılmamıştır.

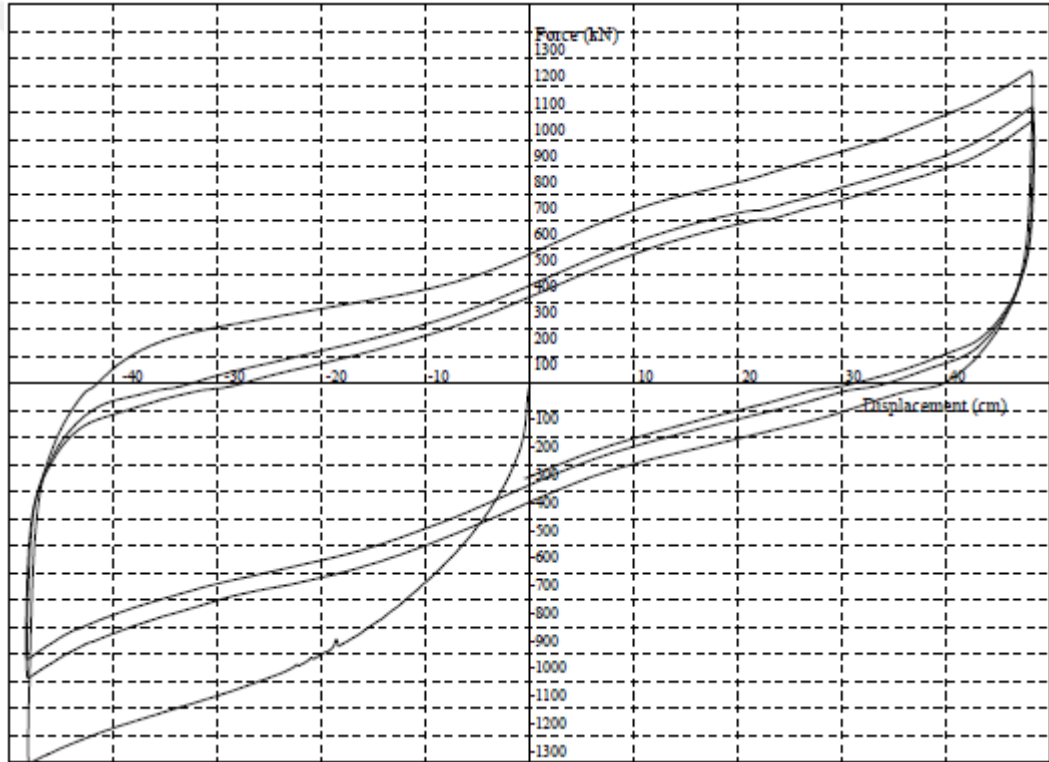
Hastanenin izolatör tasarımında yapının toplam ağırlığı ankastre mesnetli tasarımdan elde edilmiş olup, teknik raporda Çizelge 3.1’ de sunulan yük parametreleri kullanılarak yapı periyodu ve izolatörlerin deplasman değerleri teorik olarak hesaplanmıştır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Çizelge 3.1 EBEAH yük parametreleri

Yapıya etki ettirilen ölü yük (G)	$1,28 \times 10^9$ N
Yapıya etki ettirilen hareketli yük (Q)	$0,56 \times 10^9$ N
Yapının toplam ağırlığı (W)	$1,42 \times 10^9$ N (G+1/4Q)

Erdik ve Mowrtage (2005)' un hazırladığı teknik raporda; yapılan hesaplamalar ve deneyler sonucu izolatörlerin yapabileceği maksimum deplasman 49 cm belirlenmiştir. Hastanede kullanılan izolatörler University of California at San Diego SRMD laboratuvarında 20 ± 5 °C' de test edilmiş ve test sonucunda Şekil 3.3' te LRB 900 tipi izolatöre ait histeresiz eğrisi sunulmuştur.



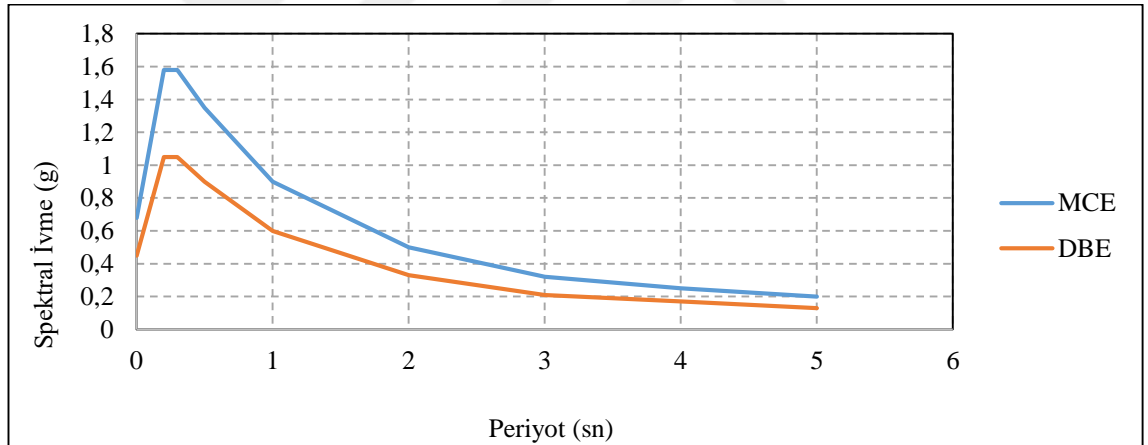
Şekil 3.3 Üretilen izolatörlere yapılan test sonucu LRB900 tipi izolatöre ait histeresiz eğrisi

Yapının mevcut bulunduğu konum itibariyle Erzurum Fayı' na uzaklığı 4 km olarak bilinmektedir. Faya olan konumundan dolayı sahaya özel ivme spektrumu hesaplanmıştır. EBEAH' da kullanılan izolatörlerin maksimum deplasman değerlerinin hesaplanmasında, yakın saha depremi olarak 1/1,5 oranında küçültülmüş 1992 Erzincan Deprem kaydı kullanılmıştır (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.2 Erzincan depremine ait spektral ivme değerleri (*Erdik ve Mowrtage, 2005*)

Tasarıma Esas Deprem Yer Hareketi			
Sahaya Özel MCE ve DBE Seviyesinde Spektral İvme Değerleri			
Periyot	MCE-SA(g)		DBE-SA(g)
0	0,68		0,45
0,2	1,58	Sms	1,05
0,3	1,58		1,05
0,5	1,35		0,9
1	0,9	Sml	0,6
2	0,5		0,33
3	0,32		0,21
4	0,25		0,17
5	0,2		0,13

Çizelge 3.2’ de bahsi geçen MCE ve DBE sırasıyla; en büyük deprem hareketi ve 1/1,5 oranında küçültülmüş deprem hareketi olarak tanımlanmıştır. Çizelge 3.2’ de yer alan periyot ve ivme değerlerine ait grafik Şekil 3.4’ te sunulmuştur.



Şekil 3.4 EBEAH’ a ait MCE ve DBE spektral ivme-periyot grafiği

3.2. Deprem İzolatör Sistemleri

Sismik yapı yalıtımı; yapılara deprem sırasında gelen deprem dalgasının oluşturacağı yıkıcı etkilerden korunması amacıyla geliştirilmiş bir sistem olarak tanımlanmaktadır. Sismik izolatörlerin temel amacı, bir yapıya etkileyen deprem kuvvetini sönmüleyerek temel ile üst yapı arasındaki bağlantının düşey ekseninde rijit yatay ekseninde hareketli olmasıyla deprem kuvvetinin yutulmasını ve sönmülenmesini sağlamaktadır. Sismik yalıtım sistemleri yapının depreme karşı tepki kapasitesini arttırmak yerine, yapıya gelen deprem dalgalarının oluşturduğu dinamik etkiyle

binaların mevcut periyodunu uzatarak izolatör üzerinde kütle halinde hareket etmesini sağlamaktadır. Bu hareket deprem kuvvetine karşı gelmek yerine deprem kuvvetiyle birlikte hareket etmesini sağlamaktadır.

Kullanım esaslarına ve yapı tipine bağlı olmakla birlikte, genel olarak 3 tip izolatör kullanıldığını ifade etmek mümkündür. Bunlar,

- Kauçuk Esaslı İzolatörler
- Sürtünme Esaslı İzolatörler
- Yay Tipi İzolatörler

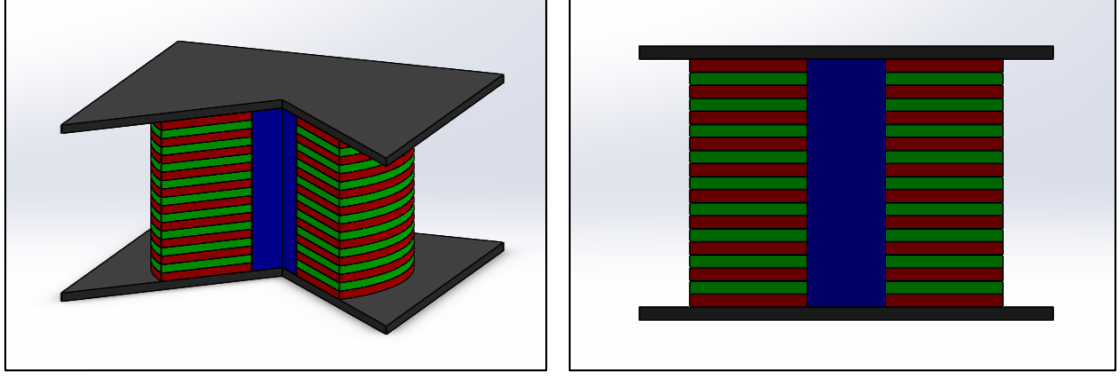
Yukarıda maddeler halinde belirtilen deprem izolatör sistemleri alt başlıklar halinde detaylandırılarak sunulmuştur.

3.2.1. Kauçuk Esaslı İzolatörler

3.2.1.1. Kurşun Çekirdekli Kauçuk izolatörler (LRB)

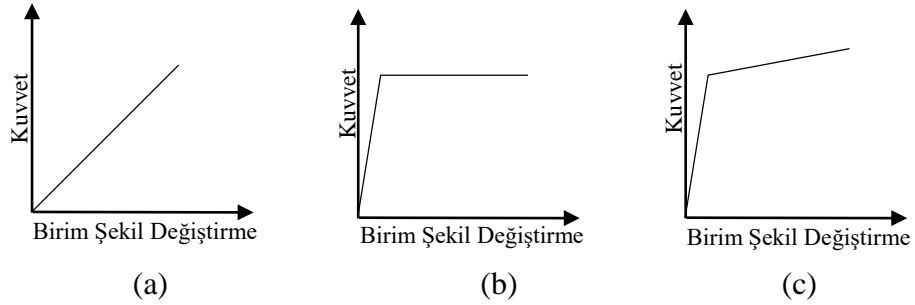
Sismik izolasyonda kullanılan ilk izolatör tipi olarak bilinmektedir. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatör ilk olarak 1975 yılında Yeni Zelanda'da Dr. Robinson tarafından geliştirilerek kullanılmıştır. Elastomer malzeme özelliği taşıyan kauçuk, diğer elastomer malzemelerle karşılaştırıldığında daha yüksek mukavemete sahip olduğu bilindiği için bu izolatörde kauçuk malzeme tercih edilmiştir.

Şekil 3.5' te kauçuk izolatörün tipik kesit görüntüsü verilmiştir. Görselde dış yüzeylerinde 2 adet kalın plaka arasına yerleştirilen izolatörün iç yapısının ince çelik ve kauçuk katmanlardan oluşturulduğu görülmektedir. Düşük yatay yüklerde yüksek rijitlik, doğrusal davranış göstermesi ve enerji sönümle kapasitesinin artırılması amacıyla izolatörün içerisinde kurşun çekirdek kullanılmaktadır.



Şekil 3.5 Şematik olarak kurşun çekirdekli kauçuk izolator içyapısı

Kurşun çekirdeğin enerji sönümlenme kapasitesi izolatorün yatay yer değıştirmesinin azalmasına neden olmaktadır. İzolatorde kauçuk ve kurşunun beraber kullanımı sonucu kompozit bir malzeme ortaya çıkmaktadır. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatorlerde kurşun çekirdek sönümleyici özellik gösterirken izolatorde bulunan kauçuk ise dengeleyici özellik göstermektedir. Kurşun çekirdeğin ve kauçuğun birlikte kullanılmasının faydası; yapıya gelen deprem kuvveti anında bu kuvveti sönümleyerek yapının kütle olarak ilk konumuna geri dönmesini sağlamaktadır. Oluşan kompozit malzemenin deprem kuvvetleri altında şekil değıştirme ilişkisi Şekil 3.6' da sırasıyla; (a)kauçuk, (b)kurşun ve (c)kauçuk+kurşun davranışı verilmiştir.



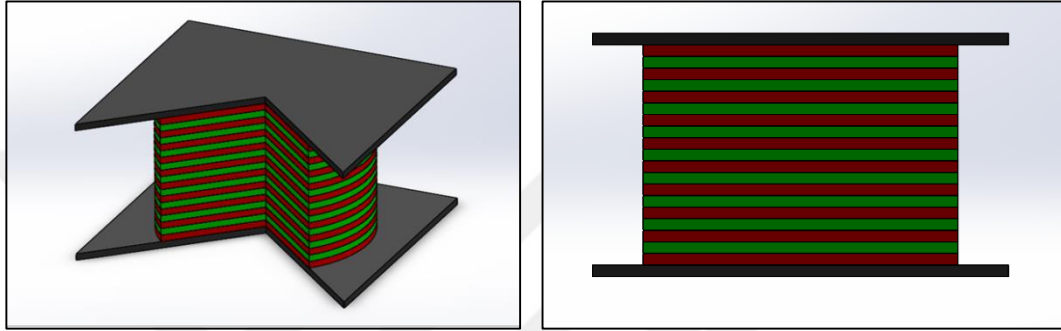
Şekil 3.6 (a) Kauçuk, (b) Kurşun ve (c) Kauçuk + Kurşun mekanik davranışı

3.2.1.2. Düşük Sönümlü Kauçuk İzolatorler

Düşük sönümlü kauçuk izolatorlerde ince çelik ve sac levhalar üst üste konularak ısıyla beraber basınç uygulanarak birbirlerine yapıştırılma tekniğı kullanılmıştır. Bu teknik sayesinde izolatorün düşey yük kapasitesini ve rijitliğini

artırmaktadır. İzolatör üzerine yapıdan gelen ölü yük ile yatay yönde şişmesine ve yanal deformasyon yapmasına engel olmaktadır.

Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlere benzer olarak alt ve üst başlıklarında kalın çelik levhalar ile kolonlara montajı yapılmaktadır. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerden farkı, izolatörün merkezinde kurşun bulunmamasıdır. Şekil 3.7’ de gösterilen düşük sönümlü kauçuk izolatör iç yapısı şematik olarak sunulmaktadır.



Şekil 3.7 Şematik olarak kurşun çekirdeksiz (düşük sönümlü) kauçuk izolatör iç yapısı

3.2.1.3. Yüksek Sönümlü Kauçuk İzolatörler

Sönüm oranı yüksek elastoplastik izolatörlere kalite oranı yüksek karbon bloklar, özel yağlar reçine vb. diğer katkı maddeleri ilave edilerek imal edilmiştir. Yüksek sönümlü kauçuk izolatörlere ekstra olarak eklenen katkılardan dolayı izolatörlerdeki sönüm davranışı ne histeretik ne de viskoz olarak tanımlanmıştır (Yücesoy, 2005).

3.2.2. Sürtünme Esaslı İzolatörler

Sürtünme esaslı izolatörler deprem esnasında binaya gelen deprem kuvvetini sürtünme yoluyla %80 oranında sönümlenme kapasitesine sahip izolatörlerdir (Şekil 3.8). Bu tür izolatörlerde sürtünme yüzeyleri paslanmaz çelik metal ve sürtünme özelliği gösteren çeşitli malzemeler kullanılmasıyla yapıya etki eden deprem kuvvetleri azaltılmaya çalışılmıştır. Sürtünme yüzeylerini oluşturan malzemelerin temel prensibi izolatörün sürtünme yüzeyinde oluşan hareket hızı, yüzey temizliği ve dayanıklılık derecesini optimum düzeyde tutarak gerekli sönüm yapacak şekilde üretilmesidir.



Şekil 3.8 (a) ve (b) Sürtünme esaslı izolatör

Sürtünme esaslı izolatörler kullanım amaçlarına göre 6 farklı şekilde sınıflandırılmıştır. Bunlar;

- Sürtünmeli Sarkaç Sistemler
- Çapraz Raylı Mesnetler
- Esnek Sürtünmeli İzolatörler
- Elektrik-Fransız Sistemi
- Deprem Araştırma Merkezi Birleşik Sistemler
- TASS Sistemi dir (Doğru, 2014).

3.2.3.Yay Tipi İzolatörler

Çelik muhafaza plaklarından oluşan tüm yönlerden gelen sismik yüklere karşı tasarlanmış ve ayarlanabilir yaylardan oluşan izolatör biçimidir. Bu tip izolatörler genellikle düşey doğrultudaki deprem kuvvetinin oluşturduğu etkileri azaltmak amacıyla kullanılır. Bu izolatör içerisinde bulunan yaylar tek başına etkili değildir ancak viskoz sönümleyici sıvılar kullanılarak etkili olması mümkündür.



Şekil 3.9 Yay tipi izolatör

3.3. Deneysel Modal Analiz

Yapılara ait dinamik davranışların elde edilmesi için deneysel modal analiz yöntemleri kullanılır. Bu dinamik davranış yapıda oluşan titreşim değerlerinden belirlenmesi mümkündür. Modal analiz yöntemleri olarak geleneksel ve operasyonel olmak üzere 2 çeşit yöntem kullanılmaktadır. Hangi yöntemin tercih edileceğine yapıdaki titreşimlerin bilinip bilinmemesi karar verir. Eğer yapıya uygulanan titreşimler biliniyorsa, geleneksel modal analiz yöntemi eğer bilinmiyorsa operasyonel modal analiz (OMA) yöntemi kullanılmaktadır. Bunun yanında yapı büyüklüğü yapı kullanım alanı yapıdaki titreşimin tüm yapıyı etkilemesi vb. etmenlerde modal analiz yöntemi seçiminde kullanılmaktadır. Ölçüm sırasında yapının bir bütün olduğu yapısal davranışının zamanla değişmediği, malzeme özelliğinin değişmediği ve yapının lineer davranışta bulunması kabul edilir. Bu kabullerin nedeni deneylerde elde edilen verilerin geçerliliğidir (Özdoğan, 2018).

3.3.1 Operasyonel Modal Analiz

Operasyonel Modal Analiz (OMA) uygulaması ilk olarak büyük yapıların test edilmesi için kullanılmıştır. OMA, birçok mühendislik alanında ve özellikle inşaat mühendisliği yapılarında kullanılan yaygın ve en popüler uygulamadır. 1999 yılında Aalborg Üniversitesi tarafında geliştirilen ARTeMIS yazılımı günümüzde de OMA uygulamalarında kullanılmaktadır. ARTeMIS adı “Ortam Müdahale Testinin ve Modsal Tanımlama Yazılımının” kısaltması olarak isimlendirilmiştir (Anonim, Structural Vibration Solutions, 2019).

Halihazırda yapılmış olan tüm yapılardaki mevcut titreşim ve çevresel etkenlerle meydana gelen titreşimler ile sürekli olarak titreşim hareketine maruz kalırlar. Oluşan bu titreşimler insanların algılayamayacağı kadar düşük frekansa sahip ancak ultra hassas ivmeölçerlerin algılayabileceği titreşimlerdir. Binaların mevcut kullanımındaki ve çevresel etkilerin (rüzgar, araç vb.) oluşturduğu titreşimler binanın doğal periyodu olarak tanımlanabilir. Bu periyot, insan vücudunun yaşamsal döngülerini sağlayan kalp atış hareketi ve nabız atımına örnek gösterilebilir. Bahsi geçen ultra hassas ivmeölçerler ile alınan kayıtlar sonucunda tüm yapının dinamik özelliğinin belirlenmesinde etkin rol

3. MATERYAL ve YÖNTEM

oyunmaktadır. Ayrıca alınan kayıtlar neticesinde elde edilen periyot ve mod şekilleri binanın yapısal modellenmesinde kalibrasyon için kullanılabilir.

İvmeölçerler yapılarda oluşan titreşimleri tepki kuvvetlerine dönüştürerek kayıt altında alabilir. Cihazların algıladığı titreşimleri tepki kuvvetine dönüştürebilmeleri için ölçüm alınacak yüzeye sabitlenmesi gerekmektedir. Sabitleme aracı olarak genellikle vida veya yapışkan özelliği taşıyan maddeler ile sabitleme işlemi gerçekleştirilir. Bu işlem tamamlanmasının ardından ivmeölçerler üzerinde bulunan kayıt butonuna basıldıktan sonra yapıdan ölçüm almaya başlarlar. İvmeölçerlerin kayıt altına aldığı titreşimlere tepki kuvveti olarak voltaj üretirler ve ürettikleri bu voltajları sinyal haline dönüştürerek cihazın içerisindeki veri toplama ünitesine aktarırlar (Özdoğan, 2018). Alınan kayıtlar yerçekimi ivmesi 'g' cinsinden veri kaydı oluşturmaktadır. Cihaz içerisinde bulunan veri toplama ünitesine bilgisayar programı vasıtasıyla erişilerek kayıt frekans aralığı belirlenmektedir. Cihazlar üç eksenli (x-y-z) kayıt alabilme kapasitesine sahiptir.

Bu tez kapsamında kullanılan ivmeölçerler Şekil 3.10' da görüldüğü gibi E-QUAKE-ACC tipi 3 eksenli ivmeölçer kullanılmış olup bu cihazların teknik özellikleri Çizelge 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.10 Ultra hassas ivmeölçer cihazları ve ekipmanları

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Şekil 3.10' da görüldüğü gibi toplamda 7 adet üç eksenli ultra hassas ivmeölçer, 7 adet GPS ve 6 adet taşınabilir batarya mevcuttur. İvmeölçer cihazların senkronizasyonu açısından GPS bağlantısı önem arz etmektedir. GPS cihazları özel üretilen anten kabloları ile ivmeölçer cihazlarına bağlantısı yapılmaktadır. Aynı zamanda cihazlar GPS yardımıyla aynı uyduya bağlanmakta ve içerisinde bulunan veri toplama ünitesine sahip elektronik kayıt sisteminin senkronize olarak aynı zaman diliminde kayıt almasını sağlamaktadır. Taşınabilir mobil bataryaların kesintisiz güç aktarım kapasitesi 6 saat olmakla beraber kendini 10 saatte full şarj etme özelliğine sahiptir.

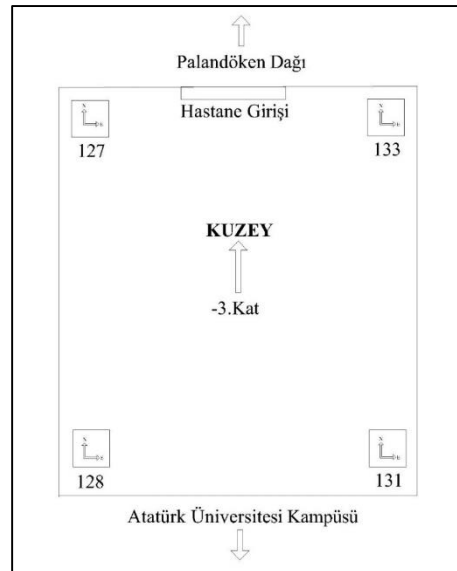
Çizelge 3.3 Ultra hassas ivmeölçer cihazların teknik özellikleri (Anonim, 2019)

ADC Çözünürlüğü	24 Bit
Senkronizasyon	GPS tabanlı - eş zamanlı örnekleme – bağımsız ADC / kanal
Örnekleme Hızı	1 kHz, 500 Hz, 200 Hz, 100 Hz, 50 Hz, 20Hz, 10 Hz, 5Hz, 1Hz (2kHz/4kHz opsiyonel)
Eksen (Bileşen Sayısı)	3
Dinamik Aralık / İç Gürültü	140 dB / 1.2 mikro-Volt RMS
İvme Ölçüm Aralığı	± 2 g
Frekans Bant Genişliği	DC - 120 Hz
İvmeölçer Tipi	Kuvvet dengeleyici - Kuvvet Geribeslemeli
İvmeölçer Gürültü Seviyesi	130 ng√Hz
Eksen Duyarlılığı	0.002 g/g
Uyarı / Kalibrasyon	Voltaj - sıcaklık - GPS-RAM durumu / bağımsız kalibrasyon / kanal - otomatik - sinüs - kare - kullanıcı tanımlı
Mekanik Şok Dayanımı	2000 g
Analog Filtre	Anti-aliasing / alçak geçiren
DSP	Oversampling / downsampling / decimation / sayısal filtreleme
İşletim Sistemi	Dual ARM işlemci - gömülü linux - gerçek zamanlı hesaplama özellikleri
İletişim Arayüzü	Ethernet TCP/IP - ADSL-3G/WiFi bağlantıya hazır - veri kaybını engelleyici iletişim algoritması/RS232 Ops
Veri Depolama	USB - flash bellek (4GB - 8GB - 16GB) / tetiklemeli kayıt / STA/ LTA / diğer
GPS İşlevselliği	Zaman-kordinat bilgisi, GPS sinyali kaybolduğunda kesintisiz iç osilatör sinyali
Uzaktan Bağlantı	TCP/IP - FTP sunucu - seedlink sunucu* - web sunucu
Yıldırım Koruması	Her kanalda bağımsız koruma
Çalışma Voltajı, Besleme	12 VDC / 220V AC - opsiyonel batarya / akü ünitesi
Çalışma Sıcaklık Aralığı	-40 °C ~ +70 °C
Kutulama / Konektör Yapısı	Paslanmaz kutulama / IP67 konektör (opsiyonel askeri sınıf konektör / IP67 koruma)

3.3.1.1. Operasyonel Modal Analiz Saha Uygulaması

Erzurum Bölge Eğitim ve Araştırma Hastanesi (EBEAH) yapısında doğal titreşimler altında ultra hassas ivmeölçerler ile titreşim kayıtları alınarak ARTeMIS Modal yazılımında modellenmiş olup yapının doğal titreşimler altında modal davranışı irdelenmiştir. Modelleme aşamasında kullanılan ARTeMIS programından elde edilen frekans, periyot ve gözlemlenen modal davranışları, yapının tasarım aşamasında hesaplanan ve SAP2000 ortamında modelleme sonucu elde edilen yapı modal davranışları ve periyotlarıyla karşılaştırılmıştır (Artemis Modal Pro, 2019), (Sap2000, V.16, 2016).

Tez kapsamında yapılan saha çalışmalarında 7 adet üç eksenli kablosuz ivmeölçer sensör kullanılmıştır. Çalışma sürecinde ilk önce yapının bir plan krokisi oluşturulmuştur. Krokide yapının Palandöken Dağı'na bakan cephesi yön kabulü olarak 'Kuzey Yönü' kabul edilmiştir. Bu kabuldeki temel amaç, ivme ölçümleri esnasında cihazlar aynı yöne bakacak şekilde konumlandırılarak ölçüm alınması ve modelleme aşamasında aynı yön kabulüne göre modele entegre edilerek doğru sonuç almaktır. Yön kabulü krokisi Şekil 3.11' de görüldüğü gibidir.



Şekil 3.11 Yön kabulü krokisi

Tez kapsamında incelenen EBEAH yapısı büyük büyük hacimli bir blok yapıdır. Modal davranış parametrelerinin deneysel olarak edilmesi oldukça zor bir saha

çalışmasıdır. Bu nedenle, belirlenen dönemlerde yapı üzerinde soğuk hava koşullarının yapısal davranış üzerindeki etkisini değerlendirmeye esas OMA çalışmasına geçilmeden önce doğru sensör yerleşimi ve ölçüm prosedürünün belirlenmesi amacıyla sahada 3 ayrı uygulamanın gerçekleştirildiği bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışma neticesinde OMA uygulamasına esas titreşim ölçüm düzeni netleştirilmiştir. Bu aşama, tez çalışmasının en zor ve zaman alıcı kısmı olarak nitelendirilebilir.

Sensör yerleşim düzeninin netleştirilmesi amacıyla gerçekleştirilen 3 adet pilot uygulamaya sırasıyla Ölçüm-1, Ölçüm-2 ve Ölçüm-3 isimleri verilmiştir. Ölçüm-3 ile elde edilen sonuç değerlendirmeye esas bir veri olarak kabul edilmiştir. Ölçüm-3 prosedürü, daha soğuk bir havada tekrarlanarak Ölçüm-4 adı verilen kayıtlar alınmış ve modal davranış parametreleri irdelenmiştir.

İvmeölçer sensörler Ölçüm-1 ve Ölçüm-2’ de yalnızca çatı katından, Ölçüm-3 ve Ölçüm-4’ te ise yapının otoparkında (izolatörün hemen üstü) ve çatı katında 4 köşe noktasına yerleştirilerek ölçüm alınmıştır. Ölçüm öncesinde cihazların aynı anda ölçüm alabilmesi için senkronize edilmesi gerekmektedir. Bu senkronizasyonun ilk aşaması, taşıyıcı şarj ünitesine bağlı olan ivmeölçer cihazının power tuşu ile açık konuma getirilmesidir. Daha sonra cihaza manuel olarak anten bağlantısı yapılarak cihaz içerisindeki bilgisayarın uydu bağlantısının sağlanması ile aynı saat dilimine getirilerek cihazlar kendi aralarında senkronize edilir. Cihazların GPS göstergelerinde yeşil ışık yandığında cihazlar senkronize olmuş anlamına gelmektedir. Otopark katında dış cepheye açılan herhangi bir cam olmadığı için cihazda kullanılan antenlerin uyduya bağlanma problemi ile karşılaşmıştır. Bu problemin çözümü için ivmeölçerler dış ortamda senkronize edilerek otoparkta taşınmış olup cihaz yerleşimi yapılmıştır. Çatı katında cihazların senkronize olmasına herhangi bir engel olmadığından cihazlar ölçüm noktalarına sabitlendikten sonra senkronize edilmiştir.

Ölçüm alınacak noktalarda ivmeölçerlerin temas ettiği yüzeyde herhangi bir boşluk olmaması ve yüzeyin mümkün olduğu kadar düz olması gerekmektedir. Kullanılan ivmeölçerler titreşim hareketini çok hassas ölçtüğünden dolayı temas yüzeyinde boşluk bulunmaması esastır. İvmeölçerlerin ölçüm alınacak noktalara çeşitli şekillerde sabitlenmesi mümkündür. Sıcak silikon, hızlı priz alan alçı ya da cihazın alt

yüzeyinde vidalı montaj için bırakılan boşluklar ile ölçüm noktasına direkt montaj yapılabilir. Tez kapsamında alınan ölçümlerde yüzeylerin tozlu olmasından dolayı sıcak silikon bağlantısı gerçekleştirilememiş ve yapıya zarar vermemek için montaj ile sabitleme işleminden kaçınılmıştır. Yapıya minimum zarar vermesi ve ölçüm alınacak noktada minimum boşluklu bağlantı sağlanması açısından hızlı donan alçı ile sabitleme işlemini Şekil 3.12’de görüldüğü gibi uygulanmıştır.



Şekil 3.12 İvmeölçer sensörün alçıyla zemine sabitlenmesi uygulaması

İvmeölçerlerin hızlı donan alçı sayesinde minimum boşluklu ve zemine kısmen rijit bağlantısı tamamlandıktan sonra kayıt aşamasına geçilmiştir. Birbirleri arasında senkronize edilmiş ivmeölçerlerin kayıt işlemine aynı anda başlatılması gerekmektedir. Bunun için her cihazın başında bir kişi görev almış ve iletişim araçlarıyla haberleşme sağlanarak aynı anda kayıt alma tuşuna basılarak (Event) ölçüme başlanmıştır. Ölçüm süresinin pratikte yapının en düşük mod şekline ait periyot değerinin 500 katından az süre ile ölçüm alınması önerilmektedir. Fakat yapının oluşturduğu harmonik hareketler ve yapı büyüklüğü göz önünde bulundurulduğunda ölçüm süresi ortalama 45 dakika olarak belirlenmiş ve 45 dakikanın sonunda kayda başlanıldığı gibi senkronize bir şekilde ölçüm sonlandırılmıştır. Kayıt işlemi tamamlandıktan sonra cihazlar çok hassas bir şekilde buldukları yerden alınarak bir araya getirilmiş daha sonra Şekil 3.13’te görüldüğü gibi ethernet kablosu ile ivmeölçer cihazının içinde bulunan veri kayıt bilgisayarına erişim sağlanarak kayıt dosyaları yedeklenmiştir.

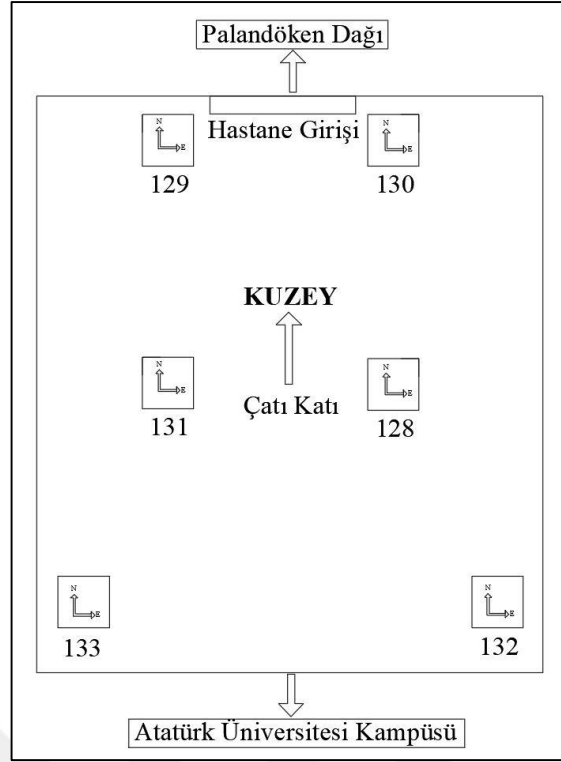


Şekil 3.13 İvmeölçer sensörden veri kaydı depolama işlemi

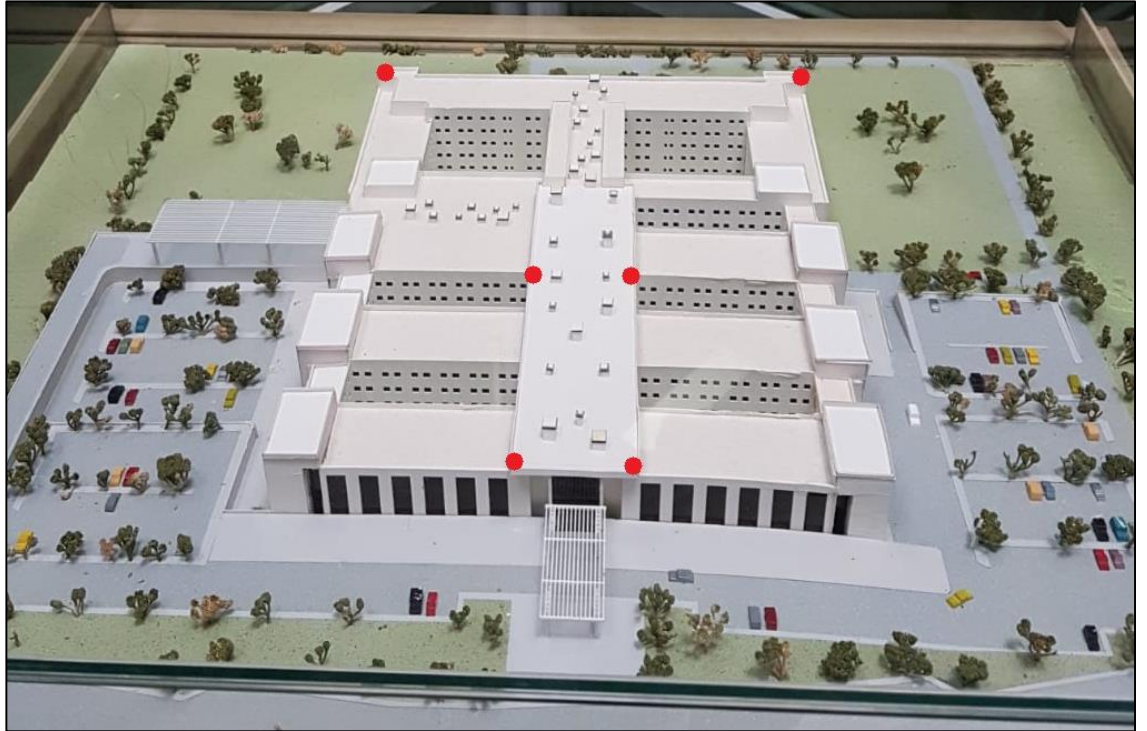
Operasyonel modal analiz saha uygulaması başlığı altında yapılan ölçümlere ilişkin genel bilgi sunulmuş olup toplamda gerçekleştirilen 4 OMA uygulaması takip eden bölümde detaylandırılmıştır.

3.3.1.1.1. Ölçüm-1

25.12.2018 Salı günü saat 11.00’de ölçüme başlanmış olup ölçüm anındaki hava sıcaklığı -7°C olarak tespit edilmiştir. Ölçüm-1 yalnızca çatı katından 6 noktadan alınmış olup Şekil 3.14’ te sunulan görselde ivmeölçerlerin numaralandırılması ve yön kabulü belirtilmiştir. Hastanenin giriş kısmı Palandöken Dağı’na bakacak şekilde inşaa edilmiştir. Verilerin işlenmesi ve ölçüm anında kullanılan bütün ivmeölçerlerin aynı yönden gelen titreşimleri aynı doğrultuda kayıt altına alabilmesi açısından Palandöken Dağı kuzey yön olarak kabul edilmiştir. Alınan ölçümlerde genel olarak bu yön kabulü tercih edilmiştir. Ancak kabul edilen yön kabulüne göre güneye bakan tarafta sağ uç noktada 132 olarak adlandırılan sensörden titreşim kaydı teknik aksaklıktan dolayı alınamamıştır. Şekil 3.15’ te EBEAH’ın maketi üzerinde de ivmeölçerlerin konumlandırıldığı bölgeler işaretlenmiştir.



Şekil 3.14 EBEAH Ölçüm-1 sensör yerleşim krokisi



Şekil 3.15 EBEAH maketi üzerinde Ölçüm-1 sensör yerleşim krokisi

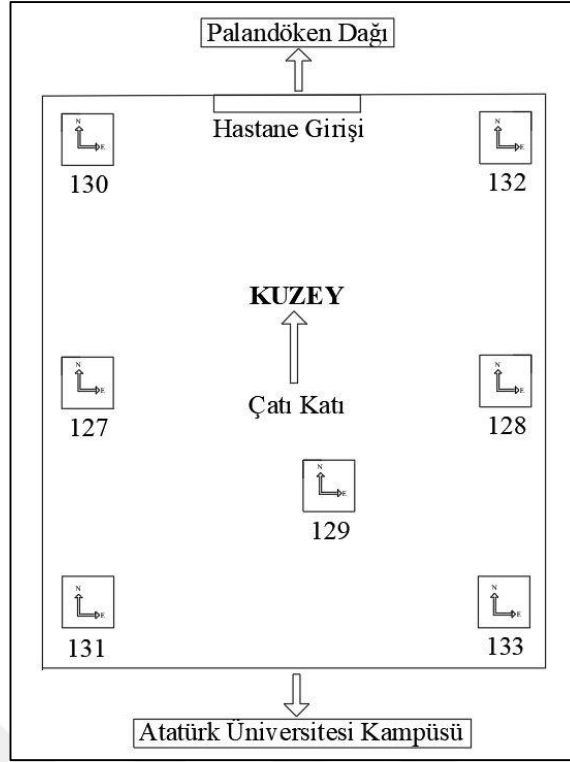
Bu ölçümde sadece yapının çatı katında işaretlenen noktalardan kayıt alınmıştır. İlk denemede bu noktalardan kayıt alınmasının sebebi; teras katına çıkış

sonrası noktaların tamamına erişim sağlanabilmesidir. Noktalara erişim kolaylığı avantajının sonraki ölçümlerde değerlendirilmesi amacıyla bu ölçüm krokisi çalışılmıştır. Zira, teras kenarlarında bulunan ve kule olarak adlandırılan noktalara erişim başka kapılar üzerinden ayrıca sağlanmaktadır.

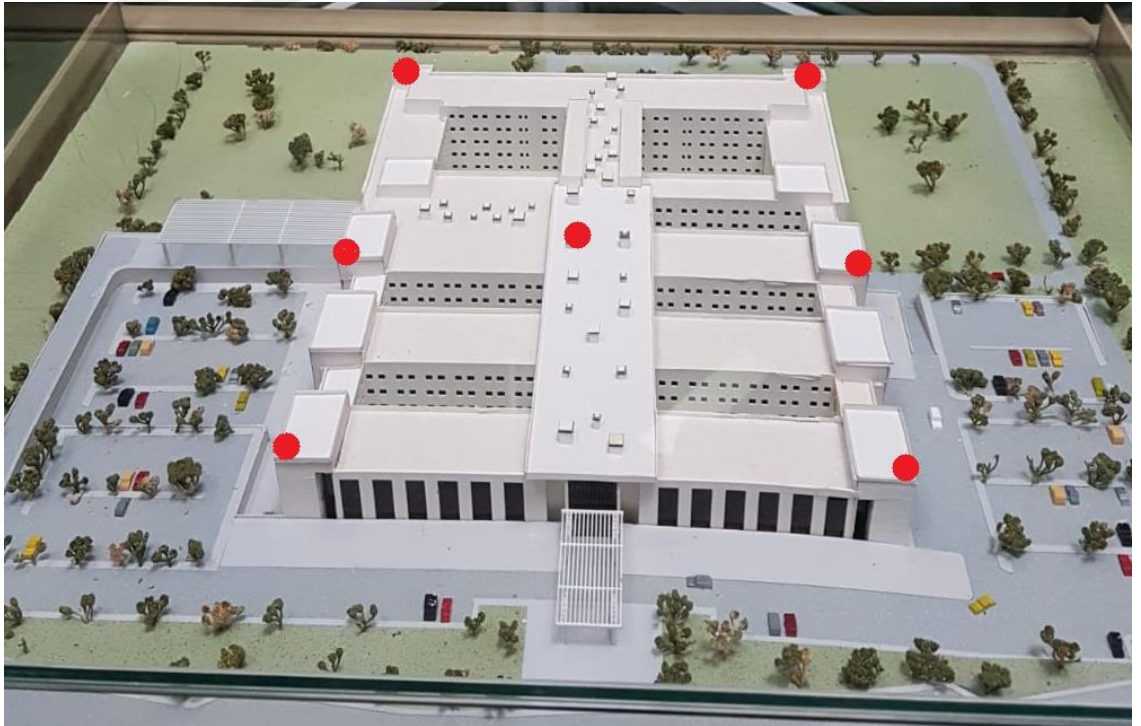
Ölçüm-1 verileri ARTeMIS Modal Pro yazılımı kullanılarak işlendiğinde alınan sonuçlar doğrultusunda ölçüm noktalarının güncelleştirilmesi gerektiği kanaatine varılmıştır. Yapı terasının orta kısmından alınan ölçümde yapı köşe noktalarının rijit davranışı gözlenmiş olup, bu doğrultuda sensör yerleşim noktalarının güncelleştirilerek yapının köşe noktalarından ölçüm alınmasının daha doğru sonuç vereceği düşünülmüştür. Yapının köşe noktalarından ölçüm alınması gerektiği kararlaştırılarak Ölçüm-2 olarak adlandırılan ölçüm düzeneğine geçilmiş ve ikinci OMA çalışması gerçekleştirilmiştir.

3.3.1.1.2. Ölçüm-2

18.02.2019 Pazartesi günü saat 10.30'da ölçüme başlanmış olup ölçüm anındaki hava sıcaklığı -1°C olarak tespit edilmiştir. Ölçüm-2 yalnızca teras katında titreşim kaydı uygulamasını içermekte olup Şekil 3.16' da sunulan görselde ivmeölçerlerin numaralandırılması ve yön kabulü belirtilmiştir. Bu yön kabulü doğrultusunda kullanılan tüm ivmeölçerler kuzey yönü Palandöken dağına bakacak şekilde konumlandırılarak ölçüm alınması sağlanmıştır. Şekil 3.17' de EBEAH'ın maketi üzerinde de ivmeölçerlerin konumlandırıldığı bölgeler işaretlenmiştir.



Şekil 3.16 EBEAH Ölçüm-2 sensör yerleşim krokisi



Şekil 3.17 EBEAH maketi üzerinde Ölçüm-2 sensör yerleşim krokisi

OMA yönteminde genellikle yapının uç kısımlarından ölçüm alınması önerilmektedir. Bu doğrultuda Şekil 3.18' de görüldüğü gibi köşelerde bulunan kulelere

3. MATERYAL ve YÖNTEM

çıkılmak suretiyle uç noktalara ivmeölçerler yerleştirilmiştir. Ölçüm-2 OMA uygulamasında sadece aynı çıkış kapısından erişim sağlanabilen noktalarda ve sadece teras katında titreşim kaydı alındığının bir kez daha ifade edilmesinde yarar görülmektedir.



Şekil 3.18 İvmeölçerlerin teras kuleleri üzerinde konumlandırılması

Belirli lokasyonlara yerleştirilen ivmeölçerle ortalama 45 dakikalık alınan ölçümlerden elde edilen kayıt dosyaları sahada yedeklenerek ofis ortamına taşınmıştır. Ofis ortamında veriler titizlikle işlenmiş olup ARTeMIS Modal Pro programına tanıtılacak formata getirilmiştir. Gerekli veri işlemleri yapıldıktan sonra modelleme aşamasına geçilmiştir.

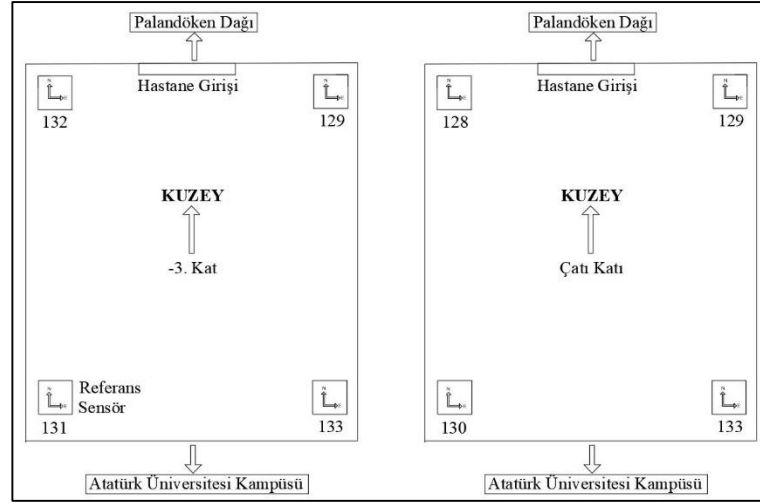
Modelleme aşamasında dikkat edilmesi gereken en önemli husus; ölçüm sahasında belirlenen yön kabulleri doğrultusuna modele veri aktarımını gerçekleştirmektir. Hatalı yön tanıtılması durumunda modellemeden alınan sonuçların doğru bir sonucu temsil etmeyeceği, *uygulamada defaten yapılan hatalar ile*, açıktır. Saha uygulamasında belirtilen yön kabulüne sadık kalarak model üzerinde veriler işlenmiştir.

Ölçüm-2 de alınan titreşim kayıtlarının çözümlenmesi ile, analiz sonucunda gözlemlenen davranış doğrultusunda yapı izolatörlü olmasına rağmen kütleli bir bütün şekilde davranış sergilemediği, bunun aksine ankastre mesnetli yapı davranışı sergilediği gözlemlenmiştir. Bu doğrultuda izolatörlerin hemen üstü olan otopark zemininden ölçüm alınması gerektiği kanaatine varılmıştır. Yapının izolatör katının hemen üstünde bulunan otopark katı ve çatı katının 4 köşe noktasından ölçüm alınması şeklinde yeni bir ölçüm düzeni için Ölçüm-3 adı altında yeni bir OMA çalışması yapılmıştır

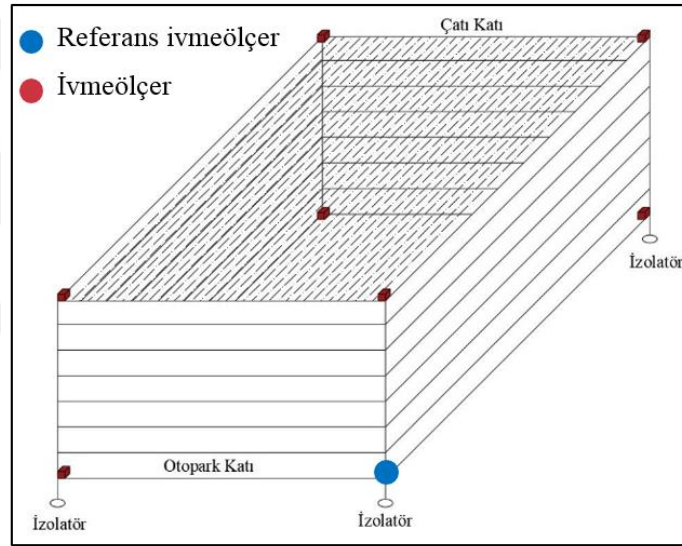
3.3.1.1.3. Ölçüm-3

25.03.2019 Pazartesi günü saat 10.00'da ölçüme başlanmış olup ölçüm anındaki hava sıcaklığı 0°C olarak tespit edilmiştir. Ölçüm - 3 uygulamasında yapının otopark ve teras katından titreşim kayıtları alınması ve bu şekilde modal davranış parametrelerinin deneysel olarak elde edilebileceği düşünülmüştür. Çatı ve teras katında, plan köşe noktalarında 4' er adet sensör olmak üzere toplam 8 adet sensör ile eş zamanlı kayıt alınması gündeme gelmiştir. Ancak, proje ekibinin elinde toplam 7 sensör olması ve bu sensörlerden birinin batarya sorunu yaşaması nedeniyle yapı geneli ölçümün tek seferde alınması imkânı ortada kalmıştır. Bu durumda, **yüzer sensör-referans sensör** yöntemi ile ölçüm alınmasına karar verilmiştir.

Yüzer sensör-referans sensör yönteminde, ilgili kat genelinde ölçüm alındıktan sonra bu katta seçilen 1 noktadaki sensör konumunu muhafaza ederek üst katta belirlenen noktalara cihaz yerleşimi yapılır. Referans sensör adı verilen bu ivmeölçer ikinci kat ile eş zamanlı olarak ölçüm alır. Metne konu olan saha çalışmasında, otopark katında ölçüme başlanmış ve birinci set olarak adlandırılan veri kaydının ardından, cihazlardan birisi bu katta bırakılarak teras katının 4 köşe noktasına ivmeölçer yerleştirilerek ikinci set ölçüm alınmıştır. Bu durumda, birinci set ölçüm 4, ikinci set ölçüm 5 sensör ile veri kaydı yapılmıştır. Ölçüm – 3 için takip edilen sensör yerleşim krokisi Şekil 3.19' da sunulmaktadır. Hem otoparkta hem de çatı katında Şekil 3.20' de görseli verilen şekilde 45'er dakikalık ölçüm kaydı alınmıştır. Ölçüm süreleri her iki set için de aynı olup, ölçümler öğle trafiğinin yoğun olduğu saatlerde alınmıştır. Ölçüm süresi tüm OMA uygulamaları için aynı tutulmuştur.



Şekil 3.19 EBEAH Ölçüm-3 sensör yerleşim krokisi



Şekil 3.20 Hacimsel model üzerinde Ölçüm-3 sensör yerleşim krokisi

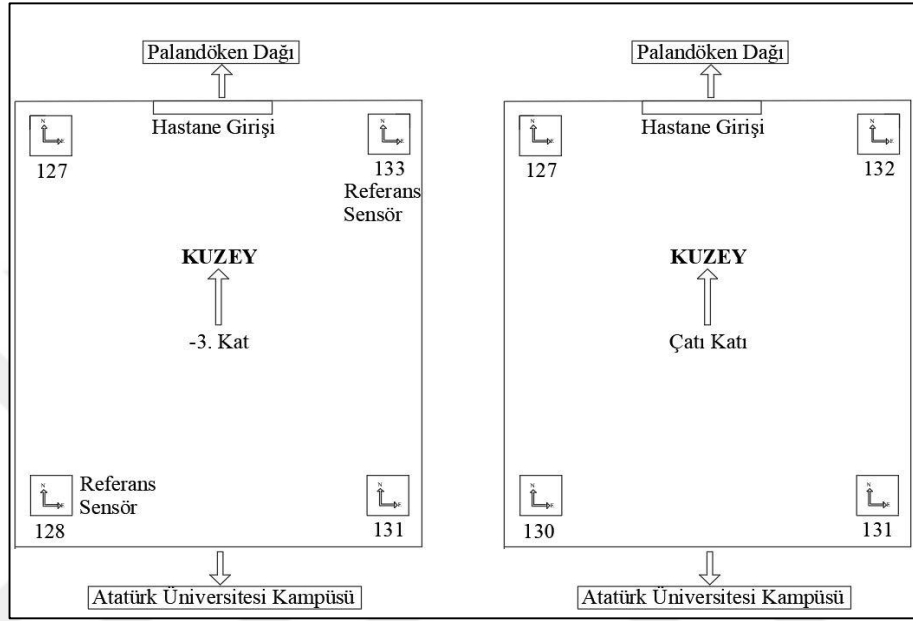
İzolatörlerin sıcaklık değişimine bağlı modal davranışı ve periyot değerlerindeki değişimin tespit edilmesi açısından 0°C ' de alınan ölçüm $+10^{\circ}\text{C}$ ' de ölçüm krokisi (Ölçüm-4) aynı olacak şekilde tekrarlanmıştır.

3.3.1.1.4. Ölçüm-4

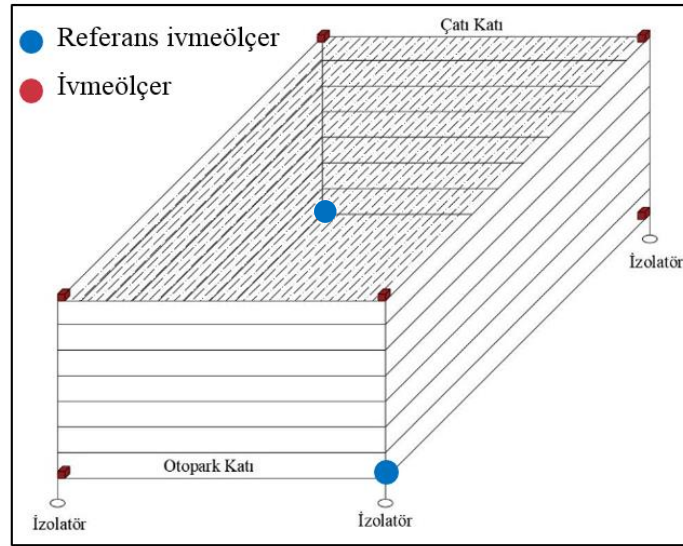
0°C 'de sıcaklık koşullarında gerçekleştirilen Ölçüm-3 OMA uygulamasının ardından havaların ısınması beklenerek 06.05.2019 Pazartesi günü 10°C 'de ölçüm alınmıştır. Ölçüm yöntemi olarak Ölçüm-3 uygulaması yöntemi kullanılmış olup

3. MATERYAL ve YÖNTEM

otopark ve çatı katından 45'er dakikalık ölçümler alınmıştır. Referans olarak otopark katında 2 sensör ile ölçüm alınmıştır. Zemine montajının sağlanması için hızlı donan alçı kullanılarak ivmeölçer ve zemin arasında boşluksuz bağlantı sağlanmıştır. Ölçüm sırasında cihazların yerleşim krokisi Şekil 3.21' de sunulmuştur. Hem otoparkta hem de çatı katında Şekil 3.22' de görseli verilen şekilde ölçüm kaydı alınmıştır.



Şekil 3.21 EBEAH Ölçüm-4 sensör yerleşim krokisi



Şekil 3.22 Hacimsel model üzerinde Ölçüm-4 sensör yerleşim krokisi

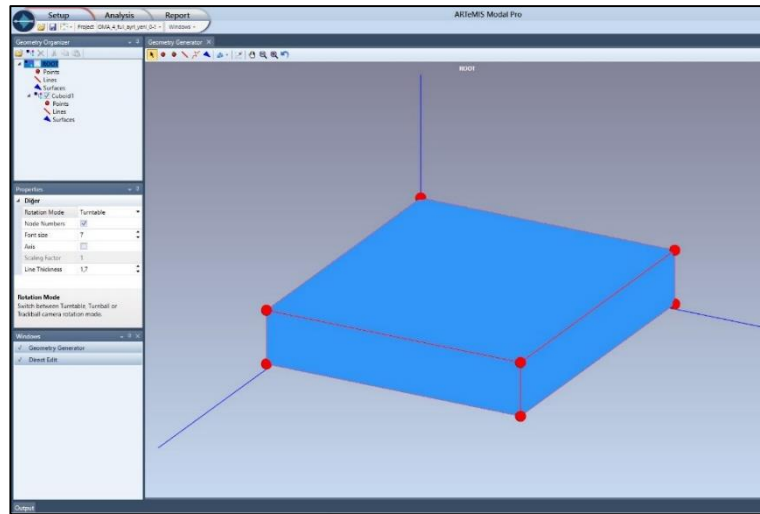
3.3.1.2. ARTEMIS Modal Pro Yazılımı Kullanılarak Titreşim Kaydı İşleme ve Analiz Çalışmaları

Yapı üzerinden alınan ivme kaydı şeklinde alınan titreşim ölçümleri ARTEMIS Modal Pro programında çözümlenerek OMA ürünü olan modal davranış parametreleri elde edilmiştir. ARTEMIS Modal Pro yazılımı, deneysel modal analiz çalışmalarında veri işleme ve çözümlenme amacıyla kullanılan bir paket programdır. Yazılım, Erzurum Teknik Üniversitesi adına kilit aparat (dongle) kullanımını dahilinde tek kullanıcı olarak lisanslıdır (Artemis Modal Pro, 2019).

Yapı üzerinden amaca uygun yöntem ve sensörle titreşim kaydı alınması oldukça önemlidir. Bu çalışmada, ivme ölçümü formatında yapısal doğal titreşim kayıtları toplanmıştır. Elde edilen veri kullanılarak modal davranış parametrelerinin elde edilmesine ilişkin çalışmalar takip eden bölümde detaylandırılmıştır.

3.3.1.2.1. Model Geometrisinin Oluşturulması

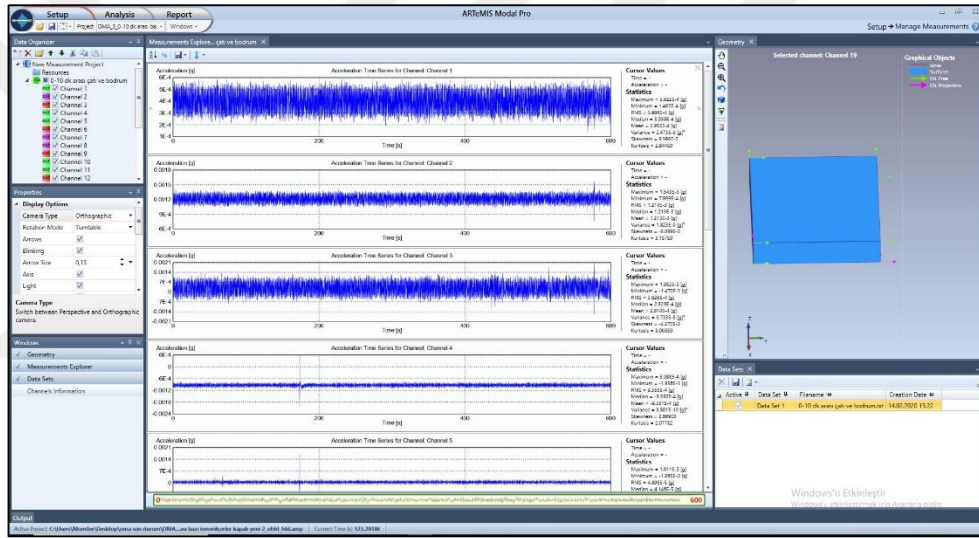
ARTEMIS Modal Pro yazılımında gerçekleştirilen çalışmanın birinci aşamasında yapı geometrisine uygun olarak yapının gerçek boyutlarına oranla analize esas model oluşturulmuştur. Model oluşturma çalışmasına ilişkin genel bir görüntü Şekil 3.23’ te sunulmaktadır.



Şekil 3.23 Artemis Modal Pro yazılımında analize esas modelin oluşturulması

3.3.1.2.2. İvme Kayıtlarının Yazılıma Tanıtılması

Bu aşamada yapıdan alınan kayıtların ARTeMIS Modal Pro yazılımına uygun formata dönüştürülerek yazılıma tanıtılmıştır. Bu işlem içinde ölçüm aralığı, ölçüm birimi gibi parametreler dikkatle işlenmiştir ve kontrol edilerek diğer aşamaya geçilmiştir. Bu çalışmada kullanılan ivmeölçerlerin aldığı data 'g' biriminde ve 100 Hz ölçüm aralığı ile kayıt alacak şekilde ayarlanmıştır. Bu çalışma kapsamında alınan kayıtlar ile ölçüm aralıkları olarak 0-10 dk, 10-20 dk, 20-30 dk ve bütün veriler içeren formatta hazırlanmış ve hepsini ayrı ayrı işlenerek incelemeler yapılmıştır. Kayıt dosyalarının işlenmesine ilişkin genel bir görüntü Şekil 3.24' te sunulmaktadır.

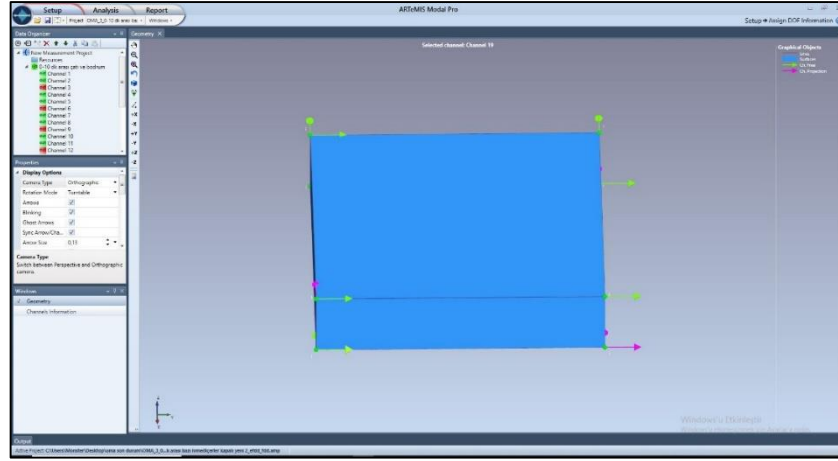


Şekil 3.24 Veri kayıt dosyalarının işlenmesi çalışmasına ilişkin bir görüntü

3.3.1.2.3. İvme Kayıtlarının Modele Uygulanması ve Analize Hazır Hale Getirilmesi

Bu aşamada, titreşim kaydı alınan noktalara ölçüm yönüne sadık kalınmak şartıyla titreşim kayıtları tanıtılmıştır. Bu işlem her ölçüm için ayrı ayrı yapılmış ve her bir ölçüm ile model ayrı ayrı analiz edilecek şekilde çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmaya ilişkin bir ekran görüntüsü Şekil 3.25' te sunulmaktadır.

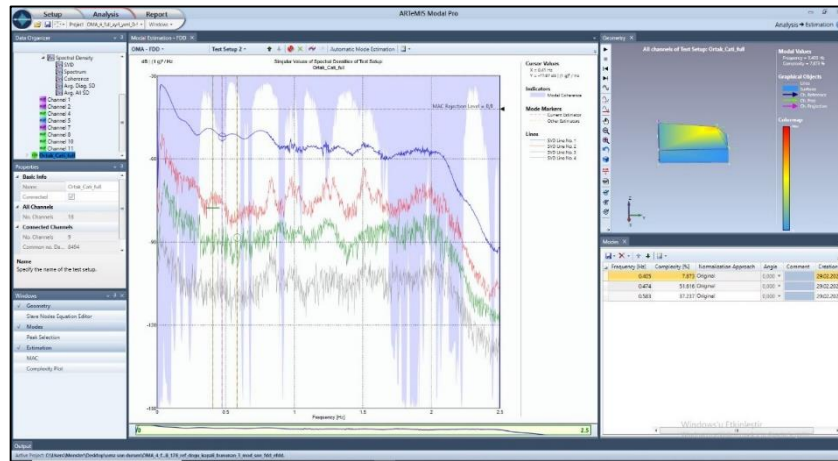
3. MATERYAL ve YÖNTEM



Şekil 3.25 Veri kayıt dosyalarının modele uygulanması çalışmasına ilişkin bir görüntü

3.3.1.2.4. Analiz Neticesinde Mod Şekilleri ve Modal Frekansların Elde Edilmesi

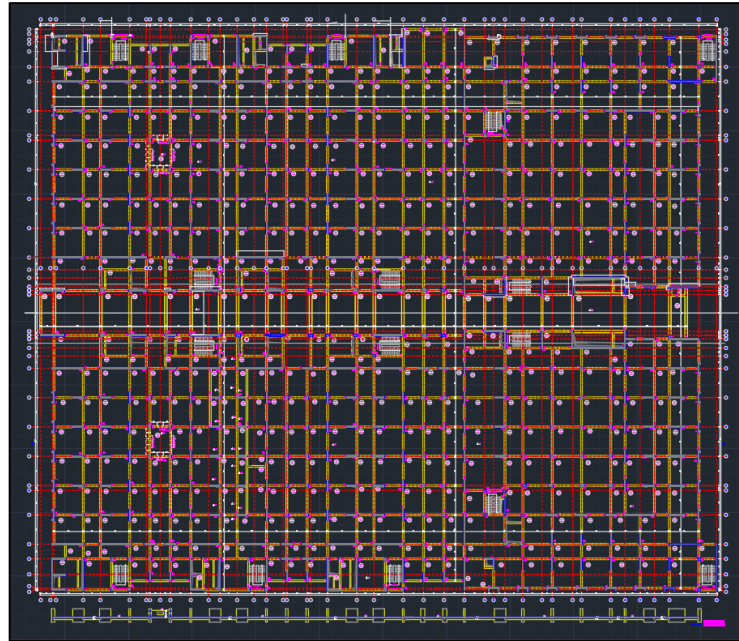
Bu aşamada veri tanıtımı yapılmış ve model üzerinde analiz çalışması yapılarak modal davranış parametreleri elde edilmeye çalışılmıştır. Yapının teorik frekans değerleri dikkate alınarak; 0-5 Hz aralığında spektral yoğunluk fonksiyonları hesaplanmıştır. Öncelikle Frekans Alanında Çözümleme (Frequency Domain Decomposition – FDD) tekniği kullanılarak, otomatik olarak mod şekli belirleme çalışması yapılmıştır. FDD tekniği ile yapılan analiz çalışmasında sönüm değerlerinin elde edilmesi söz konusu değildir. Bu nedenle, ikinci yöntem olan Geliştirilmiş Frekans Alanında Çözümleme (Enhanced Frequency Domain Decomposition – EFDD) tekniği kullanılarak ikinci bir analiz yapılmış ve sönüm oranları tespit edilmeye çalışılmıştır. Çalışmaya ilişkin genel bir görüntü Şekil 3.26’ da sunulmaktadır.



Şekil 3.26 Deneysel modal davranış parametrelerinin elde edilmesine ilişkin bir görüntü

3.4. SAP2000 Programında Yapının Sonlu Elemanlar Modelinin Oluşturulması

EBEAH yapısının mimari ve statik projeleri ile muhtelif hesaplama raporları yetkili mercilerden temin edilmiştir (Şekil 3.27). Temin edilen bu statik projeye uygun şekilde SAP2000 yapısal analiz programında yapı modeli oluşturulmuştur (SAP2000 V.16, 2016). Proje kapsamında beton sınıfı C30/37 olarak belirlenmiş olup tüm yapısal elemanlarda modelleme aşamasında Avrupa Standartları'ndan bu beton sınıfı seçilerek elastik modülü TS500'e uygun olarak girilmiştir. Hastanede toplam 386 adet 4 tip LRB (323 adet) ve tek tip NRB (63 adet) izolatör kullanılmıştır. Perdeler SAP2000 programında 'shell eleman' olarak modellenmiş olup kiriş, döşeme ve izolatör bağlantısı için kullanılan kolonların bağlantılarını sağlamak amacıyla düşeyde beş yatayda ise genel olarak uzunlukları birbiriyle orantılı olacak şekilde 'divide' komutu ile eş parçalara bölünmüştür. Çubuk eleman olarak tanımlanan kolonların, projede belirtilen aks konumlarına getirilmesi için 'insertion point' komutu ile aksel olarak yerleşimi tamamlanmıştır. Belirtilen işlemler kirişler içinde uygulanmıştır. Yapının mimari projesi temin edilememiş, dolayısıyla duvarların konumlandırılması hakkında herhangi bir bilgiye sahip olmadığımız için oluşturulan sap modelinde duvarlar için ortalama bir yük hesaplanarak döşemelere girilmiştir. Ancak ankastre modelde de yapıya katacağı rijitlik ihmal edilmiştir.



Şekil 3.27 Erzurum Bölge Eğitim ve Araştırma Hastanesi statik projesi

3. MATERYAL ve YÖNTEM

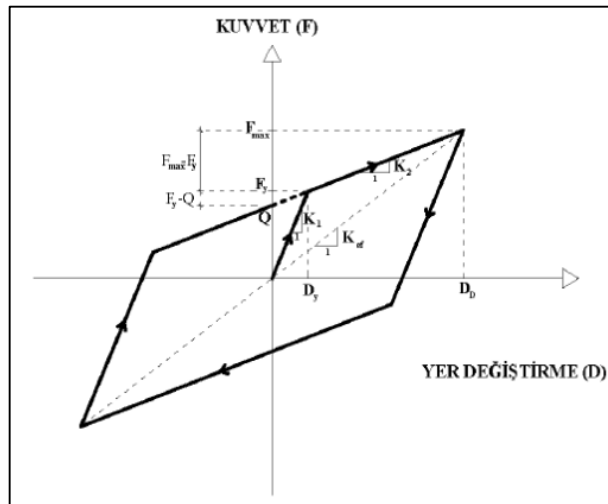
Modelde oluşturulan döşemeler, projeye bağlı kalınacak şekilde çeşitli kalınlıklarda “Shell” eleman olarak modellenmiştir. Modellenen döşemelere duvar yükü olarak 2,5 kN/m ve TS 498’in uygun gördüğü 5 kN/m hareketli yük tanımlanmıştır.

Yapı modeli iki farklı mesnet türünde yapılmış olup; bunların ilki yapı ankastre mesnetli olarak, ikincisi ise sismik yalıtımlı mesnet uygulanarak modellenmiştir.

Hastanede kullanılan izolatörlerin SAP2000 programında ihtiyacımız olan bilgiler yetkili mercilerden alınan raporlardan alınmış ve bu veriler Çizelge 3.4’ te verilmiştir. Tabloda belirtilen değerlerin Şekil 3.28’ de genel bir histerik eğri üzerinde gösterilmiştir (Dynamic Isolation Systems, INC., 2005).

Çizelge 3.4 EBEAH’ta kullanılan izolatörlerin karakteristik özellikleri

	LRB800	LRB900	LRB1000	LRB1100	NRB800
K_v (kN/mm)	2557	3553	4235	5531	2709
K_{eff} (kN/mm)	2,39	3,06	2,69	4,42	1,58
K_{ds1} (kN/mm)	1,43	1,78	2,14	2,58	1,52
F_y (kN)	560	747	903	1075	33
K_2/K_1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2



Şekil 3.28 Histerisiz eğrisi

SAP2000’ de izolatörlü yapı modellemesi için “*Define*” menüsünden “*Link/Support Properties...*” menüsü seçilir. Burada kullanılacak olan izolatörlerin tipi, davranış şekilleri ve karakteristik özellikleri programa tanıtılır. SAP2000 programına izolatörler tanıtıldıktan sonra “*Draw*” menüsünden “*Draw 1 Joint Link*” seçilerek izolatörlerin proje konumlandırılmış olduğu akslara izolatörlerin tiplerine dikkat edilip tek tek konumlandırılarak modelleme tamamlanmış olur.

Teorik modal analiz yapılan iki model üzerinden elde edilen sonuçlar ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA bölümünde detaylı olarak sunulmuştur.

3.5. Sismik İzolatör Katı Sıcaklık Ölçüm Çalışmaları

Kauçuk, diğer tür malzemeler ile kıyaslandığında düşük Young Modülü ve yüksek akma gerilimine sahip olup son 30 yılda en çok tercih edilen malzemedir. Oda sıcaklığında (25°C) belirli bir kuvvet uygulandığında ilk boyunun en az iki katı kadar uzayabilir ve kuvvet ortadan kalktığında hemen eski haline dönebilen elastomer malzemedir.

Elastomer malzemelerin rijitliği sıcaklık ile ters orantılıdır. Elastomer soğutuldukça rijitliği artar. Sıcaklığın -40°C’ nin altına düşmesi durumunda doğal kauçuğun rijitlik artışı binlerce katını bulabilir. Elastomerlerin maruz kaldığı sıcaklık, bu sıcaklığa maruz kalma süresi, yükleme hızı ve uygulanan gerilmelere bağlı olarak düşük sıcaklıklarda davranışında değişiklik göstermektedir. Düşük sıcaklıklarda gözlenen bu davranışın tamamen tersinir olduğu bilinmektedir. Yani sıcaklık artışı sonucunda kauçuk eski mekanik özelliğini geri kazanır (Pınarbaşı ve Akyüz, 2005).

Tez kapsamında incelenen EBEAH’ın kauçuk izolatörleri elastomer malzemeden üretilmiştir. Hastanenin coğrafi konumu gereği kullanılan izolatörler -40°C ve +40°C arasındaki sıcaklık değişimine maruz kalırlar. Elastomer malzemenin özelliği gereği maruz kaldığı sıcaklık değişimlerinden ötürü rijitlik karakteristiklerinde farklılıklar gözlenebilir. Bu yüzden izolatörlerin test edildiği sıcaklık aralığı önem arz etmektedir. Yapılan araştırmalar doğrultusunda +25°C ile -30°C arasında rijitlik değişimi çalışması yapılmıştır (Billah ve Todorov, 2019).

3. MATERYAL ve YÖNTEM

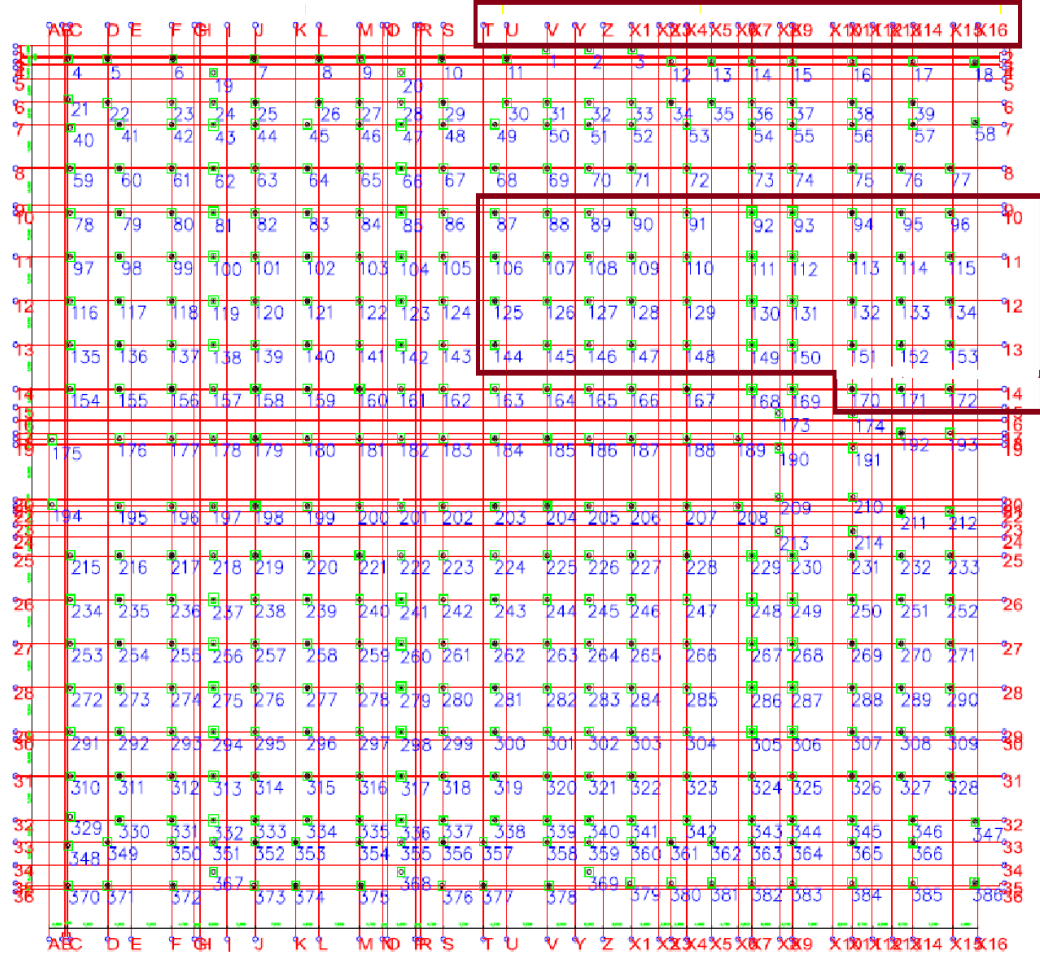
İzolatörlerin çalışma sıcaklığı proje dökümanında 10°C olarak verilmiştir. Yani izolatör katı sıcaklığı 10°C olacak şekilde izolatör tasarımı ve imalatı yapılmıştır. Ancak, kat sıcaklığının bu değerden farklı olması ve doğal olarak izolatör kauçuk malzeme sıcaklığının değişebilecek olması önemli bir durumdur. Öyle ki; EBEAH yapısı izolatör katında herhangi bir iklimlendirme uygulaması olmadığı yerinde tespit edilmiştir. Bu durumda, OMA uygulamaları ile global davranışın incelenmesine ek olarak; farklı atmosferik sıcaklıklarda izolatör katındaki ortam ve kauçuk sıcaklıklarının ölçülerek değerlendirilmesi gerekli görülen bir çalışma olmuştur. Uygulamada EBEAH'da kullanılan izolatörlerden ve izolatör katından muhtelif aralıklarla sıcaklık ölçümleri alınmıştır. Ölçümler dış ortam sıcaklığının 2019-Aralık ayında -3°C ve 2020-Ocak ayı içerisinde -8°C olduğu günlerde gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.29' da görüldüğü gibi izolatör katından geçirilen atık su borularından dolayı izolatörlerin tamamına erişim sağlanamamıştır.



Şekil 3.29 İzolatör katı su boruları

Şekil 3.29' da görülen su boruları izolatör katı boyunca çeşitli çaplarda ve çeşitli yüksekliklerde montajı yapılmış olup izolatörlerin tamamına erişimi kısıtlamaktadır. Bu yüzden izolatörlere kolay erişim bölgesi içi keşif yapılmış ve bu keşif doğrultusunda erişilebilen izolatörlerden sıcaklık ölçümü alınmıştır. İzolatör katında erişilebilen izolatör sayısı toplamda 43 izolatör olup Şekil 3.30' da görüldüğü gibi projede düşeyde T-X16 aksı arasında, yatayda 9-14 aksı arasında kalan bölgeyi kapsamaktadır. Ölçüm alınan bölgede 8 adet NRB, 2 adet LRB800, 1 adet LRB1000 ve 42 adet LRB900 tipi izolatör bulunmaktadır. İzolatörlerin tamamına erişim sağlanamadığı için ölçüm alınan bölgede elde edilen sonuçlar tüm izolatörlere yaklaşık olarak dağıtılarak sıcaklık dağılım şeması oluşturulmuştur. Bu işlem Aralık ve Ocak ayı için ayrı oluşturulmuştur.

3. MATERYAL ve YÖNTEM



Şekil 3.30 Sıcaklık ölçümü yapılabilen izolatör bölgesi

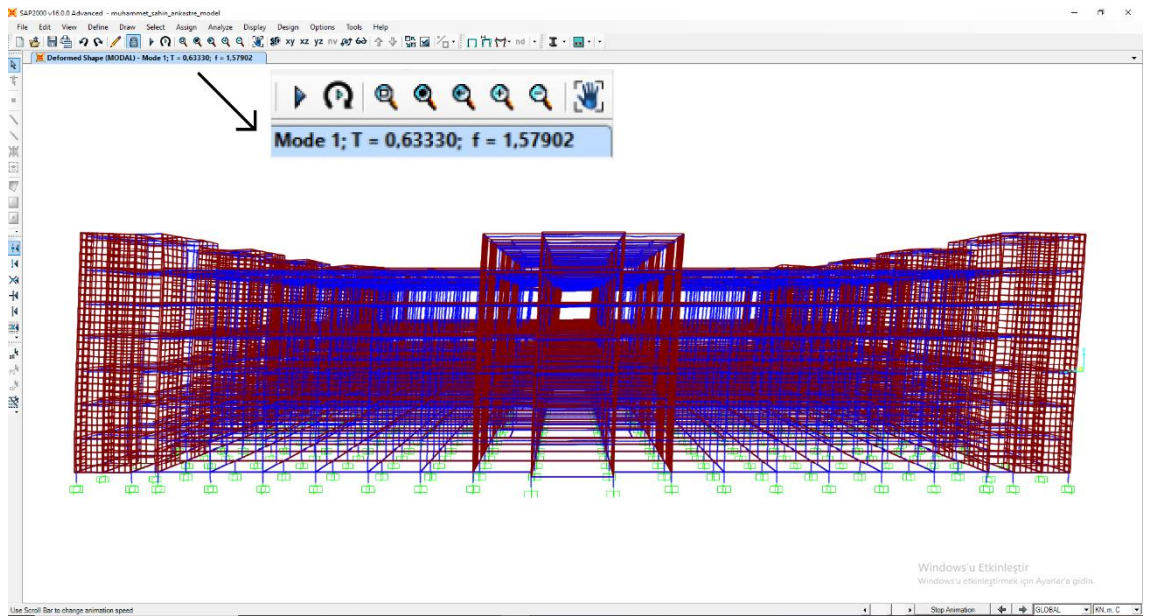
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. Yapısal Modelleme ve Teorik Modal Analiz Sonuçları

Bu bölümde Erzurum Bölge Eğitim ve Araştırma Hastanesi'nin hem ankastre mesnetli hem de sismik yalıtımlı modeli SAP2000 programında modellenmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

4.1.1. Ankastre Mesnetli Yapı Modeli

Oluşturulan modelde yapısal elemanlar tanımlandıktan sonra modellemenin ilk aşaması olarak ankastre mesnet tanımlanmış ve çözümleme yapılmıştır. Bahsi geçen hastane binası proje aşamasında ilk olarak ankastre mesnetli tasarlanmış ve taşıyıcı elemanlar bu doğrultuda boyutlandırılmış olup yapısal çözümlemesi yapılmıştır. Yapılan çözümleme raporu yetkili mercilerden temin edilerek elde edilen sonuçlar incelenmiş ve ankastre mesnetli tasarımda yapı periyodu 0,7 sn' ye yakın olarak belirtilmiştir (Erdik ve Mowrtage, 2005). Tez kapsamında ankastre mesnet tanımlanarak oluşturulan modelde yapısal çözümleme yapılmış ve yapının ilk periyodu 0,63 sn olarak hesaplanmış ve Şekil 4.1' de çözümlenen modellenin birinci moduna ilişkin ekran görseli sunulmuştur.

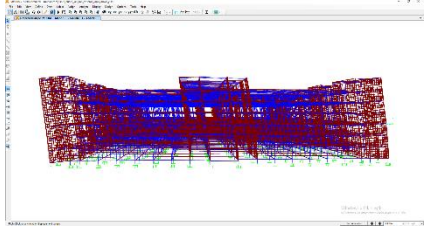
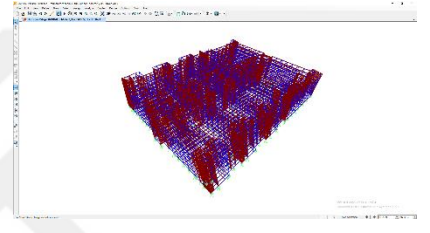
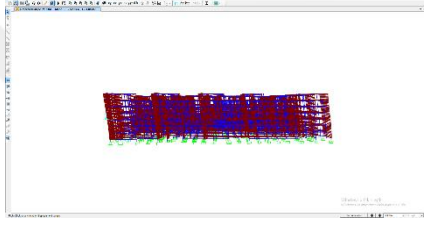


Şekil 4.1 Ankastre mesnetli model 1.Mod görseli

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Yapısal çözümlemesi yapılan modelin Çizelge 4.1’ de periyot(sn), frekans(Hz), modal davranış ve mod şekli detaylı olarak sunulmuştur.

Çizelge 4.1 Ankastre mesnetli model teorik modal analiz sonuçları

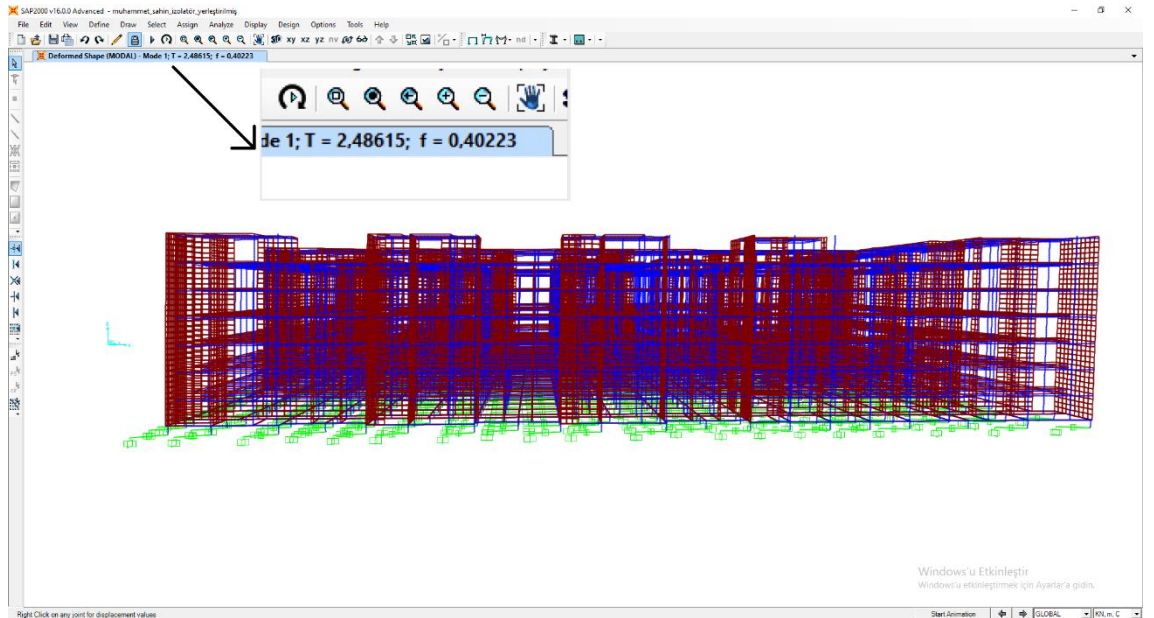
Mod	Periyot (sn)	Frekans (Hz)	Modal Davranış	Mod Şekli
1	0,642	1,557	Y Doğrultusunda Yatay Öteleme	
2	0,617	1,621	Z Doğrultusunda Burulma	
3	0,542	1,845	X Doğrultusunda Yatay Öteleme	

Çizelge 4.1’ de görüldüğü üzere beklenen modal davranış gözlenmiş olup, ilk mod periyodu 0,642 sn ve Y doğrultusunda yani kısa doğrultuda öteleme hareketi yaptığı görülmektedir. İlk modu takip eden ikinci modal davranış ise düşey ekseninde burulma olarak gözlenmiş, üçüncü mod ise X doğrultusunda yani uzun doğrultuda yatay öteleme hareketi hesaplanmıştır.

4.1.2. Sismik İzolatörlü Yapı Modeli

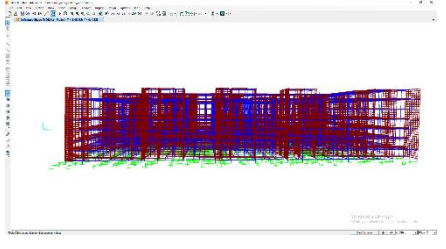
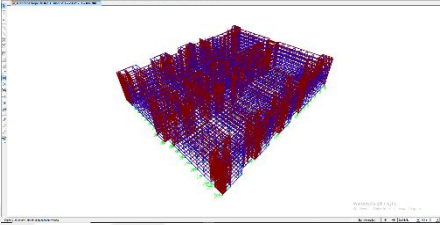
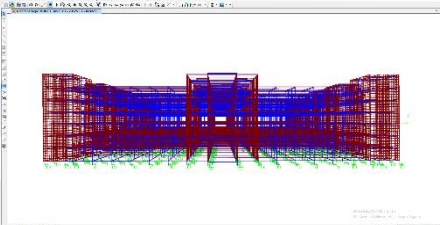
Modellemenin ikinci aşaması olarak yapılan model, izolatörlü olarak tanımlanarak çözümlenmiştir. Yapıda kullanılan izolatörlerin karakteristik değerleri Çizelge 4.2’ de sunulmuş olup bu değerler modele entegre edilerek model tamamlanmış ve çözümlenmiştir.

Çizelge 3.4’ te sunulan izolatör mekanik özellikleri kullanılarak SAP2000 ortamında oluşturulan modelde her bir düşey taşıyıcının altına bağlantı elemanı (*one joint link*) olarak projeye uygun şekilde izolatör tanımlaması yapılmıştır. Yerleştirilen izolatörlere rijitlik değerleri tanımlanarak çözümlenmiştir. İzolatörlerin tasarımları mevcut binanın periyodu 2,5 sn olacak şekilde tasarlanarak çözümlenmiştir (Erdik ve Mowrtage, 2005). SAP2000 ortamında yapılan modelin çözümlenme sonucu elde edilen periyot, frekans, modal davranış ve mod şekli Çizelge 4.2’ de sunulmuş ve ayrıca Şekil 4.2’ de çözümlenen modelin Mod-1 değeri de sunulmuştur. Tez çalışması kapsamında oluşturulan sismik izolatörlü model üzerinde birinci periyot değeri 2.486 saniye olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.2 EBEAH kauçuk izolatörlü model 1.Mod görseli

Çizelge 4.2 EBEAH kauçuk izolatörlü model sonuçları

Mod	Periyot (sn)	Frekans (Hz)	Modal Davranış	Mod Şekli
1	2,486	0,402	X Doğrultusunda Yatay Öteleme	
2	2,452	0,407	Z Doğrultusunda Yatay Burulma	
3	2,402	0,416	Y Doğrultusunda Yatay Öteleme	

Çizelge 4.2’ de görüldüğü üzere beklenen modal davranış gözlenmiş olup, ilk mod periyodu 2,486 sn ve X doğrultusunda yani uzun doğrultuda öteleme hareketi yaptığı görülmektedir. İlk modu takip eden ikinci modal davranış ise düşey eksen etrafında yatay burulma olarak gözlenmiş, üçüncü mod ise Y doğrultusunda yani kısa doğrultuda yatay öteleme hareketi hesaplanmıştır. Sismik izolatörlü model teorik modal analiz sonuçlarının statik proje dokümanlarında belirtilen sonuçlarla uyumlu olduğu ifade edilebilmektedir.

4.1.3. İzolatör Katı Sıcaklık Ölçüm Sonuçları

Erzurum Bölge Eğitim ve Araştırma Hastanesi yapısına ait proje raporlarında izolatörlerin optimum çalışma sıcaklığı $20\pm 5^{\circ}\text{C}$ olarak belirlenmiştir. İzolatörlerin prototip ve üretim aşaması deneyleri IBC (2003) şartnamesinin maddeleri kapsamında University of California at San Diego laboratuvarlarında test edilmiştir. İzolatörlerin karakteristik değerleri yaşlanma ve soğuk ortam koşullarına karşı kapasitesi %12 arttırılmıştır (Erdik, 2007).

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

İzolatör katında Aralık ve Ocak ayı içerisinde alınan sıcaklık ölçümleri, optimum çalışma sıcaklığı 20°C olan izolatörlerin ölçülen sıcaklıklarının, genellikle 10°C' nin altında seyrettiği gözlemlenmiştir. Deprem anında binanın rahatça yer değiştirmesini sağlamak için yapı etrafında Şekil 4.3' te görüldüğü gibi boşluk bırakılmıştır. Fakat bırakılan bu boşluktan dolayı izolatör katında dış ortama yakın izolatörlerden alınan sıcaklık kayıtlarının sıfırın altında olduğu tespit edilmiştir. İzolatörler bu soğuk havaya karşı taş yünü ile sarılmasıyla yalıtım sağlanmaya çalışılmış fakat alınan önlem izolatörlerin sıcaklığına fazla etki etmediği alınan sıcaklık ölçümleri ile belirlenmiştir. Alınan sıcaklık ölçüm kayıtları Aralık ayı için Ek-1'de, Ocak ayı için ise Ek-2'de sunulmuş ve sıcaklık ölçümüne dair detay görseller Ek-3' te sunulmuştur. Ölçüm alınan alan içerisinde toplam 43 adet LRB ve NRB tipi izolatörler bulunmaktadır. Bu izolatörlerin bir tanesi (148 Numaralı izolatör) hariç geri kalan tüm izolatörler taş yünü ile sargılanarak Şekil 4.4' te gösterildiği gibi yalıtım sağlanması amaçlanmıştır.



Şekil 4.3 EBEAH yapısı çevresinde müsaade edilen deplasman boşluğu



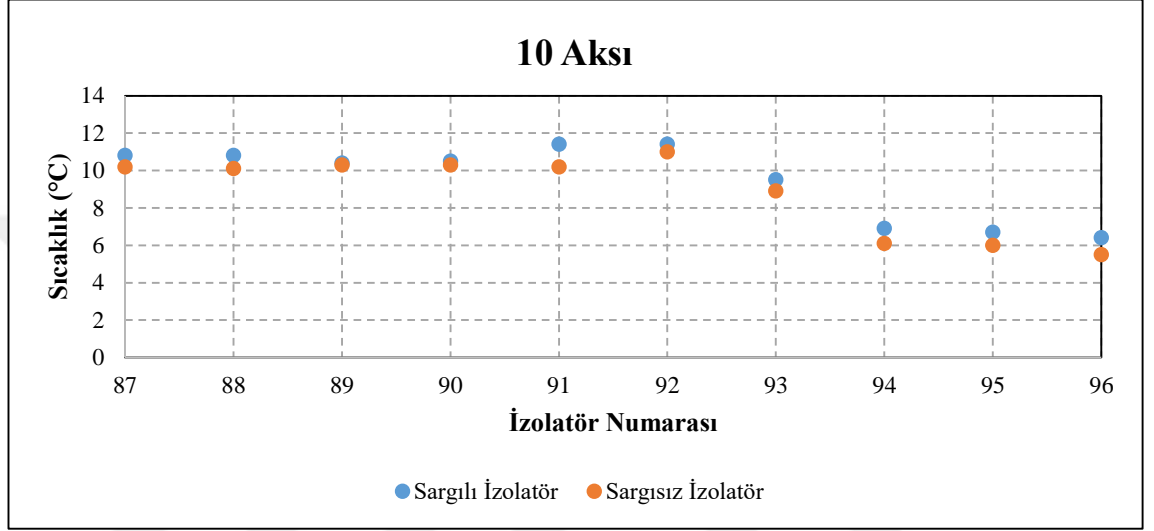
(a)

(b)

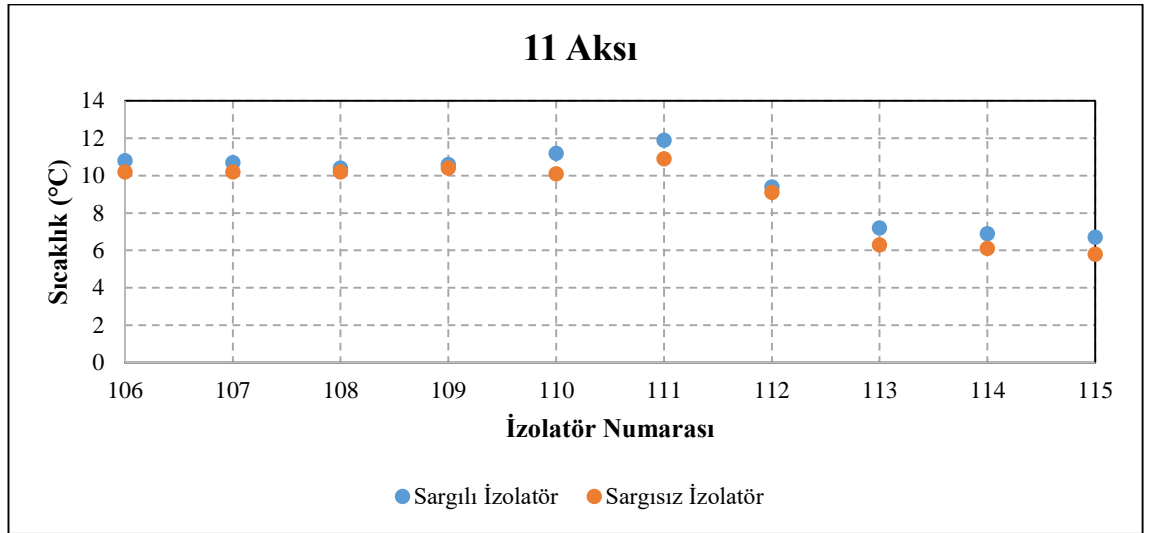
Şekil 4.4 (a) Sargısız izolatör, (b) Sargılı izolatör

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

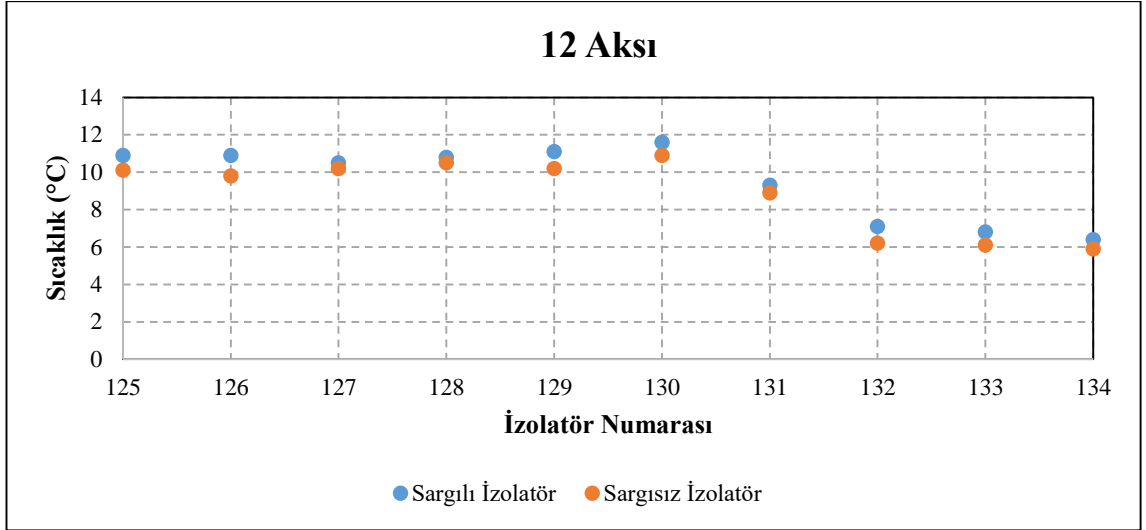
Aralık ayı için alınan ölçümler Şekil 4.5' te projede bulunan akslara göre grafiğe işlenmiştir. Grafikte gösterilen sargılı izolator sıcaklık kaydı Şekil 4.4' te görüldüğü gibi ölçüm alınmıştır. Daha sonra izolator üzerinden sargısının belirli bir kısmı açılarak sargısız biçimde ölçüm alınmıştır. Bunun temel amacı sargının izolator yüzeyinde oluşturduğu sıcaklık değişimini gözlemlemektir. Bu ölçüm yöntemi tüm izolatorlerde uygulanmıştır.



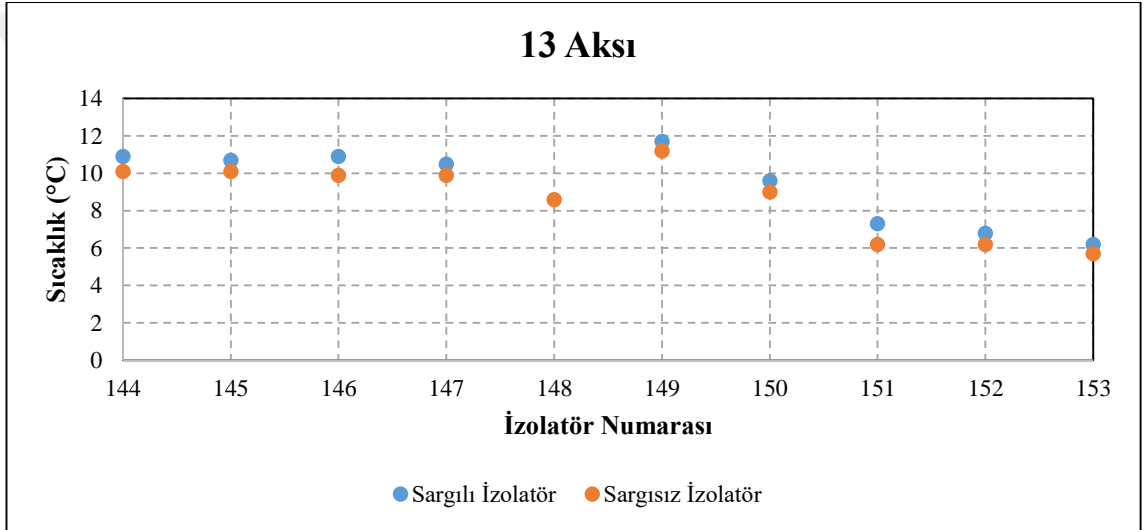
(a)



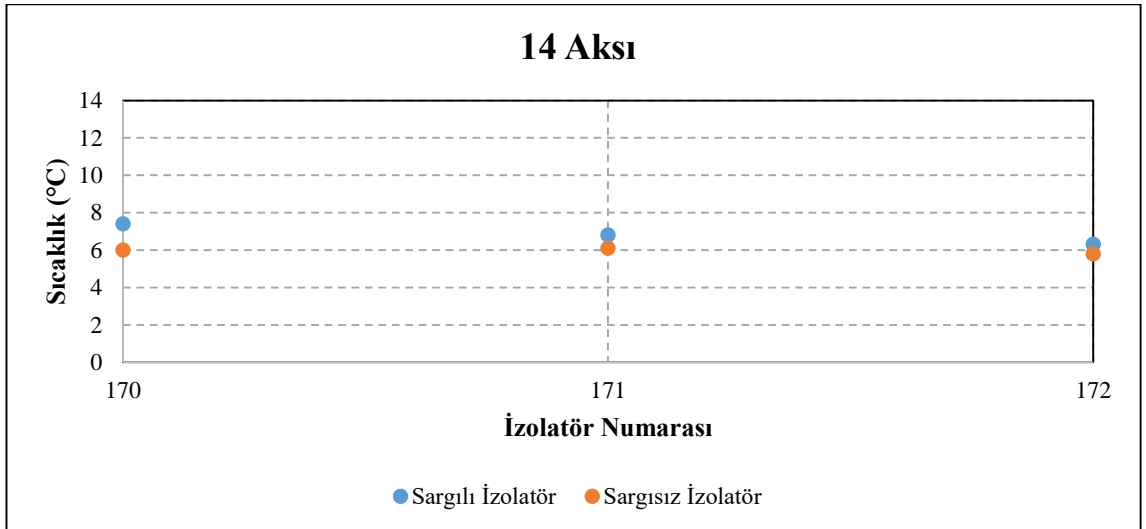
(b)



(c)



(d)

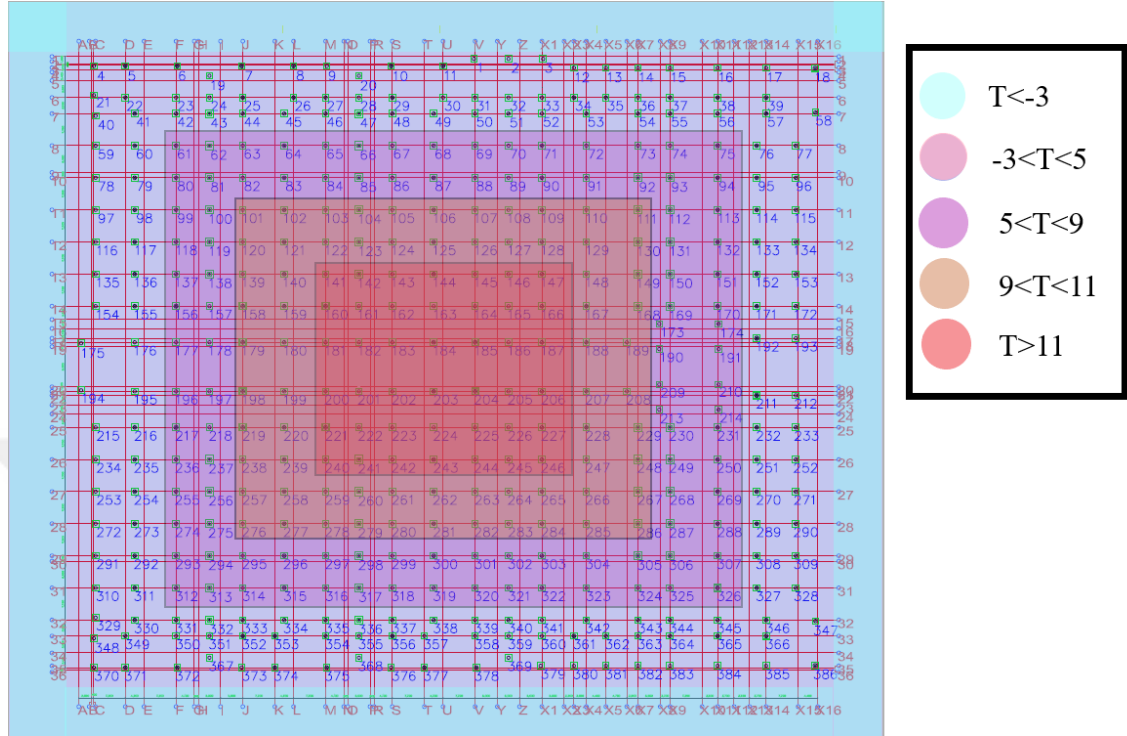


(e)

Şekil 4.5 (a),(b),(c),(d),(e) Aralık ayı sıcaklık ölçüm kayıtları.

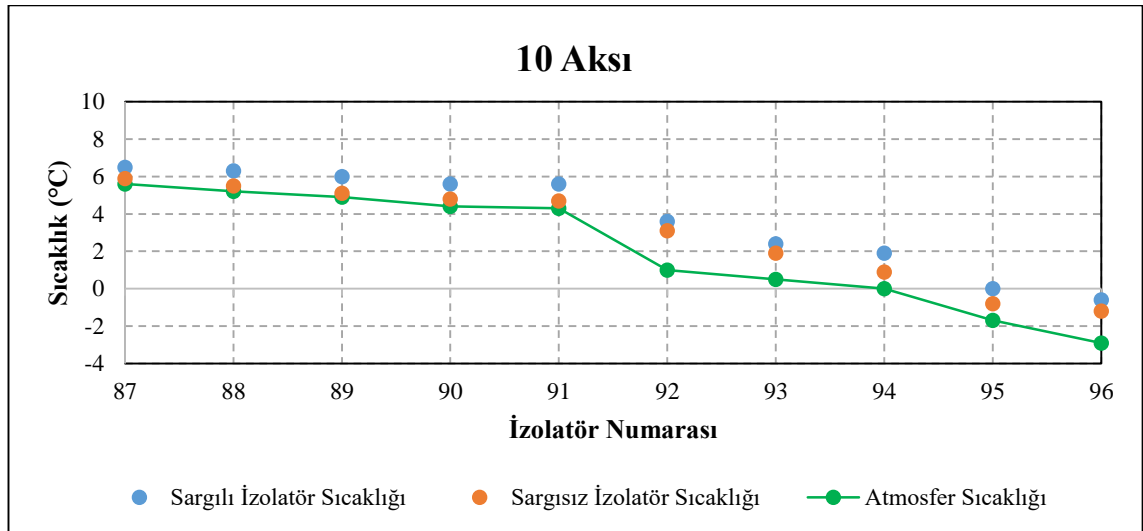
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Aralık ayı için alınan sıcaklık ölçümleri doğrultusunda izolator katı geneli için Şekil 4.6’ da görüldüğü gibi sıcaklık dağılım haritası çıkartılmıştır.

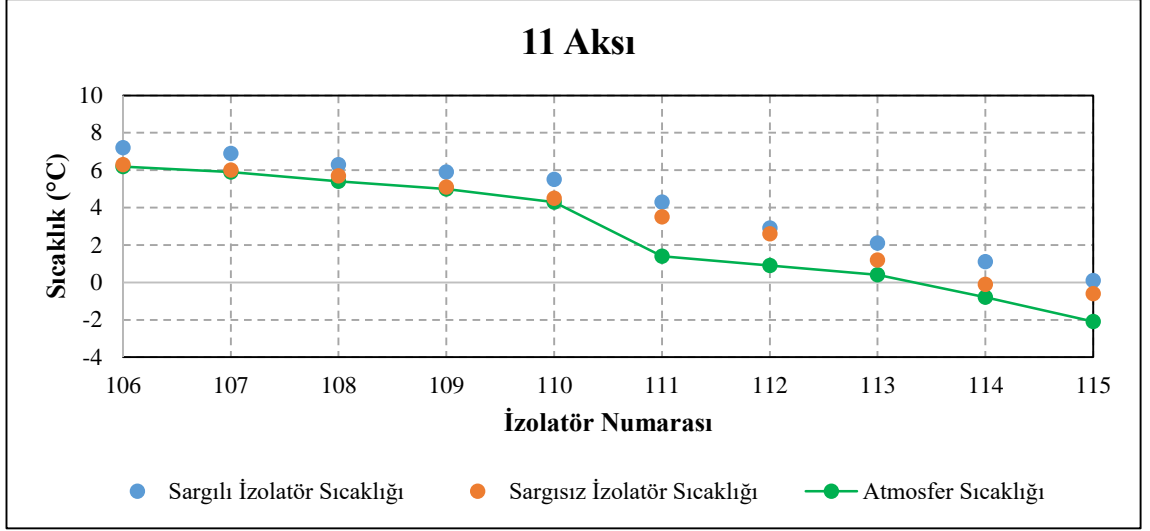


Şekil 4.6 Aralık ayı izolator katı sıcaklık dağılım haritası

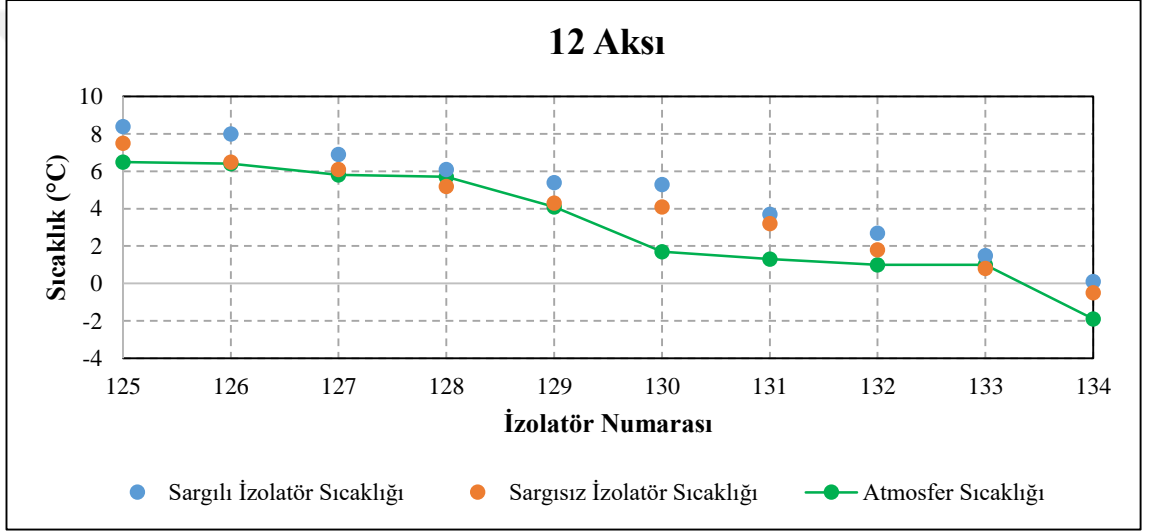
Aralık ayı için alınan ölçümler Ocak ayı için de tekrarlanmış olup Aralık ayına ek olarak izolatorün hemen yanından atmosfer sıcaklığı da ölçülerek kayıt altına alınmış ve Şekil 4.7’ de grafik olarak sunulmuştur.



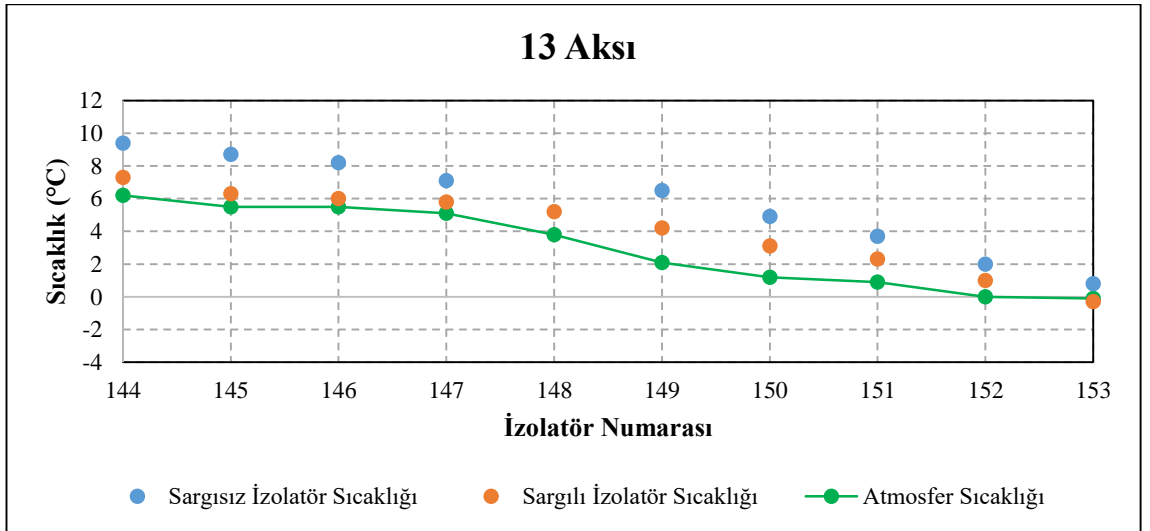
(a)



(b)

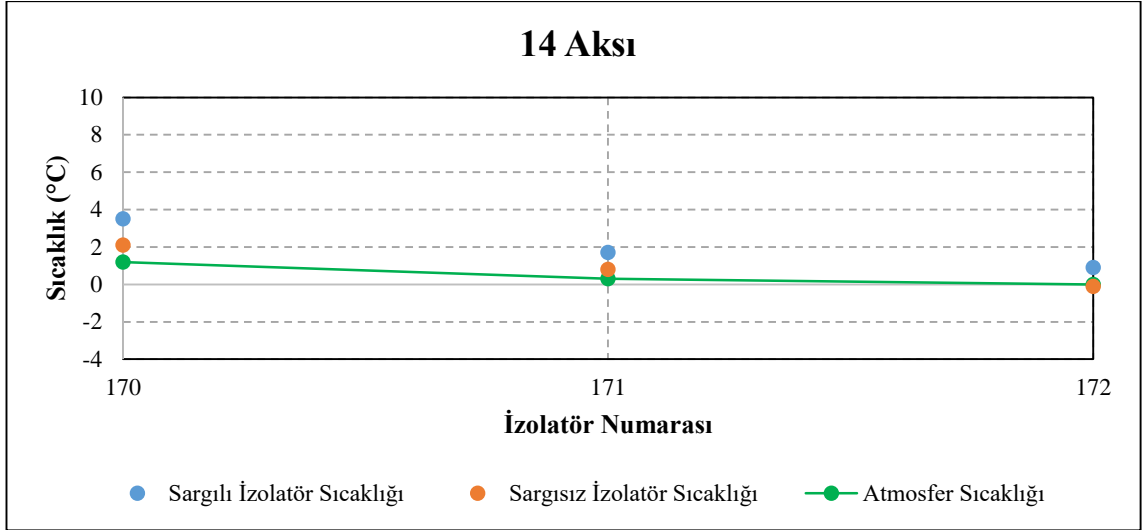


(c)



(d)

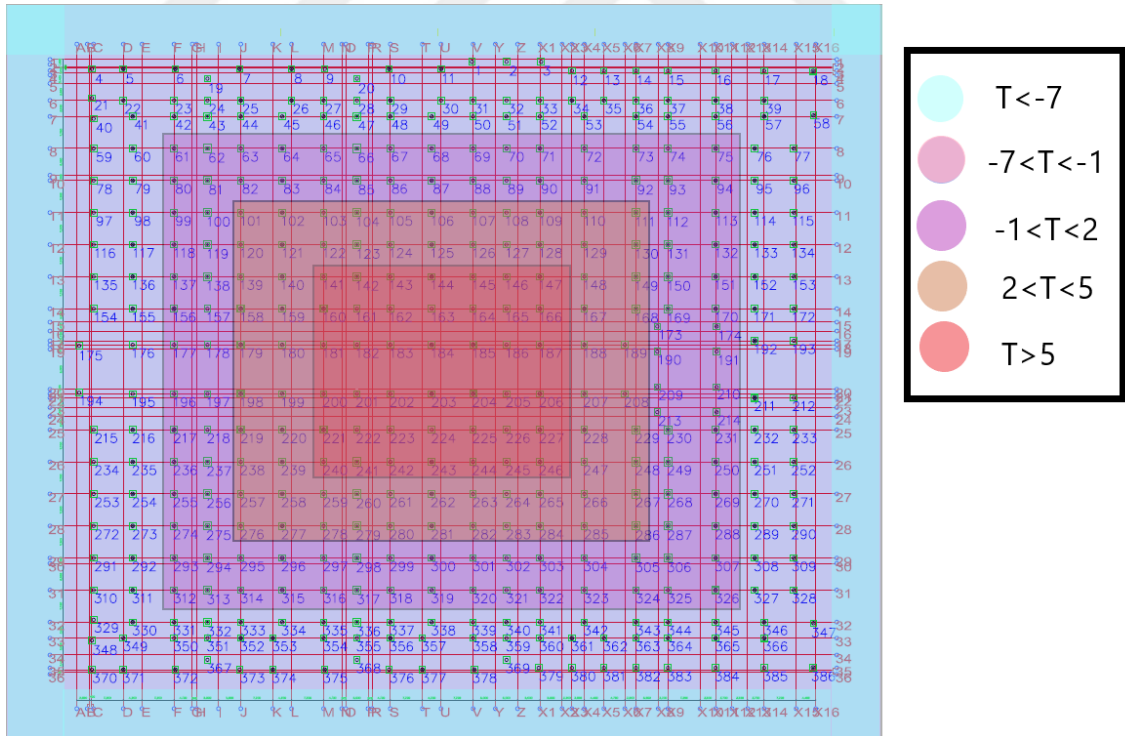
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



(e)

Şekil 4.7 (a),(b),(c),(d),(e) Ocak ayı sıcaklık ölçüm kayıtları.

Alınan sıcaklık kayıtları göz önünde bulundurularak izolator katında Şekil 4.8’ de belirtildiği gibi sıcaklık (T) dağılım haritası oluşturulmuştur.



Şekil 4.8 Ocak ayı izolator katı sıcaklık dağılım haritası

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Çizelge 4.3’ de sunulan resmi meteorolojik veri Erzurum ilinin aylık ortalama sıcaklık değerlerini gösterirken, Çizelge 4.4’ te aylık en düşük sıcaklık değerlerine ilişkin veriyi sunmaktadır.

Aralık ve Ocak ayı Erzurum ilinde yılın en soğuk ayları olduğundan bu aylar içerisinde sıcaklık ölçümü alınmıştır.

Çizelge 4.3 Erzurum İli 2012-2018 Yılları Arasında Aylık Ortalama Sıcaklık (°C) Değerleri (MGM, 2019)

Yıl/Ay	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2012	-	-	-	-	-	-	-	-	-		7.2	-3.0
2013	-9.6	-4.7	1.0	8.6	13.7	17.2	21.1	20.9	15.2	7.2	3.6	-11.4
2014	-7.7	-4.9	3.7	8.7	12.9	16.9	22.4	22.9	16.4	9.6	1.4	0.2
2015	-8.2	-5.2	0.5	6.2	11.5	17.4	21.8	22.2	18.5	10.0	2.7	-7.8
2016	-8.0	-3.7	1.9	8.3	11.3	17.1	19.8	22.4	13.8	9.3	-0.6	-9.5
2017	-11.5	-10.7	-0.5	6.3	11.2	16.4	22.1	22.7	18.6	8.3	2.4	-2.1
2018	-5.5	-3.1	5.2	8.5	11.9	15.5	20.5	20.6	16.5	10.8	3.2	-2.3

Çizelge 4.4 Erzurum İli 2012-2018 Yılları Arasında En Düşük Sıcaklık (°C) Değerleri (MGM, 2019)

Yıl/Ay	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2012	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-8.0	-16.5
2013	-30.4	-20.2	-20.6	-3.9	1.8	3.0	0.0	0.0	-0.3	-5.2	-8.7	-23.3
2014	-24.8	-21.8	-8.8	-8.2	0.3	2.9	8.5	9.9	-0.3	-3.4	-8.6	-10.9
2015	-25.0	-20.9	-16.8	-5.9	-1.7	4.1	6.9	8.1	6.1	-1.2	-9.4	-17.4
2016	-33.8	-23.4	-11.7	-8.2	0.9	4.4	5.0	9.9	-1.0	-3.9	-14.4	-32.0
2017	-27.2	-26.5	-15.8	-7.6	1.2	2.6	9.1	9.4	3.1	-2.3	-11.2	-13.3
2018	-18.4	-18.9	-11.4	-7.9	4.6	4.7	7.7	8.8	3.3	-3.4	-6.7	-32.4

Tez çalışması kapsamında, Aralık ve Ocak ayı içerisinde izolator katında yapılan sıcaklık ölçümleri ortam ve izolator sıcaklıklarının yapı kenarlarında daha düşük iken plan merkezine doğru artış olduğunu göstermiştir. Ancak, yılın en soğuk aylarında alınan sıcaklık ölçümleri izolator katının tasarlanan çalışma sıcaklığından daha düşük sıcaklıklara maruz kaldığını göstermiştir.

Aralık ve Ocak aylarında izolatör katından alınan ölçümler ile oluşturulan ısı dağılım haritaları aşağıda verilen Gordone ve Gesualdi (2012) çalışmasından türetilmiş Bağntı 4.1 kullanılarak ağırlıkça rijitlik oran hesabı yapılmıştır. Sonrasında Bağntı 4.2 ile yeni bir periyot değeri hesaplanarak yapılan operasyonel modal analiz sonucunda elde edilen periyot değerleri karşılaştırılmış, bu bağntının yapılacak operasyonel modal analizlerinde sıcaklık ölçümleri üzerinden yapı periyodunun yaklaşık olarak tahmin edilebileceği ve operasyonel modal analiz çözümlemesi yapılırken yapı modal frekansının bu değere yakın noktalarda aranarak bulunmasını kolaylaştıracağı düşünülmektedir.

$$y = 0,0005 \times x^2 - 0,03 \times x + 1,4 \quad (4.1)$$

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{2 \times \pi \times \sqrt{\frac{m}{k_1}}}{2 \times \pi \times \sqrt{\frac{m}{k_2}}} \quad (4.2)$$

Bağntı 4.1' de yapıda kullanılan izolatörlerin ağırlıkça rijitliklerin oranları hesaplanmış, Bağntı 4.2 kullanılarak teorik olarak rapordan alınan periyot ve hesaplanan ağırlıkça rijitlik oranı kullanılarak yeni bir periyot değeri elde edilmiştir. Bu periyot değerleri operasyonel modal analizden elde edilen deneysel periyot değerlerine yakın sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Ayrıca hesaplanan ağırlıkça rijitlik oranı, teorik ve deneysel periyotlar oranının birbirlerine oldukça yakın sonuçlar verdiği de gözlenmiştir. Elde edilen veriler Çizelge 4.5' te detaylı olarak sunulmuştur.

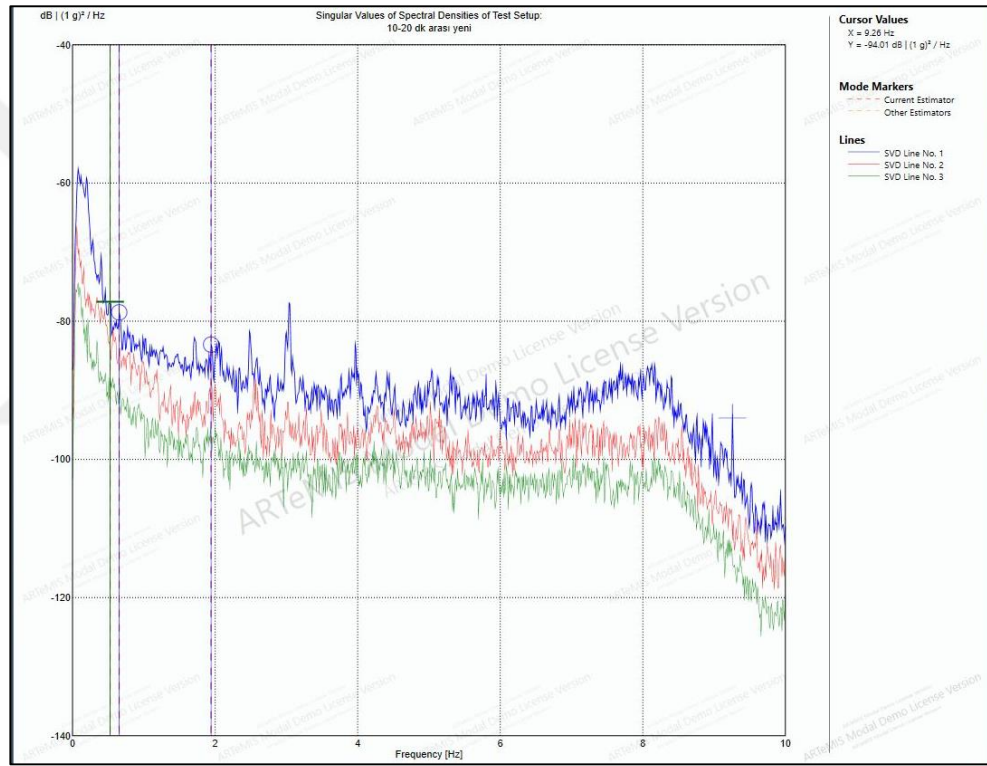
Çizelge 4.5 Ağırlıkça rijitlikle elde edilen periyot değerleri ve deneysel periyot ile karşılaştırması

°C Derece	Teorik Periyot	Deneysel Periyot	Hesaplanan Periyot	Ağırlıkça Rijitlik Oranı	Hesaplanan Rijitlik Oranı	Rijitlik Oranların Farkı (%)	Hesaplanan-Deneysel Periyot Farkı (%)
0°C	2,49	2,15	2,27	1,21	1,16	3,80	5,30
10°C	2,49	2,47	2,45	1,03	1,01	2,47	0,88

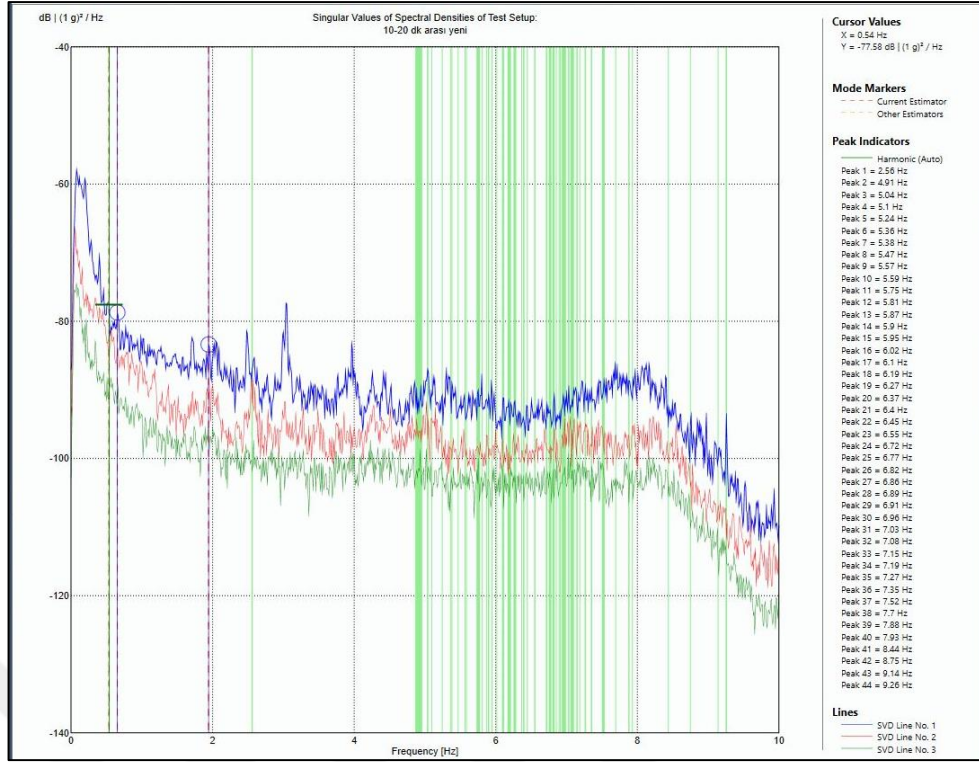
4.2. Operasyonel Modal Analiz Sonuçları

4.2.1. Ölçüm-1

Saha çalışması neticesinde toplanan veri, Artemis Modal Pro yazılımı kullanılarak işlenmiştir. Yapılan analizler sonucunda yapıya ait ilk 3 mod şekli, modal frekans değerleri ve sönüm oranları elde edilmiştir. Çalışmaya ilişkin genel görüntüler Şekil 4.9 ve Şekil 4.10' da sunulmaktadır.



Şekil 4.9 Ölçüm-1 için spektral yoğunluk fonksiyonları ve FDD analiz çalışmasına ilişkin görüntü



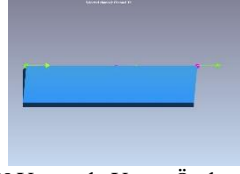
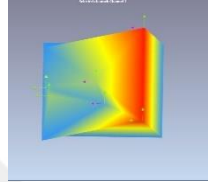
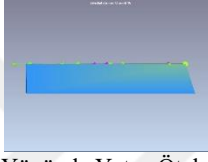
Şekil 4.10 Ölçüm -1 için spektral yoğunluk fonksiyonları ve EFDD analiz çalışmasına ilişkin görüntü

4.2.1.1. Mod Şekilleri ve Modal Frekanslar

Yapının mod şekilleri ve modal frekansları Frekans Alanında Çözümleme (Frequency Domain Decomposition – FDD) Geliştirilmiş Frekans Alanında Çözümleme (Enhanced Frequency Domain Decomposition – EFDD) tekniği kullanılarak iki şekilde belirlenmiştir. Kullanılan her iki yöntemle de hesaplanan mod şekilleri ve modal frekansların da hemen hemen aynı olduğu görülmüştür. Mod şekillerinin tutarlılığının tayini amacıyla Modal Güvence Kriterleri (MAC) hesaplanmış ve sonraki bölümde sunulmuştur. Çalışma sonuçları Çizelge 4.6’ da toplu halde sunulmaktadır.

Elde edilen mod şekillerinden birincisi Y yönünde yatay öteleme hareketi, ikincisi Z eksenini etrafında yatay burulma ve üçüncüsü ise X yönünde yatay öteleme hareketi olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte, davranışın ankastre mesnetli yapı davranışını yansıttığı görülmüştür.

Çizelge 4.6 EBEAH binasının operasyonel modal analiz sonuçları: Ölçüm-1

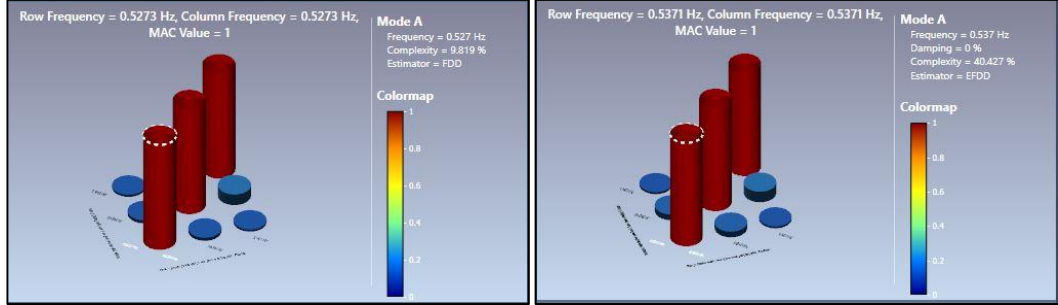
Mod	Mod Şekli	Frekans Alanında Çözümleme (FDD)		Geliştirilmiş Frekans Alanında Çözümleme (EFDD)		Frekans Farkı (%)
		Frekans (Hz)	Sönüm (%)	Frekans (Hz)	Sönüm (%)	
1	 Y Yönünde Yatay Öteleme	0,527	-	0,537	0	1,90
2	 Z Ekseninde Yatay Burulma	0,654	-	0,654	0	0
3	 X Yönünde Yatay Öteleme	1,943	-	1,943	0	0

4.2.1.2. Mod Şekillerine İlişkin Tutarlılık Kontrolleri

Elde edilen mod şekillerinin kontrolü amacıyla Modal Güvence Kriteri (MAC) hesaplanmış ve Şekil 4.11’ de sunulmuştur. Deneysel veri işlendikten sonra elde edilen mod şekillerinin güvenilirliğinin genel kabul gören bir yöntemle irdelenmesi önemli bir çalışmadır. Bu amaçla, Modal Güvence Kriteri (Modal Assurance Criterion – MAC) kullanılmış olup MAC, mod şekillerinin birbirinden bağımsız olup olmadıklarının tayini amacıyla kullanılan bir istatistik parametredir. Modal Güvence Kriteri; mod şekillerindeki büyük farklılıklara karşı oldukça hassas, küçük farklılıklara karşı nispeten duyarsız bir istatistik göstergedir. Bu güçlü istatistik parametre, mod şekilleri arasındaki tutarlılık derecesine ilişkin önemli bilgi sunar. Altı çizilerek ifade edilmelidir ki; Modal Güvence Kriteri sadece tutarlılık gösterir; mod şeklinin geçerliliği ile ilgili olarak bilgi sunmaz (Pastor, 2012).

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Buna ek olarak MAC değerleri Frekans Alanında Çözümleme (FDD) ve Geliştirilmiş Frekans Alanında Çözümleme (EFDD) değerleri için sayısal olarak ilk mod değerleri Çizelge 4.7 ve Çizelge 4.8’ de sunulmaktadır.



Şekil 4.11 (a) FDD MAC değerlerine ilişkin grafik, (b) EFDD MAC değerlerine ilişkin grafik: Ölçüm-1

Çizelge 4.7 Frekans Alanında Çözümleme (FDD) sonucunda elde edilen mod şekillerine ilişkin Modal Güvence Kriteri (MAC) değerleri: Ölçüm-1

Frekans (Hz)	0.5273	0.6543	1,9430
0.5273	1	0.0300	0.0206
0.6543	0.0300	1	0.1023
1,9430	0.0206	0.1023	1

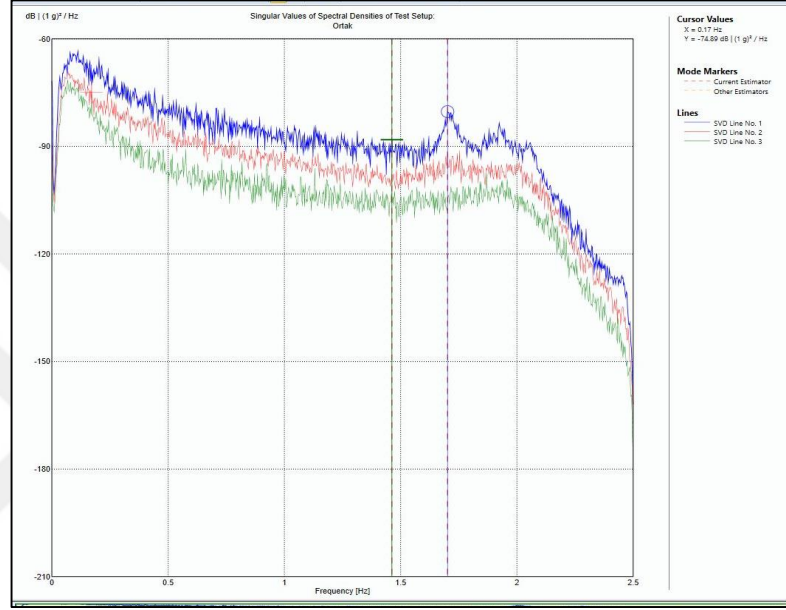
Çizelge 4.8 Geliştirilmiş Frekans Alanında Çözümleme (EFDD) sonucunda elde edilen mod şekillerine ilişkin Modal Güvence Kriteri (MAC) değerleri: Ölçüm-1

Frekans (Hz)	0.5371	0.6543	1,9430
0.5371	1	0.0563	0.0197
0.6543	0.0563	1	0.1023
1,9430	0.0197	0.1023	1

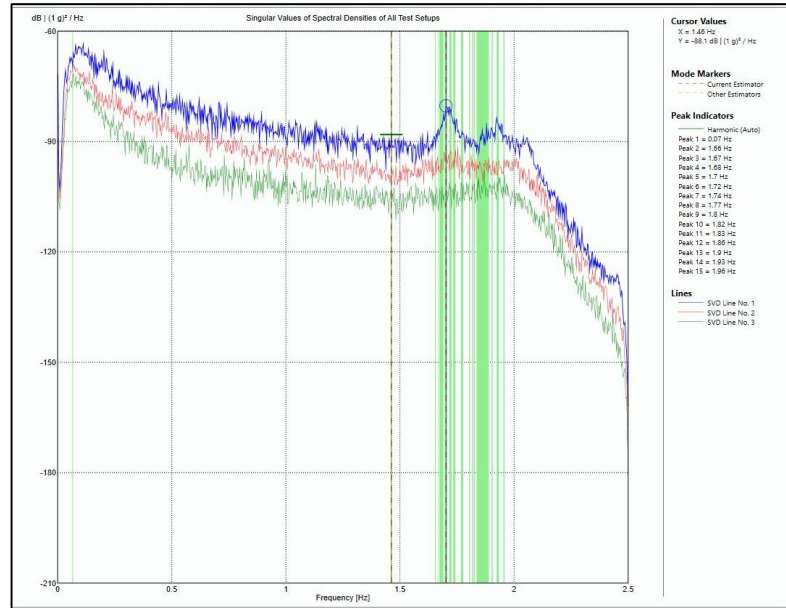
Mod şekillerine ilişkin MAC değerleri incelendiğinde, diyagonal sırada yer alan değerlerin tam olarak 1, köşe değerlerinin hemen hemen sıfıra yakın değerler olduğu görülmektedir. Elde edilen bu sonuçlar, operasyonel modal analiz ölçümü ile elde edilen mod şekillerinin ayırık olduğunu ve değerlendirmede kullanılabileceğini göstermektedir.

4.2.2. Ölçüm-2

Saha çalışması neticesinde toplanan veri, Artemis Modal Pro yazılımı kullanılarak işlenmiştir. Yapılan analizler sonucunda yapıya ait ilk 2 mod şekli, modal frekans değerleri ve sönüm oranları elde edilmiştir. Çalışmaya ilişkin genel görüntüler Şekil 4.12 ve Şekil 4.13' te sunulmaktadır.



Şekil 4.12 Ölçüm-2 için spektral yoğunluk fonksiyonları ve FDD analiz çalışmasına ilişkin görüntü



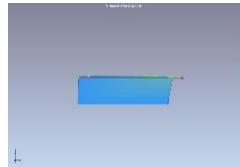
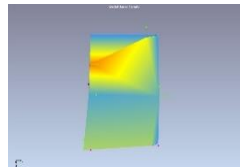
Şekil 4.13 Ölçüm-2 için spektral yoğunluk fonksiyonları ve EFDD analiz çalışmasına ilişkin görüntü

4.2.2.1. Mod Şekilleri ve Modal Frekanslar

Yapının mod şekilleri ve modal frekansları Frekans Alanında Çözümleme (Frequency Domain Decomposition – FDD) Geliştirilmiş Frekans Alanında Çözümleme (Enhanced Frequency Domain Decomposition – EFDD) tekniği kullanılarak iki şekilde belirlenmiştir. Kullanılan her iki yöntemlede hesaplanan mod şekilleri ve modal frekansların da hemen hemen aynı olduğu görülmüştür. Mod şekillerinin tutarlılığının tayini amacıyla Modal Güvence Kriterleri (MAC) hesaplanmış ve sonraki bölümde sunulmuştur. Çalışma sonuçları Çizelge 4.9’ da toplu halde sunulmaktadır.

Elde edilen mod şekillerinden birincisi Y yönünde yatay öteleme hareketi, ikincisi Z eksenini etrafında yatay burulma hareketi olarak belirlenmiştir. Mod şekillerinden biri olan X doğrultusunda yatay öteleme, ARTEMIS Modal Pro programında tespit edilememiş, tespit edilen X doğrultusunda ki öteleme modlarına ait MAC değerleri yüksek olduğu için modal güvence kriteri kapsamında çizelgeye dahil edilmemiştir.

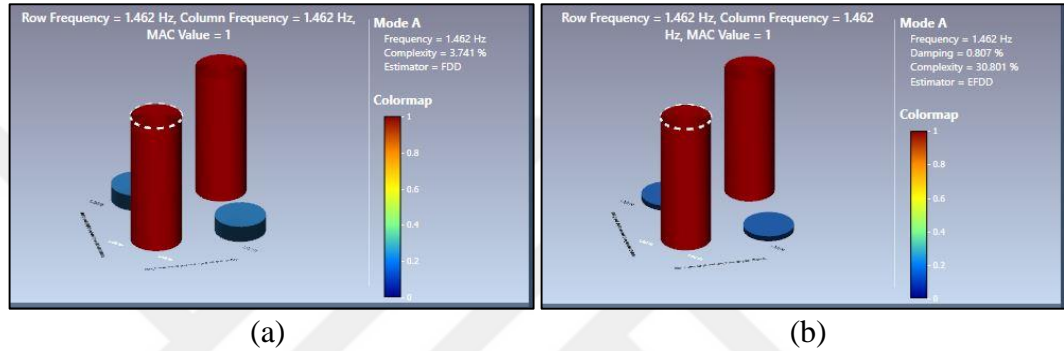
Çizelge 4.9 EBEAH binasının operasyonel modal analiz sonuçları: Ölçüm-2

Mod	Mod Şekli	Frekans Alanında Çözümleme (FDD)		Geliştirilmiş Frekans Alanında Çözümleme (EFDD)		Frekans Farkı (%)
		Frekans (Hz)	Sönüm (%)	Frekans (Hz)	Sönüm (%)	
1	 Y Yönünde Yatay Öteleme	1.462	-	1.462	0.807	0
2	 Z Eksenini Etrafında Yatay Burulma	1.702	-	1.702	-	0

Ölçüm-1 sonuçlarına benzer şekilde yapının ankastre davranış gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır. Bu durum, izolatör seviyesinde titreşim kaydı alınmasının zorunlu olduğunu göstermiş ve Ölçüm-3 şemasının çalışılmasına karar verilmiştir.

4.2.2.2. Mod Şekillerine İlişkin Tutarlılık Kontrolleri

Elde edilen mod şekillerinin kontrolü amacıyla Modal Güvence Kriteri (MAC) hesaplanmış ve Şekil 4.14' te sunulmuştur. Buna ek olarak MAC değerleri Frekans Alanında Çözümleme (FDD) ve Geliştirilmiş Frekans Alanında Çözümleme (EFDD) değerleri için sayısal olarak ilk mod değerleri Çizelge 4.10 ve Çizelge 4.11' de sunulmaktadır.



Şekil 4.14 (a) FDD MAC değerlerine ilişkin grafik, (b) EFDD MAC değerlerine ilişkin grafik: Ölçüm-2

Çizelge 4.10 Frekans Alanında Çözümleme (FDD) sonucunda elde edilen mod şekillerine ilişkin Modal Güvence Kriteri (MAC) değerleri: Ölçüm-2

Frekans (Hz)	1,4620	1,7020
1,4620	1	0.1239
1,7020	0.1239	1

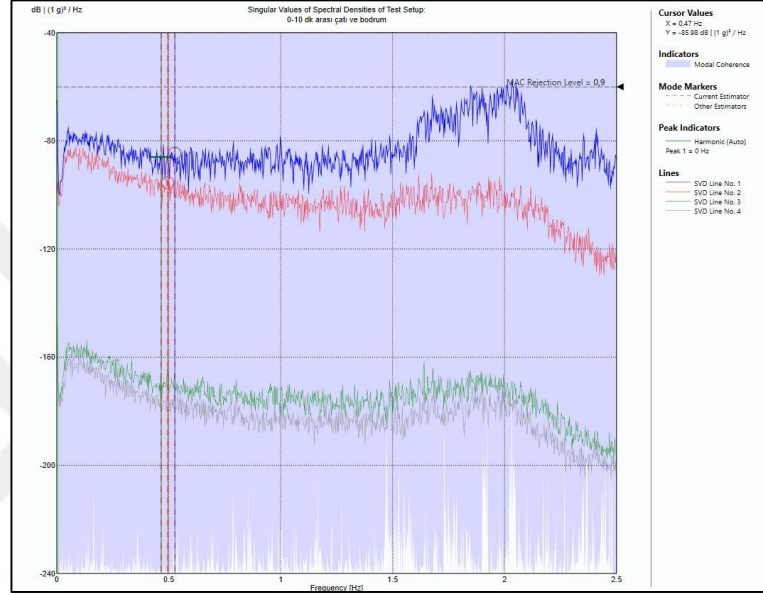
Çizelge 4.11 Geliştirilmiş Frekans Alanında Çözümleme (EFDD) sonucunda elde edilen mod şekillerine ilişkin Modal Güvence Kriteri (MAC) değerleri: Ölçüm-2

Frekans (Hz)	1,4620	1,7020
1,4620	1	0.0429
1,7020	0.0429	1

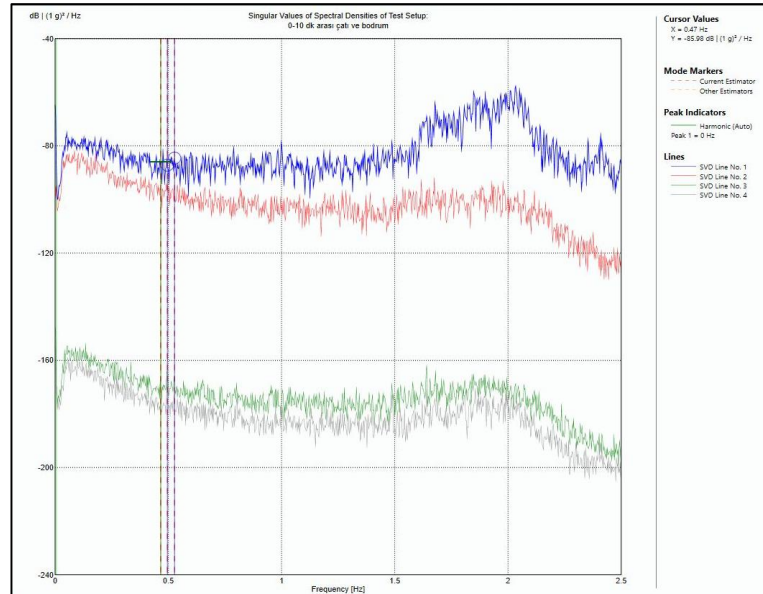
Mod şekillerine ilişkin MAC değerleri incelendiğinde, diyagonal sırada yer alan değerlerin tam olarak 1, köşe değerlerin ise sıfıra son derece yakın değerleri olduğu görülmektedir. Elde edilen bu sonuçlar, operasyonel modal analiz neticesinde elde edilen mod şekilleri ve modal frekansların birbirinden ayrık ve güvenilir olduğunu göstermektedir.

4.2.3. Ölçüm-3

Saha çalışması neticesinde toplanan veri, Artemis Modal Pro yazılımı kullanılarak işlenmiştir. Yapılan analizler sonucunda yapıya ait ilk 3 mod şekli, modal frekans değerleri ve sönüm oranları elde edilmiştir. Çalışmaya ilişkin genel görüntüler Şekil 4.15 ve Şekil 4.16’ da sunulmaktadır.



Şekil 4.15 Ölçüm-3 için spektral yoğunluk fonksiyonları ve FDD analiz çalışmasına ilişkin görüntü



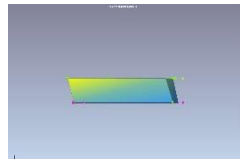
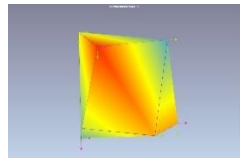
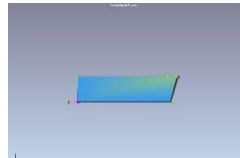
Şekil 4.16 Ölçüm-3 için spektral yoğunluk fonksiyonları ve EFDD analiz çalışmasına ilişkin görüntü

4.2.3.1. Mod Şekilleri ve Modal Frekanslar

Yapının mod şekilleri ve modal frekansları Frekans Alanında Çözümleme (Frequency Domain Decomposition – FDD) Geliştirilmiş Frekans Alanında Çözümleme (Enhanced Frequency Domain Decomposition – EFDD) tekniği kullanılarak iki şekilde belirlenmiştir. Kullanılan Her iki yöntemlede hesaplanan mod şekilleri ve modal frekansların da hemen hemen aynı olduğu görülmüştür. Mod şekillerinin tutarlılığının tayini amacıyla Modal Güvence Kriterleri (MAC) hesaplanmış ve sonraki bölümde sunulmuştur. Çalışma sonuçları Çizelge 4.12’ de toplu halde sunulmaktadır.

Elde edilen mod şekillerinden birincisi X yönünde yatay öteleme hareketi, ikincisi Z eksenini etrafında yatay burulma ve üçüncüsü ise Y yönünde yatay öteleme hareketi olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.12 EBEAH binasının operasyonel modal analiz sonuçları: Ölçüm-3

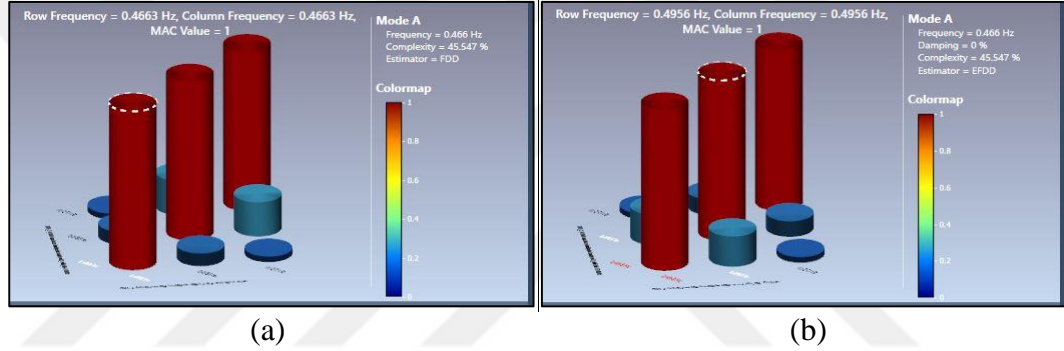
Mod	Mod Şekli	Frekans Alanında Çözümleme (FDD)		Geliştirilmiş Frekans Alanında Çözümleme (EFDD)		Frekans Farkı (%)
		Frekans (Hz)	Sönüm (%)	Frekans (Hz)	Sönüm (%)	
1	 X Yönünde Yatay Öteleme	0.466	-	0.466	-	0
2	 Z Eksenini Etrafında Yatay Burulma	0.496	-	0.496	-	0
3	 Y Yönünde Yatay Öteleme	0.527	-	0.527	-	0

Ölçüm-3, yüzer sensör-referans sensör yönteminin uygulandığı bir OMA çalışmasıdır. İzolatör katının hemen üstündeki kat olan otopark alanından ve teras katından ölçümler alınarak yapının rijit kütle hareketine ilişkin mod şekillerinin tayinine çalışılmıştır. Elde

edilen mod şekilleri rijit kütle hareketini temsil eder nitelikte olduğundan, Ölçüm-3 OMA çalışması sonucu genel değerlendirmeye esas bir çalışma olarak kabul edilmiştir.

4.2.3.2. Mod Şekillerine İlişkin Tutarlılık Kontrolleri

Elde edilen mod şekillerinin kontrolü amacıyla Modal Güvence Kriteri (MAC) hesaplanmış ve Şekil 4.17’ de sunulmuştur. Buna ek olarak MAC değerleri Frekans Alanında Çözümleme (FDD) ve Geliştirilmiş Frekans Alanında Çözümleme (EFDD) değerleri için sayısal olarak ilk mod değerleri Çizelge 4.13 ve Çizelge 4.14’ te sunulmaktadır.



Şekil 4.17 (a) FDD MAC değerlerine ilişkin grafik, (b) EFDD MAC değerlerine ilişkin grafik: Ölçüm-3

Çizelge 4.13 Frekans Alanında Çözümleme (FDD) sonucunda elde edilen mod şekillerine ilişkin Modal Güvence Kriteri (MAC) değerleri: Ölçüm-3

Frekans (Hz)	0.4663	0.4956	0.5273
0.4663	1	0.0800	0.0354
0.4956	0.0800	1	0.2153
0.5273	0.0354	0.2153	1

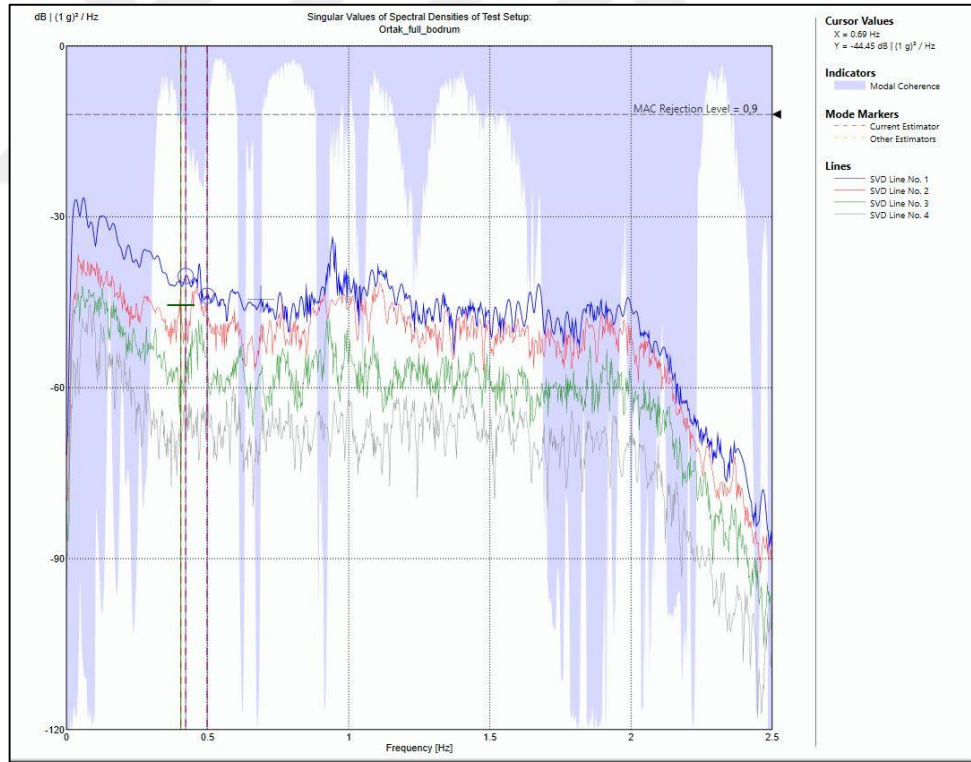
Çizelge 4.14 Geliştirilmiş Frekans Alanında Çözümleme (EFDD) sonucunda elde edilen mod şekillerine ilişkin Modal Güvence Kriteri (MAC) değerleri: Ölçüm-3

Frekans (Hz)	0.4663	0.4956	0.5273
0.4663	1	0.1888	0.0354
0.4956	0.1888	1	0.0973
0.5273	0.0354	0.0973	1

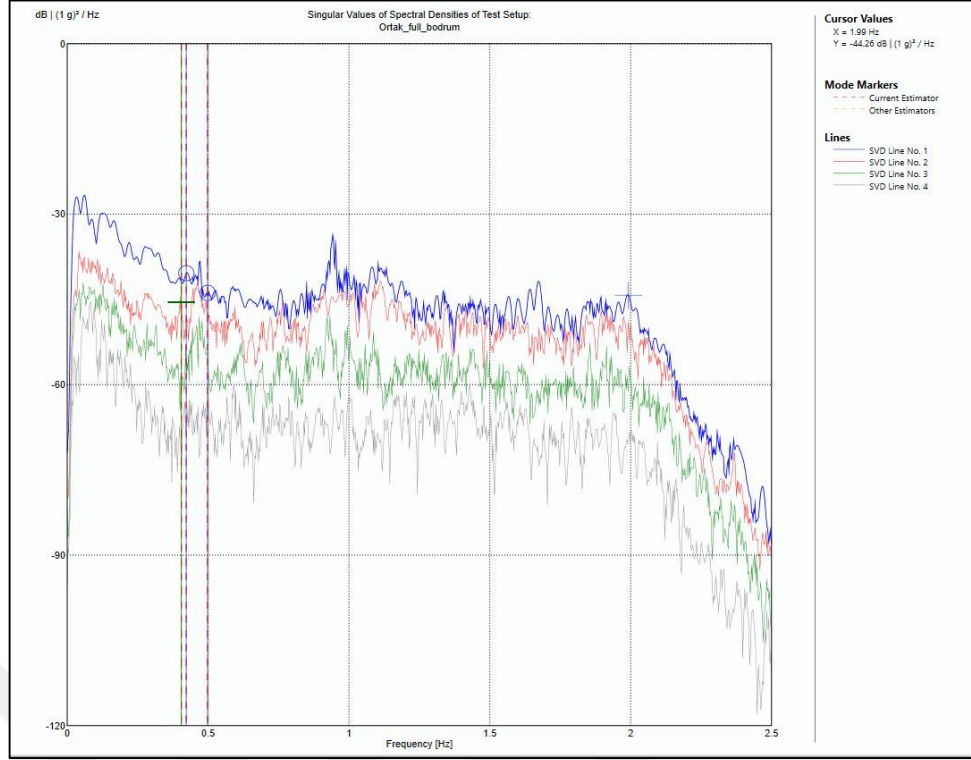
Mod şekillerine ilişkin MAC değerleri incelendiğinde, diyagonal sırada yer alan değerlerin tam olarak 1, köşe değerlerin ise sıfıra son derece yakın değerleri olduğu görülmektedir. Elde edilen bu sonuçlar, operasyonel modal analiz neticesinde elde edilen mod şekilleri ve modal frekansların birbirinden ayrık ve güvenilir olduğunu göstermektedir.

4.2.4. Ölçüm-4

Saha çalışması neticesinde toplanan veri, Artemis Modal Pro yazılımı kullanılarak işlenmiştir. Yapılan analizler sonucunda yapıya ait ilk 3 mod şekli, modal frekans değerleri ve sönüm oranları elde edilmiştir. Çalışmaya ilişkin genel görüntüler Şekil 4.18 ve Şekil 4.19’ da sunulmaktadır. Bu çalışmada, atmosferik sıcaklık 10°C olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.18 Ölçüm-4 için spektral yoğunluk fonksiyonları ve FDD analiz çalışmasına ilişkin görüntü



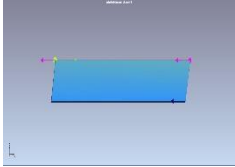
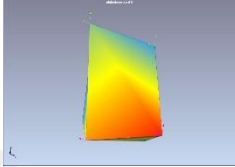
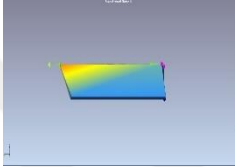
Şekil 4.19 Ölçüm-4 için spektral yoğunluk fonksiyonları ve EFDD analiz çalışmasına ilişkin görüntü

4.2.4.1. Mod Şekilleri ve Modal Frekanslar

Yapının mod şekilleri ve modal frekansları Frekans Alanında Çözümleme (Frequency Domain Decomposition – FDD) Geliştirilmiş Frekans Alanında Çözümleme (Enhanced Frequency Domain Decomposition – EFDD) tekniği kullanılarak iki şekilde belirlenmiştir. Kullanılan her iki yöntemle hesaplanan mod şekilleri ve modal frekansların da hemen hemen aynı olduğu görülmüştür. Mod şekillerinin tutarlılığının tayini amacıyla Modal Güvence Kriterleri (MAC) hesaplanmış ve sonraki bölümde sunulmuştur. Çalışma sonuçları Çizelge 4.15’ te toplu halde sunulmaktadır.

Elde edilen mod şekillerinden birincisi X yönünde yatay öteleme hareketi, ikincisi Z ekseninde yatay burulma ve üçüncüsü ise Y yönünde yatay öteleme hareketi olarak belirlenmiştir. Modal davranış yapının rijit kütle hareketini gösterir niteliktedir.

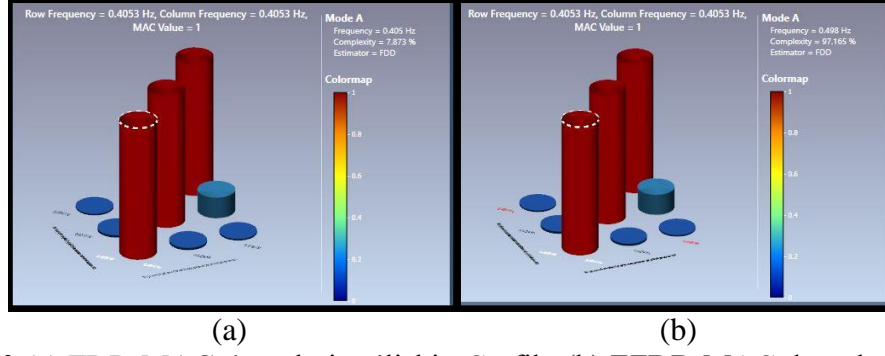
Çizelge 4.15 EBEAH binasının operasyonel modal analiz sonuçları: Ölçüm-4

Mod	Mod Şekli	Frekans Alanında Çözümleme (FDD)		Geliştirilmiş Frekans Alanında Çözümleme (EFDD)		Frekans Farkı (%)
		Frekans (Hz)	Sönüm (%)	Frekans (Hz)	Sönüm (%)	
1	 X Yönünde Yatay Öteleme	0.405	-	0.405	-	0
2	 Z Eksen Etrafında Yatay Burulma	0.422	-	0.422	-	0
3	 Y Yönünde Yatay Öteleme	0.498	-	0.498	-	0

4.2.4.2. Mod Şekillerine İlişkin Tutarlılık Kontrolleri

Elde edilen mod şekillerinin kontrolü amacıyla Modal Güvence Kriteri (MAC) hesaplanmış ve Şekil 4.20' de sunulmuştur. Buna ek olarak MAC değerleri Frekans Alanında Çözümleme (FDD) ve Geliştirilmiş Frekans Alanında Çözümleme (EFDD) değerleri için sayısal olarak ilk mod değerleri Çizelge 4.16 ve Çizelge 4.17' de sunulmaktadır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.20 (a) FDD MAC değerlerine ilişkin Grafik, (b) EFDD MAC değerlerine ilişkin grafik: Ölçüm-4

Çizelge 4.16 Frekans Alanında Çözümleme (FDD) sonucunda elde edilen mod şekillerine ilişkin Modal Güvence Kriteri (MAC) değerleri: Ölçüm-4

Frekans (Hz)	0.4053	0.4224	0.4980
0.4053	1	0.0183	0.0127
0.4224	0.0183	1	0.1567
0.4980	0.0127	0.1567	1

Çizelge 4.17 Geliştirilmiş Frekans Alanında Çözümleme (EFDD) sonucunda elde edilen mod şekillerine ilişkin Modal Güvence Kriteri (MAC) değerleri: Ölçüm-4

Frekans (Hz)	0.4053	0.4224	0.4980
0.4053	1	0.0183	0.0127
0.4224	0.0183	1	0.1567
0.4980	0.0127	0.1567	1

Mod şekillerine ilişkin MAC değerleri incelendiğinde, diyagonal sırada yer alan değerlerin tam olarak 1, köşe değerlerin ise sıfıra son derece yakın değerleri olduğu görülmektedir. Elde edilen bu sonuçlar, operasyonel modal analiz neticesinde elde edilen mod şekilleri ve modal frekansların birbirinden bağımsız ve güvenilir olduğunu göstermektedir.

4.3. Teorik ve Deneysel Modal Analiz Sonuçlarının İrdelenmesi

Tez kapsamında EBEAH yapısı üzerinde yapılan Teorik ve Deneysel Modal Analiz sonuçlarını periyot ve mod şekilleri bir arada olacak şekilde Çizelge 4.18’ de toplu olarak verilmiştir.

Çizelge 4.18. Yapılan araştırma sonucu elde edilen Teorik ve Deneysel Modal Analiz sonuçları

Modal Analiz	Periyot		Mod Şekli
	T1 (sn)	T2 (sn)	
Teorik (Ankastre)	0,642	0,617	Y Doğrultusunda (Kısa) Öteleme
	0,617	0,542	Z Eksen Etrafında Burulma
	0,542		X Doğrultusunda (Uzun) Öteleme
Teorik (10°C)	2,487	2,453	X Doğrultusunda (Uzun) Öteleme
	2,453	2,403	Z Eksen Etrafında Burulma
	2,403		Y Doğrultusunda (Kısa) Öteleme
Teorik (0°C)	2,144	2,127	X Doğrultusunda (Uzun) Öteleme
	2,127	2,111	Z Eksen Etrafında Burulma
	2,111		Y Doğrultusunda (Kısa) Öteleme
OMA (10°C)	2,470	2,370	X Doğrultusunda (Uzun) Öteleme
	2,370	2,008	Z Eksen Etrafında Burulma
	2,008		Y Doğrultusunda (Kısa) Öteleme
OMA (0°C)	2,146	2,016	X Doğrultusunda (Uzun) Öteleme
	2,016	1,898	Z Eksen Etrafında Burulma
	1,898		Y Doğrultusunda (Kısa) Öteleme

Tez çalışması kapsamında yapının sonlu elemanlar modeli üzerinde teorik modal analiz; yapı üzerinde ise operasyonel modal analiz çalışması yapılarak teorik ve deneysel mod şekilleri ile ilgili periyotların tayini yapılmıştır. Çalışma sonuçları Çizelge 4.18’ de özetlenmektedir. Teorik ve deneysel mod şekilleri birbiri ile uyumludur.

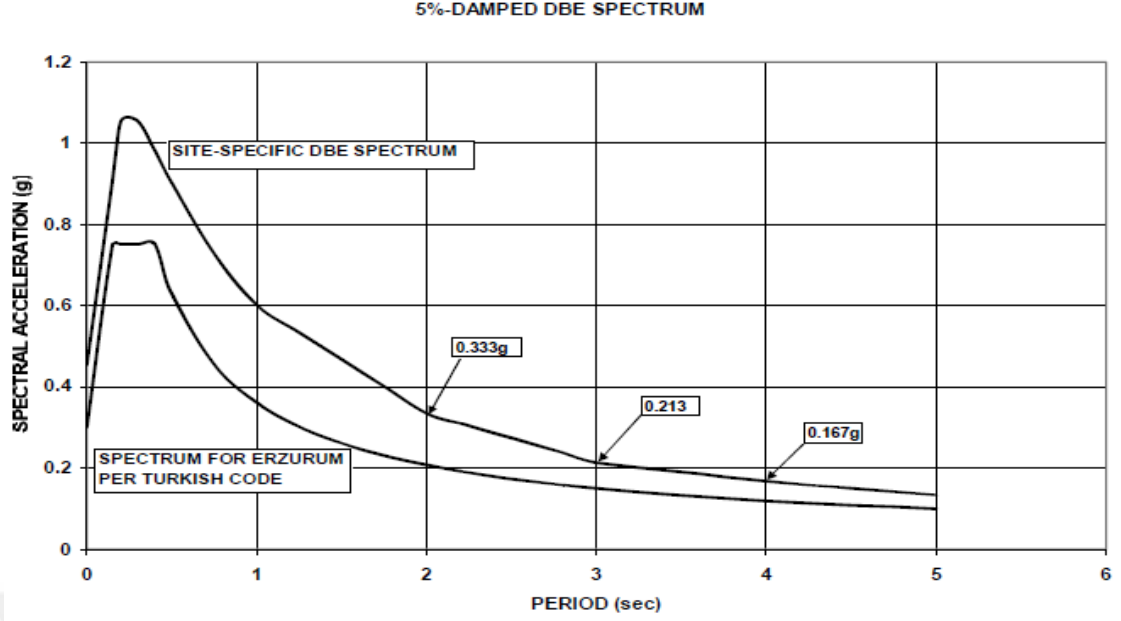
Çizelge 4.19 EBEAH yapısı teorik modal analiz ve operasyonel modal analiz sonuçları

Modal Analiz	Sıcaklık (°C)		Periyot (sn)		
	Atmosfer	İzolator Katı	T ₁	T ₂	T ₃
Teorik	-	10	2,486	2,452	2,402
Ölçüm-3	0	4	2,146	2,016	1,898
Ölçüm-4	10	15	2,470	2,370	2,008

Çizelge 4.18 incelendiğinde, izolatör katındaki sıcaklık düşüşlerinin yapının periyodunu düşürdüğü görülmektedir. Bu durum, kauçuk izolatörlerin soğuk havadan etkilendiklerini ve rijitliklerinin arttığını göstermektedir. Ölçüm-4 OMA sonuçları teorik modal analiz sonuçlarına çok yakın değerler almıştır. Bu ölçümde, izolatör katı sıcaklığının tasarıma esas izolatör katı sıcaklığına çok yakın bir değer aldığı görülmektedir.

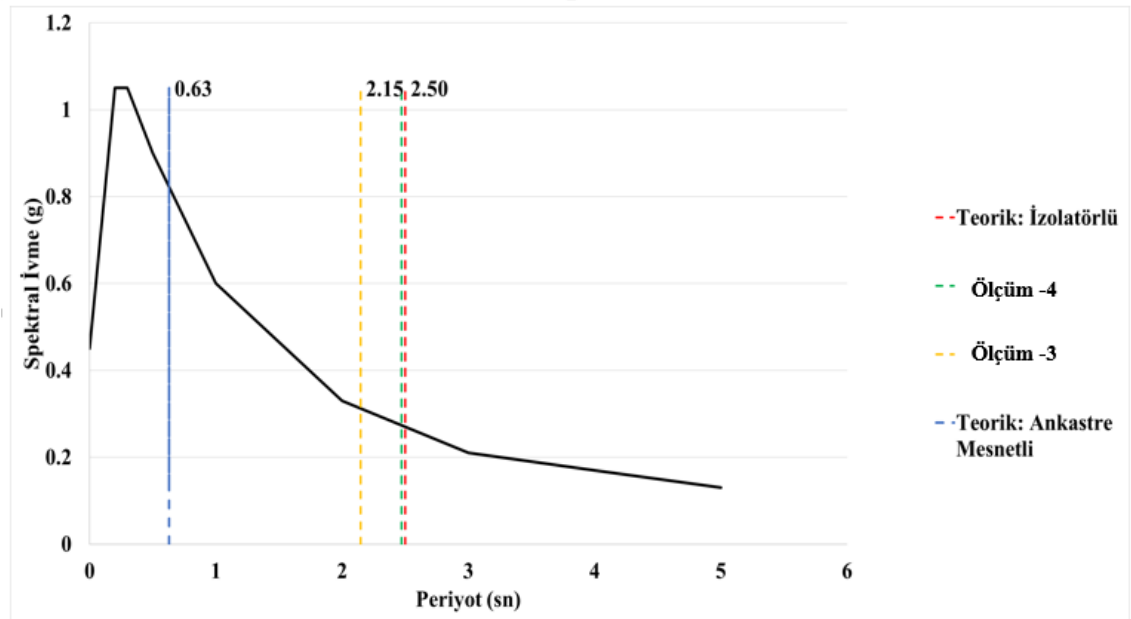
EBEAH yapısı tasarlanırken sonlu elemanlar modeli üzerinde muhtelif analizler yapılmış (*sahaya özel üretilmiş sentetik deprem kaydı altında analiz, ölçeklendirilmiş Erzincan 1992 deprem kaydı altında analiz, MCE (maximum considered level) düzeyi spektral analizi, sahaya özel spektrum uyumlu sentetik deprem kaydı altında analiz*) ve yapının deplasman talepleri hesaplanmıştır. Bu analizler neticesinde, yapı tek yönde en büyük yatay deplasman talebi 49 cm olarak hesaplanmış ve izolatörler her iki yatay doğrultuda 50 cm elastik deplasman yapabilecek şekilde tasarlanmışlardır. Tasarımda, sahaya özel olarak üretilmiş DBE (design basic earthquake) spektrumu kullanılmıştır. Söz konusu spektrum Şekil 4.21' de sunulmaktadır. DBE spektrumu spektral ivme değerleri MCE spektrumundaki spektral ivme değerlerinin 1,5' e bölünmesi ile elde edilmiştir (Erdik ve Mowrtage, 2005), (Dynamic Isolation Systems, INC., 2005).

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.21 EBEAH yapısı sahaya özel DBE tasarım spektrumu (Erdik ve Mowrtage, 2005)

Sahaya özel DBE spektrumu sayısal verisi proje dokümanları arasında bulunmamaktadır. Bu veri proje dokümanı üzerinden çıkarılarak, Çizelge 4.17’ de sunulan T1 değerleri spektrum üzerine işaretlenerek Şekil 4.22’ de sunulmaktadır.



Şekil 4.22 DBE Spektrumu üzerinde modal analiz sonuçları

DBE spektrumu üzerinde yapılan değerlendirmede ankastre mesnetli yapı modeli için 0,83g, Ölçüm-4 için 0,31g ve Ölçüm-3 için 0,27g spektral ivme değerleri okunmaktadır. Proje hesap dokümanlarında, izolatör katı üst seviyesi için hesaplanan maksimum spektral ivme değeri 0,27g olarak rapor edilmektedir. Bu değer, ölçeklendirilmiş 1992 Erzincan deprem kaydı kullanılarak yapılan analiz neticesinde hesaplanmıştır. Hava sıcaklığının 10°C olan Ölçüm-4 OMA çalışması neticesinde DBE spektrumu üzerinden hesaplanan 0,31g ivme değerinin, tasarıma esas 0,27g spektral ivme değerinden yüksek olduğu görülmektedir. Bu sonuçla, düşük sıcaklık etkisi altında izolatör rijitliklerinin artması nedeniyle periyot değerinin azalabileceği ve buna bağlı olarak spektral ivme değerinin tasarımda göz önüne alınan değer üzerine çıkabileceği durumunun tasarım aşamasında incelenmesi gerektiği çıkarımını yapmak mümkündür.

Tez çalışması kapsamında sismik yalıtımlı EBEAH yapısı üzerinde çok sayıda, farklı atmosferik sıcaklıklarda OMA çalışması yapılması planlanmış olsa da istenen sayıda uygulama yapılması mümkün olmamıştır. Çalışma yapılması tasarlanan süreçte hastane yapısının tadilata alınması bunun en önemli nedenidir. Bu çalışmanın temel amacı hastane modal davranışının mevsimsel olarak değişiminin incelenmesi, bu ilişkinin matematiksel olarak ifade edilerek soğuk hava koşullarının hâkim olduğu bölgelerde inşa edilmek üzere tasarım yapılacak olan kauçuk izolatörlü yapılar için bir yol gösterici teknik bilgi üretilmesi olmuştur. Ancak, yeter sayıda OMA çalışması yapılamadığından deneysel veri kullanılarak bu amaca ulaşılması mümkün olmamıştır. Bu durumda, daha spesifik bir literatür taraması yapılarak LRB türü kauçuk izolatör mekanik özelliklerinin sıcaklığa bağlı değişimini konu edinen araştırmalara ulaşılarak; deneysel OMA verisi ile ilgili literatür birleştirilmek suretiyle daha bütüncül bir sonuca ulaşılmaya çalışılmıştır. Bu amaçla gerçekleştirilen çalışmalar takip eden bölümde sunulmaktadır.

4.4. OMA Sonuçlarının İlgili Literatür ile Değerlendirilmesi

Tez kapsamında yapılan çalışmaları ilgili literatürle ilişkilendirmek adına, sismik yalıtım uygulamaları tarihine biraz daha yakından bakmakta yarar görülmektedir. Sismik izolasyon fikri on dokuzuncu yüzyılın sonlarına dayanmaktadır. Ancak

uygulama, uygun ticari sismik yalıtım bileşenlerinin piyasada olmaması nedeniyle ertelenmiştir.

1980' lerin ortalarından bu yana belirli türdeki mühendislik yapılarında sismik yalıtım uygulamalarına ilişkin önemli gelişmeler yaşanmış ve sismik izolasyon deprem mühendisliği camiası tarafından orta ve büyük ölçekli depremlere maruz kalabilecek yapılar için son derece uygulanabilir bir tasarım seçeneği olarak kabul edilmeye başlanmıştır.

Sismik yalıtım sistemlerinin tarihsel gelişimi ve yakın dönem literatürü üzerinde oldukça kapsamlı inceleme ve değerlendirmeler **Kelly (1986)** ve **Buckle ve Mayes (1990)** tarafından yapılmıştır. Son yıllarda, sismik yalıtım cihazları ve sistemlerinin davranışını anlamak amacıyla çok sayıda çalışma gerçekleştirilmiştir. Aralarında; elastomerik yastıklar, sürtünme esaslı izolatörler, kayıcı mesnet türündeki yalıtım cihazlarının da yer aldığı sismik izolasyon sistemleri geliştirilmiş ve öncelikle köprülerin sismik tasarımlarında pratik olarak kullanılmıştır.

Kurşun çekirdekli kauçuk izolatör (LRB) 1970' li yıllarda Robinson tarafından tabakalı (lamine) kauçuk sistemin çekirdeğine bir kurşun blok yerleştirmek suretiyle daha yüksek sönüm ve başlangıç rijitliği elde etmek amacıyla geliştirilmiştir. LRB izolatörler ilk olarak 1978 yılında Yeni Zelanda' daki Toetoe Köprüsü inşaatında sismik yalıtım amacıyla kullanılmışlardır. Gan (2016) Amerika Birleşik Devletleri' ndeki ilk sismik yalıtım uygulaması ise 1985 yılında Sierra Point Overhead karayolu köprüsünde LRB izolatörler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bir yıl sonra, 1986 yılında, Carafone Köprüsü İtalya' nın LRB izolatörle sismik yalıtımlı olarak inşa edilirken Japonya' daki Miyagawa Köprüsü LRB izolatörlerle Japonya' da inşa edilen ilk sismik yalıtımlı köprü olmuştur.

O zamandan bu yana Kikuchi ve Aiken (1997), Huang ve Chiou (1996) ve Mori vd., (1996) çalışmaları en dikkat çekicileri olmakla birlikte; LRB izolatörlerin mekanik özellikleri ve analitik modelleri üzerine çok sayıda araştırma yapılmıştır.

Bu noktada, tez konusu sismik yalıtımlı bir hastane binası iken LRB izolatörlerle sismik yalıtımlı olarak inşa edilen köprülere ilişkin çalışmalar üzerinde neden durulduğu sorusu akla gelebilir. Tez konusu, soğuk kış koşullarının hâkim olduğu bir bölgede LRB izolatörlerle sismik yalıtımlı olarak inşa edilmiş bir hastane yapısı davranışının modal parametreler üzerinden incelenmesidir. Bu nedenle, LRB türü izolatörlerin soğuk hava koşullarındaki davranışının incelendiği çalışmalara ilişkin literatüre ulaşılması gerekmektedir. Çok kısıtlı sayıda da olsa; bu alandaki çalışmaların atmosferik koşullara açık bir şekilde köprü imalatlarında kullanılan LRB türü izolatörler üzerinde yapıldığı görüldüğünden literatüre bu alandan bir giriş yapılmıştır.

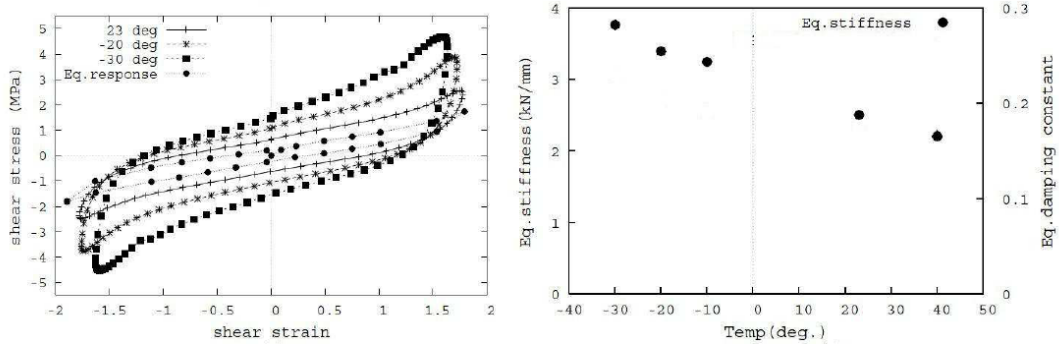
Erişilebilen literatürde, LRB türü yalıtım unsurlarının köprü yapılarındaki kullanımına ilişkin iki çalışmanın oldukça dikkat çekici olduğu düşünülmektedir. Bu çalışmalardan ilkinde **Park vd. (2002)** farklı türdeki sismik yalıtım sistemlerinin çok açıklıklı sürekli köprü sistemlerinin sismik performansları üzerindeki etkisi karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Diğer önemli çalışma ise; **Jangid ve Kelly (2001)** çalışması olup farklı sismik yalıtım sistemleri kullanılarak inşa edilmiş köprülerin yakın saha depremleri etkisi altındaki davranışları çalışma konusu olmuştur. **Ruiz ve Hayashikawa (2003)** çalışması araştırma sonuçları ise sismik yalıtımlı olarak inşa edilen köprülerin deprem davranışı üzerinde, *atmosferik sıcaklık da dâhil olmak üzere*, pek çok parametrenin etkili olduğunu ortaya koymuştur. Bu durumda, kauçuk izolatörü oluşturan malzemelerin, özellikle kauçuğun, farklı sıcaklıklar altındaki mekanik özelliklerinin değişimi konusu önem arz etmektedir.

LRB türü izolatörlerin temel bileşenlerinden biri olan kauçuk malzemenin sıcaklığa bağlı mekanik davranışı ilk olarak 1805 yılında Gough ve Joule tarafından araştırılmıştır. **Gan (2016)** çalışmada entropi nedeniyle, malzeme mutlak sıcaklığına bağlı olarak kauçuk malzeme elastik özelliklerinin değişiklik gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır. İlaveten, yakın geçmişte kauçuk malzemenin termo-mekanik özelliklerinin incelendiği, **Khan ve Lopez-Pamies (2002)** benzeri çok sayıda çalışmanın da olduğu görülmektedir.

İlgili literatürdeki deneysel sonuçlar, kauçuk malzemenin yükleme hızından bağımsız davranışının sıcaklığa zayıf bir şekilde bağlı olduğunu gösterirken; malzeme

ortam sıcaklığının yükleme hızına bağlı davranışı önemli ölçüde etkilediğini göstermeleri bakımından önemlidir. LRB türü izolatörlerin zorunlu standart deneylerinin belirli yükleme hızları altında, belirli laboratuvar sıcaklıklarında yapıldığı; ancak izolatörlerin sahada maruz kalacakları deprem etkisi altındaki yükleme durumları düşünüldüğünde bu tespitinin oldukça önemli olduğu düşünülmektedir.

Literatürde, kapsamlı deneysel programlar dahilinde, -30°C ila $+40^{\circ}\text{C}$ arasındaki sıcaklıklar için kauçuk izolatörlerin sıcaklığa bağlı termo-mekanik davranışını, sinüzoidal yüklemeler altında incelendiği çalışmalar olduğu görülmektedir. Wei, vd. (1992) Söz konusu deneysel sonuçların, reolojik modellerin sıcaklığa bağlı olarak oluşturulması gerekliliğini ortaya koyduğu görülmüştür. Gan (2016) çalışmasında, Wei, vd. (1992) metninde sunulan deneysel sonuçlar kullanılarak Şekil 4.23' te görüldüğü şekilde sismik yalıtım sistemleri üzerinde sıcaklık etkisinin incelenmesine ilişkin bazı pratik modeller oluşturulmuştur. Gan, vd. (2013) çalışmasında ise düşük sıcaklıkların kauçuk izolatör mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilediği sonucuna ulaşıldığı ifade edilmiştir.



Şekil 4.23 LRB izolatörler üzerinde sıcaklık etkisi (Gan, 2016)

Choun vd (2014) çalışmasında ise LRB türü kauçuk izolatörlerin mekanik özelliklerindeki değişkenliklerin sismik davranış üzerindeki etkileri farklı yer hareketleri için incelenmiştir. Çalışmada, LRB türü kauçuk izolatörlerin karakteristik dayanım ve akma sonrası rijitliklerinin sıcaklığa bağlı olarak hesaplanması amacıyla üretilen iki bağıntı sunulmuştur. Bağıntı (4.3) ve bağıntı (4.4), her iki parametre için de 15°C de elde edilmiş karakteristik dayanım ve akma sonrası rijitlik değerleri üzerine kurgulanmış bağıntılardır. Tez çalışmasına konu olan LRB türü kauçuk izolatör testleri 20°C sıcaklıkta yapılmış olup elde edilen veri 15°C sıcaklık için geçerli olmadığından bu

bağıntılar kullanılarak üretilen parametreler ile yapılacak teorik modal analiz sonuçları ile OMA sonuçlarının kıyaslanması yoluna gidilmemiştir.

$$Q_{d,t} = 1.146e^{-0.00879t} * Q_{d,15} \quad (4.3)$$

$$K_{d,t} = 1.041e^{-0.00271t} * K_{d,15} \quad (4.4)$$

Burada; t °C cinsinden sıcaklık, and $Q_{d,15}$ and $K_{d,15}$ sırasıyla 15 °C sıcaklıktaki karakteristik dayanım ve akma sonrası rijitlik değerleridir.

Bu noktada, (Gan, 2016) çalışmasına özel bir parantez açmanın gerekli olduğu düşünülmektedir. Söz konusu doktora tez araştırmasında, karlı soğuk bölgelerde inşa edilen sismik yalıtımlı köprülerin düşük sıcaklık etkileri altındaki sismik davranışları incelenmiştir. Çalışma neticesinde, LRB türü izolatörlerin sıcaklığa bağlı olarak rijitlik ve akma kuvveti değerlerini hesaplamaya yönelik iki bağıntı üretilmiştir. Bağıntı (4.5) ve bağıntı (4.6) kullanılarak sırasıyla, LRB izolatör için rijitlik oranı ve akma kuvveti oranı hesaplanması önerilmektedir.

$$y_1 = -0.206 \times \ln(x + 40) + 1.855 \quad (4.5)$$

$$y_2 = -0.335 \times \ln(x + 40) + 2.388 \quad (4.6)$$

Burada; y_1 rijitlik oranı ; y_2 akma kuvveti oranı; x ise sıcaklık değeridir.

Bağıntı (4.5) ve Bağıntı (4.6) kullanılarak, EBEAH yapısı LRB izolatörlerinin OMA çalışmaları yapıldığı sıcaklıklardaki izolatör parametreleri hesaplanarak teorik modal analizler yapılmış ve sonuçlar Çizelge 4.20' de sunulmuştur. Buradaki temel amaç, deneysel olarak elde edilen modal davranış parametrelerinin teorik modal analizde kabul edilebilir farklar mertebesinde elde edilmesini sağlayan bir yaklaşım geliştirmek ve uygulamayı farklı atmosferik sıcaklıklardaki modal parametrelerin hesaplanması için kullanabilmektir. y_1 ve y_2 değerleri oran olup; hesaplamalarda hastane yapısında kullanılan LRB izolatörlerin 20 °C sıcaklıkta yapılmış deneylerinden elde edilen parametre değerleri referans olarak kullanılmıştır.

Çizelge 4.20 Gan (2016) Çalışması uyarınca hesaplanan izolatör parametreleri kullanılarak yapılan Teorik Modal Analiz sonuçları ile OMA değerlerinin karşılaştırılması

OMA	Dış Ortam Sıc. (°C)	İzolatör Katı Sıc. (°C)	Deneysel		Teorik		k_{eff} (kN/m) (Bağıntı 4.5' e Göre)		Fy (kN) (Bağıntı 4.6' ya Göre)	
			Mod Şek.	Periyot (sn)	Mod Şek.	Periyot (sn)	LRB 800	2424	LRB 800	585
Ölçüm-3	0	4	X*	2,146	Y**	2,496	LRB 900	3102	LRB 900	780
			Z***	2,016	Z***	2,478	LRB 1000	3738	LRB 1000	944
			Y**	1,898	X*	2,464	LRB 1100	4483	LRB 1100	1124
							NRB 800	1614	NRB 800	35
Ölçüm-4	10	15	X*	2,470	Y**	2,565	LRB 800	2288	LRB 800	541
			Z***	2,370	Z***	2,546	LRB 900	2927	LRB 900	721
			Y**	2,008	X*	2,533	LRB 1000	3527	LRB 1000	872
							LRB 1100	4231	LRB 1100	1038
							NRB 800	1543	NRB 800	31

X*: X Eksenli Yatay Öteleme

Y**: Y Eksenli Yatay Öteleme

Z***: Z Eksenli Etrafında Burulma

Çizelge 4.20' de sunulan Ölçüm-3 ve Ölçüm-4 olarak adlandırılan OMA çalışmalarının yapıldığı günlerde izolatör katı sıcaklıkları ölçülemedi. Ancak, dış ortam sıcaklığına bağlı olarak izolatör katı sıcaklığının incelenmesi amacıyla ayrıca sıcaklık ölçümleri alınmıştır. Bu ölçümler üzerinde yapılan inceleme sonucunda; izolatör katının her yerinde sıcaklığın aynı olmadığı, kat kenarlarından merkeze doğru sıcaklığın arttığı belirlenmiştir. Bununla birlikte, izolatör katı sıcaklığının ortalama olarak dış ortam sıcaklığından +5°C fazla olduğunu sonucuna varılmıştır. Bu bilgi kullanılarak, OMA çalışması yapılan günlerdeki izolatör katı sıcaklıkları hesaplanmış ve bu sıcaklıklar için Gan (2016) çalışmasında sunulan bağıntı (4.5) ve bağıntı (4.6) ile hesaplanan izolatör parametreleri SAP2000 yazılımında oluşturulan sonlu elemanlar modeline tanımlanmak suretiyle, model üzerinde teorik modal analizler yapılmıştır. Gerek Ölçüm-3 ve gerekse Ölçüm-4 için elde edilen deneysel modal parametreler ile Gan (2016) çalışması temel alınarak gerçekleştirilen teorik modal analiz sonuçları arasında önemli farklar olduğu görülmüştür. Örneğin; deneysel modal analiz

çalışmasında birinci mod şekli X eksenine paralel yönde yatay öteleme hareketi olarak belirlenirken; bu mod şekli teorik modal analizde üçüncü mod için hesaplanmıştır. Teorik modal analizde birinci mod şekli olarak Y eksenine paralel yönde yatay öteleme hareketi hesaplanmıştır ki; bu hareket deneysel modal analiz çalışmasında belirlenen birinci mod şeklindedir. Düşey eksen etrafındaki yatay burulma hareketi hem teorik hem de deneysel modal analiz hesaplamalarında ikinci mod şekli olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte, karşılaştırması yapılabilen ikinci mod için; teorik modal analiz sonucunun gerek Ölçüm-3 ve gerekse Ölçüm-4 OMA çalışmalarından elde edilen periyot değerinden daha yüksek değerler verdiği görülmektedir. Bu mod şekli için periyot farkları sırasıyla, %22,9 ve %7,4 olarak hesaplanmıştır. Gan (2016) çalışmasında sunulan bağıntılarla OMA yapılan günlerdeki izolatör katı sıcaklıkları için hesaplanan parametrelerle gerçekleştirilen teorik modal analiz sonuçlarının deneysel dinamik davranış parametreleri ile eşleşmediği sonucuna ulaşılmıştır. Bu durumda, sunulan bağıntıların güncellenerek analizlerin tekrarlanması yoluna gidilmemiştir. Bunun temel nedeni ise, elde yeter sayıda OMA çalışması sonucu bulunmayışıdır. Gan (2016) çalışmasında sunulan bağıntıların çok sayıda, farklı sıcaklıklarda tekil izolatör testi sonucunda üretildiğinin altı çizilmelidir.

OMA yapmadan, EBEAH yapısı için farklı sıcaklıklardaki modal davranış parametrelerinin hesaplanmasına imkân sağlayan analitik bir yöntem arayışı dâhilinde ikinci bir çalışma daha yapılmıştır. Çalışmada, hastane yapısı sismik tasarım raporlarındaki kauçuk izolatör hesapları tekrar çalışılmış; izolatör tasarımında dikkate alınan kurşun ve kauçuk malzeme mekanik özellikleri OMA yapılan günlerdeki izolatör katı sıcaklığı için tekrar hesaplanarak izolatör mekanik özellikleri belirlenmiştir. Kauçuk malzemenin farklı sıcaklıklardaki mekanik özellikleri Gordone ve Gasualdi (2012) çalışmasına uyarınca hesaplanmıştır. Bu çalışmaya ilişkin modal analiz sonuçları Çizelge 4.21’ de özetlenmektedir. Bununla birlikte, izolatör mekanik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan kurşun malzeme akma dayanımının farklı sıcaklıklardaki değerinin araştırıldığı bir çalışmaya erişilebilen literatürde rastlanamamıştır. Bu nedenle hesaplamalarda kurşun malzeme akma dayanımı, farklı sıcaklıklar için sabit olmak üzere, proje statik hesap raporunda kullanıldığı şekilde nominal değer olarak 9,7 MPa alınmıştır.

Çizelge 4.21 Gordone ve Gasualdi (2012) Çalışması uyarınca belirlenen kauçuk malzeme mekanik özellikleri için hesaplanan izolatör parametreleri kullanılarak yapılan Teorik Modal Analiz sonuçları ile OMA değerlerinin karşılaştırılması

OMA	Dış Ortam Sıc. (°C)	İzolatör Katı Sıc. (°C)	Deneysel		Teorik		k_{eff} (kN/m) Cordone (2012)' ye Göre		Fy (kN) Cordone (2012)' ye Göre	
			Mod Şek.	T (sn)	Mod Şek.	T (sn)	LRB 800	2855	LRB 800	410
Ölçüm-3	0	4	X*	2,146	X*	2,292	LRB 900	3619	LRB 900	546
			Z***	2,016	Z***	2,272	LRB 1000	4422	LRB 1000	661
			Y**	1,898	Y**	2,256	LRB 1100	5305	LRB 1100	786
							NRB 800	2380	NRB 800	33
Ölçüm-4	10	15	X*	2,470	X*	2,457	LRB 900	3141	LRB 900	546
			Z***	2,370	Z***	2,437	LRB 1000	3837	LRB 1000	661
			Y**	2,008	Y**	2,421	LRB 1100	4602	LRB 1100	786
							NRB 800	1973	NRB 800	33

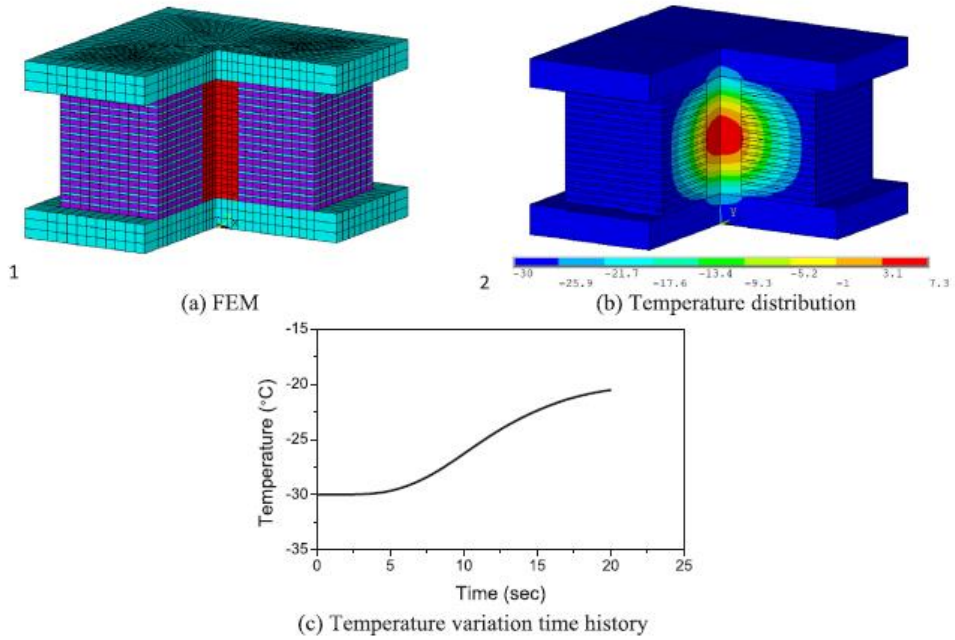
X*: X Eksenli Yatay Öteleme
Y**: Y Eksenli Yatay Öteleme
Z***: Z Eksenli Etrafında Burulma
T: Periyot (sn)

Çizelge 4.21 incelendiğinde, her iki OMA çalışması için de deneysel ve teorik mod şekillerinin örtüştüğü görülmektedir. Ölçüm-3 OMA uygulaması için teorik ve deneysel periyot değerleri arasındaki farklar birinci, ikinci ve üçüncü mod şekilleri için sırasıyla %6,8 , %12,7 ve %18,9 olarak hesaplanmıştır. Aynı fark değerleri Ölçüm-4 OMA uygulaması için yine sırasıyla %0,5 , %2,8 ve %20,6 olarak belirlenmiştir. Bu durumda, çalışılan teorik yaklaşımın daha yüksek ortam sıcaklığında gerçekleştirilen Ölçüm-4 ile daha uyumlu sonuçlar verdiği tespiti yapılabilmektedir. Her iki OMA uygulaması için de; üçüncü mod şekline ait deneysel periyot değeri ile teorik değer arasında ~%20 mertebesinde büyük bir fark olduğu görülmektedir.

Çalışılan bu yöntemin, Gan (2016) çalışmasında sunulan bağıntılar üzerinden gerçekleştirilen çalışmaya göre daha olumlu teorik sonuçlar sunduğu görülmektedir. Ancak, bu yöntemin düşük sıcaklıklar için deneysel veri ile daha büyük farklar

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

oluşturan teorik periyot değerleri üretmiş olması üzerinde çalışılması gereken bir husus olarak görülmektedir. Daha önce de belirtildiği gibi, kurşun malzeme mekanik özelliklerinin, *bu durum için akma dayanımı yeterlidir*, sıcaklıkla değişiminin incelendiği bir çalışmaya erişilememesi nedeniyle tüm sıcaklıklar için kurşun akma dayanımı değeri sabit alınmıştır. Bu durumun, özellikle Ölçüm-3 gibi daha soğuk hava koşullarındaki modal davranışın teorik olarak yakalanamamasının temel bir nedeni olduğu düşünülmektedir. Bu bakımdan, Deng vd. (2020) çalışmasına bakılmasının teknik açıdan önemli olduğu düşünülmektedir. Çalışmada düşük atmosferik sıcaklıklarda kurşun çekirdekli kauçuk izolatörle sismik yalıtımlı olarak inşa edilmiş bir karayolu köprüsünün sismik davranışı incelenmiştir. Araştırmada üç farklı geometrik ölçüye sahip LRB izolatörlerle sismik yalıtımlı olarak modellenen köprü yapısının farklı deprem kayıtları altında dinamik analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu analizler dâhilinde, yapı üzerinde Kobe Deprem kaydı ile gerçekleştirilen dinamik analiz esnasında ANSYS yazılımı ile modellemesi yapılan LRB türü izolatörün termal analizleri yapılmış ve sonuçları Şekil 4.24’ deki gibi sunulmuştur. İzolatör modellenirken; çelik malzeme turkuaz, kauçuk malzeme mor ve kurşun malzeme kırmızı renkli olacak şekilde tanımlanmış; tüm malzemelerin termal iletkenlik katsayıları ayrı ayrı tanımlanmıştır. Analiz başlangıcında izolatör sıcaklığının $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ olduğu ifade edilmiştir.



Şekil 4.24 LRB-S-350 türü izolatörün Kobe Depremi’ nin 20 saniyelik kaydı altındaki termal analiz sonuçları

Şekil 4.24' te sunulan analiz sonuçları incelendiğinde izolatör deprem etkisi altında çalışırken sürtünmeye bağlı olarak iç kesimlerin ısındığı, özellikle kurşun malzeme sıcaklığının önemli ölçüde arttığı görülmektedir. Öyle ki; analiz başlangıcında -30 °C olarak tanımlanan kurşun malzeme sıcaklığının dinamik analizin 20. saniyesinde +3 °C' ye kadar yükseldiği görülmektedir. Benzer sıcaklık artışının kurşun çekirdek çevresindeki malzemeler için de geçerli olduğunu ifade etmek mümkündür. Söz konusu analiz sonuçları, deprem esnasında dahi LRB izolatör malzeme sıcaklıklarının önemli ölçüde değişebileceğini buna bağlı olarak da izolatör mekanik özelliklerinin değişim gösterebileceği çıkarımını yapmayı mümkün kılmaktadır. Bu husus oldukça önemlidir.

Sıcaklığa bağlı izolatör mekanik özelliklerinin, malzeme mekanik özellikleri üzerinden belirlenmesi çalışmasında kurşun dâhil; tüm malzemelerin mekanik özelliklerinin sıcaklığa bağlı değişimlerinin dikkate alınmasının gerekli olduğu görülmektedir. Sonuçları Çizelge 4.20' de sunulan çalışmada kurşun malzeme akma dayanımının, teknik bilgi eksikliği nedeniyle, tüm sıcaklık durumları için sabit alınmasının bir eksiklik olduğu ifade edilmelidir. İlerleyen dönemlerde çalışmanın bu bakımdan geliştirilmesinin gerekli olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

İki farklı atmosferik sıcaklık için deneysel olarak elde edilen modal davranış parametrelerinin teorik olarak hesaplanabilmesi için üçüncü bir yöntem daha çalışılmıştır. Ölçüm-3 OMA sonuçları, izolatör rijitliklerinin soğuk hava dolayısıyla arttığı yorumunun yapılmasına imkân tanımaktadır. Ölçüm-3 OMA çalışması neticesinde elde edilen deneysel sonuçların, teorik model üzerinde hesaplanabilmesi amacıyla rijitlik kalibrasyonuna ilişkin bir çalışma yapılmış ve detaylar takip eden bölümde sunulmuştur.

4.5. Yapısal Modelin Ölçüm-3 OMA Sonuçları Doğrultusunda Kalibrasyonu ve Sıcaklıkla İzolatör Rijitlik Değişiminin İrdelenmesi

Elastomer malzeme olan kauçuk, günlük hayatımızda birçok alanda aktif olarak kullanılmaktadır. Kauçuğun karakteristik özelliği gereği esnek bir yapıya sahip olmasıyla beraber, kauçuk malzemeye kükürt ilave edilerek güçlendirilmesiyle volkanize kauçuk malzemesi elde edilmektedir. Bu kauçuk yüksek dayanım özelliği

gösterdiği bilinmektedir. Dolayısıyla izolatörlerde genellikle vulkanize kauçuk kullanılması tercih edilmektedir. Zamana bağlı aşınma dayanımı yüksek ve deprem kuvvetlerini sönmleme kapasitesi yüksek malzeme olduğu bilinmektedir. Deprem kuvvetlerinin etkisiyle elde edilen deplasman sonucunda, kauçuk malzemede yırtılma olmadan, üst yapıyı ilk konuma getirme özelliği sayesinde genelde tercih edilmektedir. Şayet kauçuk malzeme sıcakta sünek bir karaktere bürünürken soğukta ise daha rijit davranış gösterdiği bilinmektedir. Erişilebilen literatür taramasında bu konu üzerinde durulmuş olup; kauçuk malzemenin sıcaklığa bağlı rijitlik değişimi konusunda birçok makaleye ulaşılmıştır. İncelenen makaleler doğrultusunda kauçuk, -40°C ' de sonsuz rijitlik artışı meydana geldiği Pınarbaşı ve Akyüz (2005) ve Roeder vd. (1987) çalışmalarında belirtilmektedir.

Bu bağlamda, sıcaklık etkisi altında rijitlik değişimi kauçuk izolatörlerde dikkat edilmesi gereken çok önemli bir husustur. Tez kapsamında EBEAH için sunulan izolatör test raporları incelendiğinde; çalışma ortam sıcaklığı 10°C olarak hesap yapılmış, üretilen izolatörlerin testleri ise oda sıcaklığında $20\pm 5^{\circ}\text{C}$ ' de gerçekleştirilmiştir. Elde edilen test sonuçları ile hesap raporu değerlerinin birbirlerini doğrular nitelikte olduğu görülmüştür. Fakat Erzurum, Türkiye'nin doğusunda yer almakla beraber yerleşim yeri yaklaşık 1900 m rakıma sahiptir. Meteorolojik incelemeler doğrultusunda Erzurum' un yıllık sıcaklık ortalaması 6°C olmakla beraber kışın -30°C ye kadar düştüğü meteorolojik kayıtlardan tespit edilmiştir. Erzurum ilinde kullanımı uygun görülen kauçuk izolatörler hakkında kademeli sıcaklık-rijitlik değişimini konu alan herhangi bir rapor veya literatür bulunamıştır.

Ölçüm-4' te dış ortam sıcaklığı 10°C iken elde edilen periyot değeri 2,47 sn olarak belirlenmiştir. Hastanede kullanılan izolatörlerin resmi hesap raporları incelendiğinde izolatör çalışma sıcaklığı 10°C olarak hesap yapılmış ve bu doğrultuda periyot değeri 2,50 sn olarak sunulmuştur. Bağıntı 4.7 kullanılarak, periyoda bağlı ortalama k_{eff} hesaplanmış olup raporda kullanılan ortalama efektif rijitlikle karşılaştırılmıştır. Formülde belirtilen " T " periyot, " m " yapının toplam kütlesi, " k_{eff} " toplam efektif rijitlik olarak tanımlanmaktadır.

$$T_{(10^{\circ}C)} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k_{eff}}} \quad (4.7)$$

Ölçüm-4 OMA çalışmasından elde edilen 2.47 sn değerindeki birinci periyot dikkate alınarak ve yapının toplam kütlesi $1,44 \times 10^8$ kg olarak rapordan alınmış olup elde edilen “ k_{eff} ” değeri; hesap raporlarında belirtildiği gibi toplam izolatör sayısına (386) bölünerek ortalama izolatör rijitliği bulunmuştur. Benzer işlemler; $0^{\circ}C$ ’ de titreşim kaydı alınan alınmak suretiyle gerçekleştirilen OMA uygulaması için de yapılmıştır. Elde edilen ortalama rijitlik tablo formatında Çizelge 4.22’ de karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Çizelge 4.22 Kauçuk izolatörler için ortalama rijitlik değerleri

Modal Analiz	Sıcaklık ($^{\circ}C$)		T_1 (sn)	k_{eff} (N/m)	Rapor Değerine Oranla Fark(%)
	Atmosfer	İzolatör Katı			
Rapor - Teorik	-	10	2,500	$2,40 \times 10^6$	-
Ölçüm-3 OMA	0	4	2,146	$3,19 \times 10^6$	32,8
Ölçüm-4 OMA	10	15	2,469	$2,42 \times 10^6$	0,83

Çizelge 4.22’ de sunulan değerler incelendiğinde; hesap raporunda kullanılan yöntemle Ölçüm-3 uygulaması neticesinde elde edilen birinci periyot için hesaplanan k_{eff} değerinin, hesap raporundaki değerden %32,8 fazla olduğu görülmektedir. Ancak, bu hesaplamalarda yapı kütlesinin sabit $1,44 \times 10^8$ kg olarak dikkate alındığı ifade edilmelidir.

Sıcaklık düşüşü ile birlikte, yapı periyodundaki düşüşün izolatör rijitliğindeki artış ile ilgili olduğu görülmektedir. Değerlendirmenin bu aşamasında, SAP2000 ortamında oluşturulan sonlu elemanlar modelinin Ölçüm-3 sonuçlarını verecek şekilde kalibre edilmesi yoluna gidilmiştir. Buradaki amaç, analitik olarak hesaplanacak olan rijitlik farkının Çizelge 4.22’ de sunulan %32,8’lik değerle kıyaslanmasıdır. İteratif bir yaklaşımla, modelde başlangıçta tanımlanan izolatör rijitlikleri artırılmış ve birinci periyot için 2,146 saniye değeri elde edilmeye çalışılmıştır. Modelde hesaba katılan izolatör rijitlikleri Çizelge 4.23’ te görüldüğü gibi artırılarak, Ölçüm-3’ te elde edilen periyot değerine ulaşılan kadar devam edilmiştir.

Çizelge 4.23 Sonlu eleman modelinin Ölçüm-3 sonuçları için kalibrasyonuna ilişkin değerler tablosu

		Teorik					
Rijitlik Değişimi (%)	Periyot (sn)			Teorik Rijitliğe Referanslı Fark (%)			
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₁ -Azalış	T ₂ -Azalış	T ₃ -Azalış	
Arttırılmış	45%	2,108	2,091	2,075	-15,21	-14,72	-13,61
	40%	2,143	2,145	2,110	-13,80	-12,52	-12,16
	30%	2,218	2,201	2,186	-10,78	-10,24	-8,99
	20%	2,304	2,286	2,272	-7,32	-6,77	-5,41
	10%	2,400	2,380	2,360	-3,46	-2,94	-1,75
Rapor	0%	2,486	2,452	2,402	0,00	0,00	0,00

Çizelge 4.23' te sunulan değerler incelendiğinde Ölçüm-3' te elde edilen 2,146 sn periyot değerine yaklaşık olarak %40 izolator rijitlikleri artışı sonucu ulaşıldığı görülmektedir. Bu değer, Çizelge 4.22' de hesaplanan %32,8' lik fark rakamından büyüktür. Oranlar arasındaki bu farkın, ölçüm alındığı gün hastane kütesinin hesap raporunda belirtilen değerden (DL+O.25LL) daha küçük olması ile açıklanabileceği düşünülmektedir.

10°C' de alınan Ölçüm-4 ile 0°C' de alınan Ölçüm-3 neticesinde hesaplanan birinci periyot değerleri arasında yaklaşık %40 rijitlik farkı olduğu gözlenmiştir. İzolatör katı sıcaklığı ile yapı periyodu değişimine ilişkin bir bağıntı türetilmesi için farklı sıcaklık koşulları altında daha fazla OMA çalışması yapılması gereklidir. Bu amaçla, çalışmalara devam edilmek istenmiş ancak hastane yapısında başlatılan tadilat (*çatı ekleme, muhtelif onarım*) nedeniyle OMA çalışması yapma imkanı ortadan kalmıştır.

Dış atmosfer koşullarındaki 10°C' lik sıcaklık farkının kauçuk izolator rijitliğinde deneysel olarak %32,8' lik bir artış meydana getirdiği tespit edilmiştir. Bu artış yapı periyodunu düşürmekte, *2,460 saniyeden 2,146 saniyeye*, tasarıma esas alınan spektral ivme değerinden daha büyük ivmelerin yapıyı zorlama ihtimalini gündeme getirmektedir. Bu nedenle, kauçuk izolator kullanılan yapılarda sıcaklık değişimi göz önünde bulundurularak tasarım yapılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Aksi takdirde izolatörde kullanılan kauçuk, soğuk havada rijitleşerek deprem anında istenilen deplasmanı karşılayamamakla beraber kauçukta kalıcı hasar oluşmasına neden olabileceği düşünülmektedir.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Tez çalışması kapsamında, kauçuk izolatörlü bir yapının soğuk hava koşulları etkisi altındaki davranışı operasyonel modal analiz yöntemi kullanılarak incelenmeye çalışılmıştır. Temel çıkış noktası, soğuk hava koşulları etkisi altında kauçuk izolatör rijitliğindeki muhtemel değişiklikler ve değişikliğe bağlı olarak yapının modal davranış parametrelerinin deneysel olarak belirlenmesi ile elde edilen değerler üzerinde inceleme yapılmasıdır. Araştırmanın öznesi, toplamda 386 adet kauçuk izolatör üzerine inşa edilmiş Erzurum Bölge Eğitim ve Araştırma Hastanesi yapısıdır. Söz konusu yapı uzun ve soğuk kış koşullarının hakim olduğu Erzurum ilinde inşa edilmiştir. Çalışmada operasyonel modal analiz yöntemi kullanılarak farklı atmosferik sıcaklıklarda binanın modal davranış parametreleri deneysel olarak elde edilmiştir. Buna ek olarak, izolatör katında ortam ve izolatör sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Araştırma sonucunda varılan sonuçlar ve öneriler aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir:

- Literatürde LRB türü izolatörle soğuk hava koşullarında sismik yalıtımlı olarak inşa edilmiş yapılara ilişkin çalışmaların neredeyse tamamının köprüler üzerinde büyük ölçüde teorik ve analitik çalışmalar şeklinde gerçekleştirildiği görülmektedir. Bu bakımdan, tez kapsamında Erzurum Bölge Eğitim ve Araştırma Hastanesi gibi blok bir yapı davranışının deneysel olarak incelenmesi özgün bir çalışmadır.

- Operasyonel modal analiz yöntemi ile sismik yalıtımlı bir yapıda modal davranış parametrelerinin deneysel olarak belirlenmesi mümkündür. Titreşim kayıtlarının yapı çatı katı hizasından ve izolatör katı üstünden alınması önerilmektedir. Aynı anda ölçüm alınması için yeter sayıda sensör bulunmaması durumunda *yüzer sensör-referans sensör* yöntemi kullanılması önerilmektedir.

- Atmosferik hava sıcaklığında 10°C' lik düşüşün izolatör efektif rijitliğinde yaklaşık %32.8 oranında artışa neden olabileceği deneysel olarak belirlenmiştir.

- Atmosferik sıcaklık düşüşüne bağlı olarak kauçuk izolatörlü yapıda, *izolatör katında iklimlendirme yapılarak sıcaklığın tasarım sıcaklığında tutulmaması durumunda*, yapı periyotlarının azaldığı ve bu durumda yapının sismik hareket anında daha büyük ivme değerleri ile zorlanabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Bu nedenle, kauçuk izolatörlü yapı tasarımında soğuk hava koşullarının değerlendirmeye alınması gerekmektedir.

- İncelenen yapı için atmosferik sıcaklığa bağlı olarak periyot değişimini veren bir bağıntı türetilmek istemiştir. Bu çalışma, farklı atmosferik sıcaklıklarda operasyonel modal analiz çalışması yapılarak deneysel veri sayısının artırılması ile güvenilir bir şekilde yapılabilecek bir çalışmadır. Ancak, hastane yapısında başlatılan tadilat çalışması nedeniyle operasyonel modal analiz çalışması yapma imkanı ortadan kalktığından, söz konusu çalışma deneysel olarak gerçekleştirilememiştir.

- İncelenen yapı için deneysel veri kullanılarak türetilmeyen, atmosferik sıcaklığa bağlı olarak periyot değişimini veren bağıntı eldesi için; mevcut olan deneysel modal analiz sonuçları ile literatür arasında ilişki kurmaya yönelik çalışmalar yapılmıştır. Farklı yaklaşımlar benimsenerek operasyonel modal analiz çalışmasının yapıldığı anda izolatör katı sıcaklığındaki izolatör mekanik özellikleri belirlenmiş ve bu değerler sonlu elemanlar modeline tanımlanarak teorik modal analizler yapılmıştır. Bu analizler sonucunda deneysel modal davranış parametrelerine en yakın sonuçlar; izolatör malzemeleri için sıcaklığa bağlı mekanik özelliklerin tanımlanması durumunda elde edilmişse de kurşun malzeme mekanik özellikleri hakkındaki bilgi noksanlığı çalışmanın eksik yanını oluşturmuştur. Söz konusu çalışmanın kurşun malzeme hakkında daha detaylı araştırmalar yapılarak ilerletilmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

- Yeni yapılacak yapılarda; kauçuk izolatör kullanılan veya kullanılması planlanan soğuk bölgelerde, bu malzemenin sıcaklıktan etkilendiği ve rijitlik değişimine uğrayarak karakteristik özelliklerinin değiştiği ve hatta aşırı soğukta kristalize olarak cam özelliği gösterdiği dikkate alınarak hesap yapılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca kauçuk izolatör kullanılan eski yapılarda ise izolatör katının iklimlendirme çalışması ile izolatörlerin çalışması gerektiği tasarım çalışma sıcaklığın sağlanması gerekmektedir.

- Hastane yapısı izolatör katında yapılan sıcaklık ölçümleri izolatör katında hava sıcaklığının kenar bölgelerden merkeze doğru arttığını göstermektedir. Ayrıca, izolatör katında kenarlardaki açıklıklar nedeniyle hava akımları oluşmaktadır. İzolatörlerin büyük çoğunluğu taş yünü ile sarılarak termal yalıtım sağlanmaya çalışılmış olsa da, alınan sıcaklık ölçümleri ortam sıcaklığı ile izolatör kauçuk sıcaklığının birbirine çok yakın olduğunu görülmüştür. Bu nedenle, izolatör katındaki sıcaklığın sabit tutulması amacıyla iklimlendirme çalışması yapılması önem arz etmektedir.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

- Erzurum Bölge Eğitim ve Araştırma Hastanesi üzerinde gerçekleştirilen çalışma benzeri araştırmaların sayısının artması LRB türü kauçuk izolatörlü yapı davranışının anlaşılması bakımından değerli olup bu alandaki literatür eksiğinin kapatılması için önemlidir.



KAYNAKLAR

- Anonim., 2018. Web Sitesi: www.erkurumbeah.saglik.gov.tr, Erişim tarihi: 25.08.2019
- Anonim., 2019. Web Sitesi: www.svibs.com/OMA, Erişim tarihi: 10.01.2019
- Anonim., 2019. Web Sitesi: www.tdg.com.tr/tr/urunler/4/e-quake, Erişim tarihi: 09.10.2019
- Billah, M. A., ve Todorov, B., 2019. Effects of Subfreezing Temperature on the Seismic Response of Lead Rubber Bearing Isolated Bridge. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 126, 1-13.
- Buckle, J. G., ve Mayes, R. L., 1990. Seismic isolation: History, Application And Performance - A World Overview, *Earthquake Spectra*, 6(2), 161-202.
- Carlos, M. G., Bailles, B., ve Moor, G., 2016. Seismic Isolation of Bridges in Cold Climates Using Lead Rubber Bearings. Atlanta: IJBRC.
- Çalık, İ., Bayraktar, A., ve Türker, T., 2016. Betonarme Kubbelerin Taş Yığma Duvarlı Camilerin Dinamik Davranışına Etkisinin Çevresel Titreşim Yöntemiyle İncelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31(3), 621-630.
- Çavdar, ř., ve Özdemir, G., 2018. Ölçeklendirilen Yakın Saha Deprem Kayıtlarının Farklı Doğrultularda Etkimesi Durumunda Yalıtım Birimi Maksimum Yer Değiştirmelerinde Gözlenen Değişim. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33(2), 585-598.
- Davas, S. Ö., ve Alhan, C., 2019. Reliability of Semi-Active Seismic Isolation Under Near-Fault Earthquakes. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 114, 146-164.
- Deneme, İ. Ö., Karabörk, T., ve Bilgehan, P. R., 2010. Temeli İzole Edilen Yapılarda Dinamik Yapı-Zemin Etkileşimi. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 26(1), 77-78.
- Deng, P., Gan, Z., Toshiro Hayashikawa, T., Matsumoto, T., 2020. Seismic Response of Highway Viaducts Equipped with Lead-Rubber Bearings Under Low Temperature, *Engineering Structures*, 209, 2020
- Doğru, A., 2014. Hastane Bİnasının Sismik İzolatörlerle Depreme Dayanıklı Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. 135. İstanbul.
- Eem, S., ve Hahm, D., 2019. Large Strain Nonlinear Model of Lead Rubber Bearings for Beyond Design Basis Earthquakes. *Nuclear Engineering And Technology*, 51, 600-606.
- Erdik, M., 2007. Binalarda Deprem Yalıtımı ve Ülkemizdeki Uygulamalar. Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 181-205. İstanbul.

- Erdik, M., ve Mowrtage, W., 2005. Design Of Lrb-Based Isolator System For Erzurum Hospital And Analysis Of Earthquake Response. İstanbul. 10 21, 2017 tarihinde alındı
- Erşeker, B., 2017. Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatörlerde Deprem Etkime Açısının Maksimum İzolatör Deplasman Etkisi. Yüksek lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. 172. Eskişehir.
- Galindo, M. C., Morr, G., Behane, R. J., Higuera, N. J., Bailles, B., Rassy, S., ve Pire, S. C., 2017. Dynamic Performance of Lead Rubber Bearings at Low Temperature. 1. W. Engineering (Dü.). içinde Santiago Chile.
- Gan, Z., 2016. Seismic Performance of Base-isolated Bridges under Low Temperature in Snow Cold Region, PhD Thesis, Laboratory of Bridge and Structural Design Engineering Graduate School of Engineering Hokkaido University, Japan.
- Gan, Z.P., Hayashikawa, T., Matsumoto, T., ve He, X.W., 2013. Study on seismic response analysis of curved grillage girder viaducts with base isolation system under low temperature, Proceeding of Hokkaido Chapter of JSCE, 69(A-53).
- Gordone, D., ve Gesualdi, G., 2012. Experimental Evaluation of the Mechanical Behavior of Elastomeric Materials for Seismic Applications at Different Air Temperatures. International Journal of Mechanical Sciences, 64, 127-143.
- Gökhan, E., 2009. Betonarme Yapılarda İzolatör Kullanımının Taşıyıcı Sistem Davranışına Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. 137. İstanbul.
- Guay, L. P., ve Bouaanani, N., 2016. Assessment of low Temperature Exposure for Design and Evaluation of Elastomeric Bridge Bearings and Seismic Isolators in Canada. Canada Journal Civil Engineering, 43, 851-863.
- Güner, G., 2012. Bir Hastane Yapısının Klasik Yöntemle ve Sismik İzolatör Kullanılarak Tasarımının Dinamik Yönden Karşılaştırılmasının Yapılması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. 137. İstanbul.
- Güneş, İ. V. ve Feyzulloğlu, E., 2019. Farklı Çalışma Ortamlarına Maruz Kalan Kauçuk Esaslı Konveyör Bant Malzemelerinin Adheziv aşınma Özellikleri. El-Cezeri Fen ve Mühendislik dergisi, 6(1), 131-139.
- Huang, J. S. ve Chiou, J. M., 1996. An Equivalent Linear Model Of Lead-Rubber Seismic Isolation Bearings, Engineering Structures, 18(7), 528-536.
- Jangid, R. S., and Kelly, J. M., 2001. Base Isolation for Near-Fault Motions, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 30, 691-707.
- Kalpakidis, L., Constantinou, M., ve Whittaker, A., 2010. Modeling Strength Degradation in Lead-Rubber Bearings Under Earthquake Shaking. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 39, 1553-1549.

- Karakurt, P., 2015. Sismik İzolatörlü Binalarda Kat Adedi Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı. 123. Niğde.
- Kelly, J. M., 1986. A seismic base isolation: Review and bibliography, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 5, 202-216.
- Kikuchi, M., and Aiken, I. D., 1997. An Analytical Hysteresis Model For Elastomeric Seismic Isolation Bearings, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 26, 215-231.
- Kubin, J., Kubin, D., Özmen, A., Şadan, O. B., Eroğlu, E., Sucuoğlu, H., ve Akkar, S., 2012. Seismic Isolated Hospital Design Practice in Turkey: Erzurum Medical Campus. 15 WCEE, 10.
- Meteoroloji 12. Bölge Müdürlüğü (MGM)., 2019. Meteorolojik Bilgiler. (H. Kırmızıtaş, Dü.) Erzurum, Türkiye.
- Mirkelam, Z. A., ve Derdiman, M., 2016. Katlar Arasında İzolatör Kullanılan Betonarme Binalarda Sismik Yalıtım Etkinliğinin Belirlenmesi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 28(1), 35-49.
- Montejo, L. A., Kowalsky, M. J., ve Hassan, T., 2009. Seismic Behavior of Flexural Dominated Reinforced Concrete Bridge Columns at Low Temperatures. *Journal of Cold Regions Engineering*, 23(1), 18-42.
- Mori, A., Carr, A. J., Cooke, N., ve Moss, P. J., 1996. Compression Behavior of Bridge Bearings Used for Seismic Isolation, *Engineering Structures*, 18(5), 351-362.
- Naimi, S., ve Waheb, M. H., 2019. Deprem Etkisindeki Yapıların Sismik Taban İzolasyonu ve Çoklu Ayarlı Kütle Sönümleyici Sistemleri ile Karma Korunması. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12(1), 499-516.
- Özdemir, G., ve Avşar, Ö., 2016. Use of Analyses to Estimate the Performance of a Seismically Isolated Structure. *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji dergisi*, 18(1), 161-177.
- Özdoğan, B. D., 2018. Schmidt Çekici Test Yönteminin Tarihi Yığılma Yapılarda Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesinde Kullanılmasının Araştırılması: Erzurum Kadana Camii Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, Erzurum Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. 135. Erzurum.
- Özkaya, C., 2010. Development of a New Seismic Isolatör Named "Ball Rubber Bearings". Doktora Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. 231. Ankara.
- Özpalkanlar, C. G., 2005. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Sismik İzolasyon ve Enerji Sönümleyici Sistemler. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. 162. İstanbul.

- Park, K. S., Jung, H. J., ve Lee, I. W., 2002. A Comparative Study on Seismic Performances of Base İsolasyon Systems for Multi-Span Continuous Bridge, *Engineering Structures*, 24, 1001-1013.
- Pastor, M., Binda, M., and Harcarik, T., 2012. "Modal assurance criterion". In *MMaMS 2012*, Vol. 48 of *Procedia Engineering*, pp.543–548. DOI: 10.1016/j.proeng.2012.09.551.
- Pınarbaşı, S., ve Akyüz, U., 2005. Sismik İzolasyon ve Elastometrik Yastık Deneyleri. *İMO Teknik Dergi*, 237, 3581-3598.
- Razzaq, m. k., Okuı, Y., Bhuiyan, A. R., Amin, S., Mitamura, H., ve Imai, T., 2012. Application of Rheology modeling to Natural Rubber and Lead Rubber Bearings:A Simplified Model and Low Temperature Behavior. *Journal of Japan Society of Civil Engineers*, 68(3), 526-541.
- Roeder, C. w., Stanton, J. F., ve Taylor, A. W., 1987. Performace of Elastomeric Bearings. Washington: National Cooperative Highway Research Program Report 298.
- Ruiz Julian, D., and Hayashikawa, T., 2003. Hardening Effect of Lead-Rubber Bearings on Nonlinear Seismic Behaviour of Highway Viaducts With Piers of Unequal Heights, *International Workshop on Structural Health Monitoring of Bridges/Colloquium on Bridge Vibration*, Kitami, Japan,141-148,1-2 September.
- Sağlam , D., 2017. Sismik İzolatörlerin Yüksek Binalarda Deprem Davranışına Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. 127. İstanbul.
- Saraçoğlu, G., 2013. Sismik Yalıtım Kavramı ve Taban Yalıtımı Uygulanmış Betonarme Bir Yapının Zaman Tanım Alanında Analizi. Yüksek Lisans Tezi,İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. 155. İstanbul.
- Severcan , M. H., ve Şen, P., 2019. Sismik İzolatörlü Binalarda Kat Adedi Etkisi. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8(2), 922-935.
- Shen, C.-y., Ping, T., Ma, Y.-h., ve Huang, X.-y., 2016. Critical Tension-Shear Load of Elastomeric Seismic İsolators: An Experimental Perspective. *Engineering Stuctures*, 121, 42-51.
- Soyluk, A., ve Tuna, M. E., 2011. Sismik Taban İzolasyonu Uygulaması İçin Tarihi Şehzade Mehmet Camisinin Dinamik Analizi. *Gazi Üniversitesi MÜhendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 26(3), 667-675.
- Şengel, H. S., Erol, H., ve Yavuz, E., 2009. Sismik İzolasyon Tekniği ve Kullanılışına İlişkin Örnek Uygulama. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22(2), 165-178.
- Yavuz, E., 2008. Sismik İzolasyon Tekniği ve Kullanılışına İlişkin Örnek Uygulama. Yüksek lisans Tezi, Osman Gazi Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü. 149. Eskişehir.

Young-Sun Choun, Junhee Park, and In-Kil Choi, 2014. Effects Of Mechanical Property Variability In Lead Rubber Bearings On The Response Of Seismic Isolation System For Different Ground Motions, Nuclear Engineering And Technology.

Yücesoy, A., 2005. Sismik İzolatörler İle Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. 142. Antakya.

Wei, Z., Kai, Q., Weihua, Z., ve Zhengxin, R., 1992. Test and Analysis of Bridge Vibration Isolation, Proceedings of the 10th World Conference on Earthquake Engineering, New Delhi, India, 4, 739-752.



EKLER

EK-1

ARALIK AYI İZOLATÖR SICAKLIK ÖLÇÜM KAYDI		
İzolatör Numarası	Sargılı Ölçüm	Sargısız Ölçüm
87	10.8	10.2
88	10.8	10.1
89	10.4	10.3
90	10.5	10.3
91	11.4	10.2
92	11.4	11
93	9.5	8.9
94	6.9	6.1
95	6.7	6
96	6.4	5.5
106	10.8	10.2
107	10.7	10.2
108	10.4	10.2
109	10.6	10.4
110	11.2	10.1
111	11.9	10.9
112	9.4	9.1
113	7.2	6.3
114	6.9	6.1
115	6.7	5.8
125	10.9	10.1
126	10.9	9.8
127	10.5	10.2
128	10.8	10.5
129	11.1	10.2
130	11.6	10.9
131	9.3	8.9
132	7.1	6.2
133	6.8	6.1
134	6.4	5.9
144	10.9	10.1
145	10.7	10.1
146	10.9	9.9
147	10.5	9.9
148	-	8.6

149	11.7	11.2
150	9.6	9
151	7.3	6.2
152	6.8	6.2
153	6.2	5.7
170	7.4	6
171	6.8	6.1
172	6.3	5.8

EK-2

OCAK AYI İZOLATÖR SICAKLIK ÖLÇÜM KAYDI			
İzolator Numarası	Sargılı Ölçüm	Sargısız Ölçüm	Atmosfer Sıcaklığı Ölçümü
87	6.5	5.9	5.6
88	6.3	5.5	5.2
89	6	5.1	4.9
90	5.6	4.8	4.4
91	5.6	4.7	4.3
92	3.6	3.1	1
93	2.4	1.9	0.5
94	1.9	0.9	0
95	0	-0.8	-1.7
96	-0.6	-1.2	-2.9
106	7.2	6.3	6.2
107	6.9	6	5.9
108	6.3	5.7	5.4
109	5.9	5.1	5
110	5.5	4.5	4.3
111	4.3	3.5	1.4
112	2.9	2.6	0.9
113	2.1	1.2	0.4
114	1.1	-0.1	-0.8
115	0.1	-0.6	-2.1
125	8.4	7.5	6.5
126	8	6.5	6.4
127	6.9	6.1	5.8
128	6.1	5.2	5.7
129	5.4	4.3	4.1
130	5.3	4.1	1.7
131	3.7	3.2	1.3
132	2.7	1.8	1

133	1.5	0.8	1
134	0.1	-0.5	-1.9
144	9.4	7.3	6.2
145	8.7	6.3	5.5
146	8.2	6	5.5
147	7.1	5.8	5.1
148		5.2	3.8
149	6.5	4.2	2.1
150	4.9	3.1	1.2
151	3.7	2.3	0.9
152	2	1	0
153	0.8	-0.3	-0.1
170	3.5	2.1	1.2
171	1.7	0.8	0.3
172	0.9	-0.1	0

EK-3





ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı-Soyadı : Muhammet ŞAHİN
Uyruğu : T.C.
Doğum Tarihi ve Yeri : 01.03.1991 Erzurum
Medeni Hali : Bekar
Telefon : +90 507 988 00 34
e-mail : muhammetsahin48@gmail.com

Eğitim

Derece	Üniversite	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Erzurum Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı	2020
Lisans	Atatürk Üniversitesi İnşaat Mühendisliği	2016
Lisans	Atatürk Üniversitesi Kimya Mühendisliği	2014, İnşaat Mühendisliğine Yatay Geçiş (3.Sınıf)
Lise	Atatürk Lisesi	2009

Konferans Bildirileri

- 1) Tam metin bildiri, Gedik, B., Okuyucu, D., Şahin, M., Şahin, B., ve Özdoğan, D. B. (2020). Soğuk Bölgelerde Betonarme İmalata İlişkin Bir Algı Anketi ve İmalata Yönelik Ön Çalışmalar. 4. Uluslararası GAP Matematik Mühendislik-Fen ve Sağlık Bilimleri Kongresi, Kongre Tam Metin Kitabı, (s. 60-72). Gaziantep.
- 2) Tam metin bildiri, Şahin, M., Okuyucu, D., Şahin, B., Gedik, B., ve Özdoğan, D. B. (2020). Sismik Yalıtımlı Bir Bina İçin Operasyonel Modal Analiz Titreşim Ölçüm Şemalarının İncelenmesi. 4.Uluslararası GAP Matematik-Mühendislik-Fen ve Sağlık Bilimleri Kongresi, Kongre Tam Metin Kitabı , (s. 73-85). Gaziantep.

Uluslararası Kongre Sunum (Sunum tarihleri dikkate alınmalıdır)

- 1) 4. Uluslararası GAP Matematik-Mühendislik-Fen ve Sağlık Bilimleri Kongresi, “Sismik Yalıtımlı Bir Bina İçin Operasyonel Modal Analiz Titreşim Ölçüm Şemalarının İncelenmesi”, Gaziantep, 3-5 Nisan 2020 (Tez ile ilgili)
- 2) 4. Uluslararası GAP Matematik-Mühendislik-Fen ve Sağlık Bilimleri Kongresi, “Soğuk Bölgelerde Betonarme İmalata İlişkin Bir Algı Anketi ve İmalata Yönelik Ön Çalışmalar”, Gaziantep, 3-5 Nisan 2020

*Tezle ilgili varsa yayın eklenerek belirtilmelidir.