



**TARİHİ KARAMAN HATUNİYE
MEDRESESİ'NİN DEPREM DAVRANIŞININ
TBDY-2018'E GÖRE İNCELENMESİ**

Settar AYDIN

Yüksek Lisans Tezi

İnşaat Mühendisliği

Ana Bilim Dalı

Prof. Dr. Musa ARTAR

2025

(Her Hakkı Saklıdır)

T.C.
BAYBURT ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

TARİHİ KARAMAN HATUNİYE MEDRESESİ'NİN DEPREM
DAVRANIŞININ TBDY-2018'E GÖRE İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Settar AYDIN

Danışman: Prof. Dr. Musa ARTAR

BAYBURT - 2025

KABUL VE ONAY

Prof. Dr. Musa ARTAR danışmanlığında, Settar AYDIN tarafından hazırlanan “Tarihi Karaman Hatuniye Medresesi’nin Deprem Davranışının TBDY-2018’e Göre İncelenmesi” başlıklı bu çalışma, 25.06.2025 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak jürimiz tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Musa ARTAR

Üye : Prof. Dr. Serdar ÇARBAŞ

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Bilal TAYFUR

Bu tezin kabulü Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun/...../20... tarih ve 20...../.....-..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Doç. Dr. Bünyamin ALIM
Enstitü Müdürü

BEYANNAME

Bayburt Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre Prof. Dr. Musa ARTAR danışmanlığında hazırlamış olduğum “Tarihi Karaman Hatuniye Medresesi’nin Deprem Davranışının TBDY-2018’e Göre İncelenmesi” başlıklı yüksek lisans tezimin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

25.06.2025

Settar AYDIN



ÖN SÖZ

Öncelikle, tez sürecimin her aşamasında bana rehberlik eden, bilgi ve deneyimlerini paylaştan, sabır ve anlayışla yönlendiren değerli danışmanım Prof. Dr. Musa ARTAR'a en içten teşekkürlerimi sunarım. Onun rehberliği olmadan bu çalışma bu noktaya ulaşamazdı.

Ayrıca, akademik yolculuğumda bana ilham veren ve desteklerini esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Bilal TAYFUR hocama teşekkür ederim. Ayrıca jüri üyelerimden Prof. Dr. Serdar ÇARBAŞ hocama teşekkür ederim. Değerli görüşleri ve eleştirileri, çalışmamın şekillenmesinde büyük rol oynamıştır.

Bu süreçte bana her zaman sevgi, sabır ve moral desteğiyle yanımda olan eşime, oğluma, aileme özellikle annem Neşe AYDIN'a ve tez yazım aşamasında her zaman yanımda olan abim Doç. Dr. Süleyman YURTKURAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Onların varlığı, bu zorlu süreçte en büyük gücüm oldu.

Son olarak, bu çalışmanın hazırlanmasında emeği geçen, ismini burada anamadığım ancak katkısı olan herkese teşekkür ederim.

Settar AYDIN

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TARİHİ KARAMAN HATUNİYE MEDRESESİ'NİN DEPREM DAVRANIŞININ TBDY-2018'E GÖRE İNCELENMESİ

Settar AYDIN

Bayburt Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Musa ARTAR

Bayburt-2025, Sayfa: 99

Tarihi yapılar, kültürel mirasımızın önemli bir parçasını oluşturmakta olup, bu yapıların korunması, restorasyonu ve güvenliği, günümüz mühendislik ve mimarlık disiplinlerinin karşılaştığı en önemli zorluklardan biridir. Özellikle deprem gibi doğal afetlerin tarihi yapılar üzerinde yaratacağı olumsuz etkiler, bu yapıların korunması konusunda ayrı bir önem taşımaktadır. Bu bağlamda, yapıların depreme karşı gösterdiği davranışların anlaşılması, mühendislik uygulamaları açısından büyük bir gereklilik arz etmektedir. Karaman il sınırlarında yer alan ve Selçuklu dönemine ait önemli bir yapı olan Hatuniye Medresesi hem mimari hem de tarihi açıdan büyük bir öneme sahiptir. Ancak, bu tür tarihi yapılar zaman içerisinde çeşitli deformasyonlara uğrayabilir ve özellikle deprem gibi dinamik yükler altında yapısal güvenlikleri tehdit altına girebilir. Bu nedenle, Hatuniye Medresesi'nin deprem davranışlarının detaylı bir şekilde incelenmesi ve yapısal güvenliğinin değerlendirilmesi hem koruma hem de restorasyon çalışmaları için kritik bir adım olacaktır. Bu tezde, Karaman Hatuniye Medresesi'nin deprem davranışlarının incelenmesi amacıyla, modern mühendislik yazılımlarından biri olan SAP2000 kullanılarak yapısal modelleme yapılacaktır. Yapılacak analizler, medresenin mevcut yapısal davranışını ortaya koyarak, depreme karşı taşıma kapasitesini ve olası zayıf noktalarını tespit etmeyi hedeflemektedir. Bu çalışmanın temel amacı, Hatuniye Medresesi'nin mevcut yapısal durumunu bilimsel bir bakış açısıyla değerlendirmek, deprem esnasında yapının nasıl bir davranış sergileyeceğini belirlemek ve olası riskleri en aza indirmek için öneriler sunmaktır. Çalışma, üç ana bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde, tarihi yapıların korunması ve deprem mühendisliği ile ilgili genel bilgiler verilecektir. Ardından, Karaman Hatuniye Medresesi'nin tarihçesi ve yapısal özellikleri ele alınacaktır. İkinci bölümde, tarihi yapılar hakkında yapılan çalışmalara ait literatür kısmı yer almaktadır. Üçüncü bölümde, SAP2000 ile yapı modellemesi ve deprem analizine dair metodoloji detaylı bir şekilde açıklanacak ve taş ve harç malzemelerinin elastisite modülü ile basınç dayanımına ilişkin teorik bilgiler tablo halinde sunulacaktır. Son bölümde ise analiz sonuçları değerlendirilecek ve tarihi yapıların korunmasına yönelik stratejiler önerilecektir.

Anahtar Kelimeler: Tarihi yapı, Hatuniye Medresesi, yapısal modelleme, deprem.

ABSTRACT

M. SC. THESIS

EXAMINATION OF EARTHQUAKE BEHAVIOR OF HISTORICAL KARAMAN HATUNIYE MADRASA ACCORDING TO TSC-2018

Settar AYDIN

Bayburt University

Institute of Graduate Studies

Department of Civil Engineering

Thesis Advisor: Prof. Dr. Musa ARTAR

Bayburt-2025, Pages: 99

Historical structures constitute an important part of our cultural heritage, and the protection, restoration and safety of these structures are among the most important challenges faced by today's engineering and architectural disciplines. Especially the negative effects of natural disasters such as earthquakes on historical structures are of particular importance in terms of protecting these structures. In this context, understanding the behavior of structures against earthquakes is of great necessity in terms of engineering practices. Hatuniye Madrasah, an important structure from the Seljuk period located within the borders of Karaman province, has great importance both in terms of architecture and history. However, such historical structures may undergo various deformations over time and their structural safety may be threatened especially under dynamic loads such as earthquakes. Therefore, a detailed examination of the earthquake behavior of Hatuniye Madrasah and the evaluation of its structural safety will be a critical step for both protection and restoration studies. In this thesis, structural modeling will be performed using SAP2000, one of the modern engineering software, in order to examine the earthquake behavior of Karaman Hatuniye Madrasah. The analyses to be conducted aim to reveal the current structural behavior of the madrasah, to determine its earthquake-resistant capacity and possible weak points. The main purpose of this study is to evaluate the current structural condition of Hatuniye Madrasah from a scientific perspective, to determine how the structure will behave during an earthquake and to present suggestions to minimize possible risks. The study consists of three main sections. In the first section, general information about the protection of historical structures and earthquake engineering will be given. Then, the history and structural features of Karaman Hatuniye Madrasah will be discussed. The second section includes the literature section on studies conducted on historical structures. In the third section, the methodology for structural modeling and earthquake analysis with SAP2000 will be explained in detail and theoretical information about the elasticity modulus and compressive strength of stone and mortar materials will be presented in a table. In the last section, the analysis results will be evaluated and strategies for the protection of historical structures will be suggested.

Keywords: Historical building, Hatuniye Madrasa, structural modeling, earthquake.



İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	II
BEYANNAME	III
ÖN SÖZ	IV
ÖZET	V
ABSTRACT	VI
İÇİNDEKİLER	VIII
TABLOLAR	X
ŞEKİLLER	XI
KISALTMALAR	XIII
GİRİŞ	1
BİRİNCİ BÖLÜM	4
1. TARİHİ YAPILARIN KORUNMASI VE DEPREM MÜHENDİSLİĞİNİN ÖNEMİ	4
1.1. TARİHİ YAPILARIN KORUNMA NEDENLERİ	4
1.1.1. Tarihi Yapıların Korunma Yöntemleri	5
1.1.2. Tarihi Yapılarda Deprem Riski ve Korunma	5
1.2. DEPREM	6
1.2.1. Deprem Mühendisliğinin Temel Kavramları	6
1.2.2. Deprem Dinamiği ve Sismik Dalga Yayılımı	6
1.2.2.1. Yapısal davranış ve deprem performansı	7
1.2.2.2. Deprem simülasyonları ve yapısal analiz	7
1.3. SAP2000 İLE YAPISAL MODELLEME	8
1.3.1. Deprem Güvenliği ve Tarihi Yapılar	8
1.3.2. Tarihi Yapıların Deprem Performansının Değerlendirilmesi	8
1.3.3. Güçlendirme ve Restorasyon	9
1.3.4. Karaman Hatuniye Medresesi'nin Tarihçesi ve Yapısal Özellikleri	9
1.3.5. Tarihçe	9
1.3.6. Coğrafi Konumu	10
1.3.7. Yapısal Özellikler	10
1.3.8. Plan Şeması ve İç Düzen	11
1.3.8. Taşıyıcı Sistem ve Malzeme Kullanımı	12
1.3.9. Cephe Tasarımı ve Süsleme	16
1.3.10. Zemin ve Yapısal Katmanlar	16
İKİNCİ BÖLÜM	18
2. LİTERATÜR TARAMASI	18
ÜÇÜNCÜ BÖLÜM	28
3. KARMAŞIK YAPILARI MODELLENME TEKNİKLERİ	28
3.1. DETAYLI MİKRO MODELLEME	28
3.2. BASİTLEŞTİRİLMİŞ MİKRO MODELLEME	28
3.3. MAKRO MODELLEME	29
3.4. SAP2000 PROGRAMI İLE YAPI MODELLEMESİ	30
3.4.1. SAP2000 ile Yapı Sistemi Çözümü İçin Adımlar	31
3.4.2. SAP2000 Programının Sağladığı Modelleme Avantajları	32
3.4.3. SAP2000 Programında Kullanılan Kavramlar	33

3.4.4. Modelleme ve Geometri Kavramları	33
3.4.5. Yükler ve Yükleme Kavramları	34
3.4.6. Analiz ve Çözüm Kavramları	34
3.4.7. Tasarım Kavramları	35
3.4.8. Sonuçlar ve Çıktılar	35
3.4.9. Çeşitli Kavramlar	36
3.5. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ	36
3.5.1. Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY) Temel Kavramlar:	37
3.5.2. Sonlu Elemanlar Yöntemi'nin Deprem Analizinde Kullanımı:	37
3.6. HATUNİYE MEDRESESİ YAPISAL MODELLEMESİ	38
3.6.1. Karaman Hatuniye Medresesinin Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesi	43
3.6.2. Karaman Hatuniye Medresesi'sinin Farklı Karakteristik Özelliklere Sahip Deprem Etkileri Altında Davranışının İncelenmesi	47
3.6.3. Deprem Yükü Azaltma Katsayısı	49
3.6.4. Yapının Modal Analizi	50
3.6.5. Yapının Deprem Analizi	54
3.7. KOBE DEPREMİ (1995) - BÜYÜK HANSHIN-AWAJI DEPREMİ	58
3.7.1. Kobe Depremi'nin Genel Özellikleri	58
3.9. EL MAYOR- CUCAPAH DEPREMİ	63
3.10. MANAGUA DEPREMİ	66
3.10.1. Depremi'nin Özellikleri	66
3.10.2. Zarar ve Etkiler	66
3.11. COYOTAKE LAKE DEPREMİ	71
3.11.1. Depremi'nin Özellikleri	71
3.12. IMPERIAL VALLEY DEPREMİ	76
3.12.1. Depremi'nin Özellikleri	76
3.12.2. Zarar ve Etkiler	77
3.12.3. Bilimsel Önemi	77
3.13. SUPERSTITION HILLS DEPREMİ	81
3.13.1. Depremi'nin Özellikleri	81
3.13.2. Zarar ve Etkiler	82
3.14. JOSHUA TREE DEPREMİ	84
3.14.1. 1992 Joshua Tree Depremi	84
SONUÇ VE ÖNERİLER	88
KAYNAKÇA	90
EKLER	95
Ek 1: İlgili Çalışmaya Ait Literatürler	95
ÖZ GEÇMİŞ	99

TABLolar

Tablo 1: Taşın Dayanımına İlişkin Veriler	45
Tablo 2: Modelde Kullanılan Malzemelerin Mekanik Özellikleri	47
Tablo 3: Bina Kullanım Sınıfı ve Bina Önem Katsayısı Tablosu	49
Tablo 4: R ve D Hesabı Tablosu.....	50
Tablo 5: 50 Mod Sonrası Oluşan Değerler Tablosu	50
Tablo 6: Yapının Dinamik Analizleri İçin Seçilmiş Deprem Kayıtlarının Özellikleri	57
Tablo 7: Depremlerin Çekme Gerilme Değeri Bakımından Karşılaştırılması	87



ŞEKİLLER

Şekil 1: Karaman Hatuniye Medresesi	10
Şekil 2: Hatuniye Medresesinin Konumunun Uydu Görüntüsü	10
Şekil 3: AutoCAD Programında Hazırlanmış Rölöve Zemin Planının Sadeleştirilmiş Hali ...	11
Şekil 4: Hatuniye Medresesi Kesiti.....	11
Şekil 5: Hatuniye Medresesi Kesiti.....	12
Şekil 6: Hatuniye Medresesi Kesiti.....	12
Şekil 7: Karaman Hatuniye Medresesi Eyvan Görseli.....	13
Şekil 8: Hatuniye Medresesi Revak Görseli	14
Şekil 9: Hatuniye Medresesi Devşirme Sütun Görseli.....	15
Şekil 10: Hatuniye Medresesi Beşik Tonoza Görseli	16
Şekil 11: Hatuniye Medresesi Pencere ve Kapı Görseli	16
Şekil 12: Detaylı Mikro Modelleme Tekniği Görseli	28
Şekil 13: Basitleştirilmiş Mikro Modelleme Tekniği.....	29
Şekil 14: Makro Modelleme Tekniği.....	29
Şekil 15: Hatuniye Medresesi Makro Modelleme Görseli.....	30
Şekil 16: Katı Elemanlarda Oluşan Gerilmeler ve Yönleri.....	33
Şekil 17: Hatuniye Medresesi Modellemesinde Solid ve Shell Kullanılan Kısımlar	36
Şekil 18: Karaman Hatuniye Medresesi Sonlu Elemanlar Yöntemi Planı.....	39
Şekil 19: Karaman Hatuniye Medresesi Yapısal Modelleme Aşaması	39
Şekil 20: Modelleme 2	40
Şekil 21: Modelleme 3	40
Şekil 22: Modelleme 4	41
Şekil 23: Modelleme 5	41
Şekil 24: Modelleme 6	42
Şekil 25: Modelleme 7	42
Şekil 26: Modelleme 8	43
Şekil 27: Yatay Elastik Tasarım Spektrumu Grafiği.....	48
Şekil 28: Birinci Mod X Yönünde Öteleme ($T_1 = 0,081s$).....	52
Şekil 29: İkinci Mod Y Yönünde Öteleme ($T_2 = 0,069s$)	52
Şekil 30: Üçüncü Mod Burkulma ($T_3 = 0,066s$).....	53
Şekil 31: Dördüncü Mod Burkulma ($T_4 = 0,063s$)	53
Şekil 32: Beşinci Mod Burkulma ($T_5 = 0,051s$)	54
Şekil 33: Mod Birleştirme Yöntemi Etkisinde S33 Maksimum Çekme Gerilmeleri (U1 Yönünde)	55
Şekil 34: Mod Birleştirme Yöntemi Etkisinde S33 Maksimum Çekme Gerilmeleri (U2 Yönünde)	56
Şekil 35: Ölçekleme Süreci ve Kod Kriterlerinin Kontrol Edilmesi.....	58
Şekil 36: Kobe Depreminin İvme Kayıtları	59
Şekil 37: Kobe Depremi Etkisinde S33 Maksimum Çekme Gerilmeleri (U1 Yönünde)	60
Şekil 38: Kobe Depremi Etkisinde S33 Maksimum Çekme Gerilmeleri (U2 Yönünde)	61
Şekil 39: 17 Ağustos 1999 Depreminin İvme Kayıtları.....	62
Şekil 40: 17 Ağustos 1999 Depremi Etkisinde S33 Maksimum Çekme Gerilmeleri (U1 Yönünde)	62

Şekil 41: 17 Ağustos 1999 Depremi Etkisinde S33 Maksimum Çekme Gerilmeleri (U2 Yönünde)	63
Şekil 42: El Mayor-Cucapah Depremi İvme Kayıtları	64
Şekil 43: El Mayor-Cucapah Depremi Etkisinde S33 Maksimum Çekme Gerilmeleri (U1 Yönünde)	65
Şekil 44: El Mayor-Cucapah Depremi Etkisinde S33 Maksimum Çekme Gerilmeleri (U2 Yönünde)	66
Şekil 45: Managua Depremi İvme Kayıtları	67
Şekil 46: Managua Depremi Etkisinde S33 Maksimum Çekme Gerilmeleri (U1 Yönünde) ..	68
Şekil 47: Managua Depremi Etkisinde S33 Maksimum Çekme Gerilmeleri (U2 Yönünde) ..	69
Şekil 48: Managua Depremi-2 İvme Kayıtları.....	69
Şekil 49: Managua Depremi Etkisinde S33 Maksimum Çekme Gerilmeleri (U1 Yönünde) ..	70
Şekil 50: Managua Depremi Etkisinde S33 Maksimum Çekme Gerilmeleri (U2 Yönünde) ..	71
Şekil 51: Coyote Lake Depremi İvme Kayıtları	72
Şekil 52: Coyote Lake Depremi Etkisinde S33 Maksimum Çekme Gerilmeleri (U1 Yönünde)	73
Şekil 53: Coyote Lake Depremi Etkisinde S33 Maksimum Çekme Gerilmeleri (U2 Yönünde)	74
Şekil 54: Gillor Aray-4 İstasyonu Coyote Lake Depremi İvme Kayıtları	74
Şekil 55: Coyote Lake Depremi Etkisinde S33 Maksimum Çekme Gerilmeleri (U1 Yönünde)	75
Şekil 56: Coyote Lake Depremi Etkisinde S33 Maksimum Çekme Gerilmeleri (U2 Yönünde)	76
Şekil 57: Impreial Depremi İvme Kayıtları	77
Şekil 58: Imperial Depremi Etkisinde S33 Maksimum Çekme Gerilmeleri (U1 Yönünde) ...	78
Şekil 59: Imperial Depremi Etkisinde S33 Maksimum Çekme Gerilmeleri (U2 Yönünde) ...	79
Şekil 60: Imperial Depremi Holtville Office İstasyon İvme Kayıtları.....	79
Şekil 61: Imperial Depremi Etkisinde S33 Maksimum Çekme Gerilmeleri (U1 Yönünde) ...	80
Şekil 62: Imperial Depremi Etkisinde S33 Maksimum Çekme Gerilmeleri (U2 Yönünde) ...	81
Şekil 63: Calipatria Fire Station İstasyonundan Alınan İvme Kayıtları	83
Şekil 64: Superstition Hills Depremi Etkisinde S33 Maksimum Çekme Gerilmeleri (U1 Yönünde)	83
Şekil 65: Superstition Hills Depremi Etkisinde S33 Maksimum Çekme Gerilmeleri (U2 Yönünde)	84
Şekil 66: Joshua Tree Depremi İvme Kayıtları.....	85
Şekil 67: Joshua Tree Depremi Etkisinde S33 Maksimum Çekme Gerilmeleri (U1 Yönünde)	86
Şekil 68: Joshua Tree Depremi Etkisinde S33 Maksimum Çekme Gerilmeleri (U2 Yönünde)	87

KISALTMALAR

MPA	: Megapaskal
kN/m³	: Kilonewton Metre Küp
kPA	: Kilopaskal
PGA	: En Büyük Yer övmesi [g]
PGV	: En Büyük Yer Hızı [cm/s]
<i>Sae(T)</i>	: Yatay Elastik Tasarım Spektral övmesi [g]
<i>SDS</i>	: Kısa Periyot Tasarım Spektral �vme Katsayısı [boyutsuz]
<i>SD1</i>	: 1.0 Saniye Periyot ��in Tasarım Spektral �vme Katsayısı [boyutsuz]
<i>SS</i>	: Kısa Periyot Harita Spektral �vme Katsayısı [boyutsuz]
<i>S1</i>	: 1.0 Saniye Periyot ��in Harita Spektral �vme Katsayısı [boyutsuz]
T	: Doğal Titreşim Periyodu [s]
TA	: Yatay Elastik Tasarım �vme Spektrumu K��e Periyodu [s]
TB	: Yatay Elastik Tasarım �vme Spektrumu K��e Periyodu
[s] TBDY	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
TL	: Yatay Elastik Tasarım Spektrumunda Sabit Yer De�i�tirme Bölgesine Geçiş Periyodu [s]

S MGELER

<i>E</i>	: elastisite modülü [MPa]
<i>f_m</i>	: basınç dayanımı [MPa]
<i>G</i>	: kayma modülü [MPa]
<i>w</i>	: birim hacim ağırlığı [kN/m ³]
<i>�o</i>	: kayma dayanımı [kPa]
<i>f_{em}</i>	: basınç emniyet gerilmesi [kN/m ²]
<i>f_{emb}</i>	: taşıma gerilmesi [kN/m ²]
<i>f_{em�}</i>	: Çekme emniyet gerilmesi [kN/m ²]

GİRİŞ

Tarih boyunca medeniyetlerin gelişiminde önemli bir rol oynamış olan yapılar, sadece barınma ve korunma işlevlerinin ötesinde, sosyal, kültürel ve dini yaşamın merkezleri olarak da görev üstlenmişlerdir. Bu bağlamda, Anadolu coğrafyasında özellikle Selçuklu ve Osmanlı dönemlerinde inşa edilmiş medreseler, dönemin eğitim anlayışını, mimari estetiğini ve yapım teknolojisini yansıtan önemli kültürel miras unsurları arasında yer almaktadır. Medreseler, sadece bilimsel çalışmaların yürütüldüğü eğitim kurumları olarak değil, aynı zamanda dönemin mimari üslubunu yansıtan sanatsal yapılar olarak da değerlidir. Bu yapıların korunması hem tarihi kimliğin sürdürülmesi hem de kültürel mirasın gelecek nesillere aktarılması açısından büyük önem arz etmektedir.

Karaman ilinde yer alan ve 14. yüzyıl sonlarında inşa edildiği bilinen Hatuniye Medresesi, Anadolu Selçuklu mimarisinin taş işçiliği ve planlama anlayışı açısından özgün örneklerinden biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Yapı, Sultan II. Murad'ın eşi ve Fatih Sultan Mehmed'in annesi Hüma Hatun tarafından 1433 yılında yaptırılmış olup, dönemin sosyal ve kültürel dokusunu yansıtan mimari özellikler taşımaktadır. Ancak, tarihsel ve kültürel değeri ne kadar yüksek olursa olsun, bu tür tarihi yapılar günümüzün mühendislik standartlarına göre değerlendirilmediğinden, özellikle depremsellik açısından önemli riskler barındırmaktadır. Türkiye'nin aktif bir deprem kuşağında yer alması ve tarih boyunca birçok yıkıcı deprem yaşamış olması, bu yapıların deprem güvenliğinin değerlendirilmesini zorunlu kılmaktadır.

Günümüzde, tarihi yapıların deprem davranışlarının bilimsel yöntemlerle incelenmesi, yapıların mevcut durumlarının belirlenmesi ve gerekli güçlendirme çalışmalarının planlanabilmesi açısından kritik öneme sahiptir. Bu noktada, 2018 yılında yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018), tarihi yapılar için özel hükümler içermese de genel prensipleriyle yapıların performans değerlendirmesi ve analizinde bir temel teşkil etmektedir. Özellikle mevcut yapıların deprem güvenliği açısından değerlendirilmesi için kullanılan doğrusal olmayan analiz yöntemleri, TBDY-2018 kapsamında detaylandırılmış ve mühendislik uygulamalarına standart kazandırılmıştır. Bu kapsamda, tarihi yapıların taşıyıcı sistemlerinin üç boyutlu olarak modellenmesi, malzeme özelliklerinin yerinde belirlenmesi ve doğrusal olmayan yöntemlerle analiz edilmesi gibi süreçler, yapıların sismik performanslarının doğru bir şekilde değerlendirilmesini sağlamaktadır.

Bu tez çalışmasının temel amacı, Karaman ilinde yer alan Hatuniye Medresesi'nin mevcut durumunun yapısal açıdan analiz edilerek, deprem etkileri altındaki davranışının TBDY-2018 kapsamında değerlendirilmesidir. Bu doğrultuda, medresenin mevcut rölöve

projeleri ve yerinde yapılan gözlemler doğrultusunda üç boyutlu yapısal modeli oluşturulmuş, malzeme özellikleri literatür verileri ve yerinde incelemelerle belirlenmiş, ardından yapı doğrusal olmayan analiz yöntemleriyle değerlendirilmiştir. Bu analizlerde, özellikle plastikleşme bölgeleri, göçme mekanizmaları ve kritik taşıyıcı elemanların performansı ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Tarihi yapılar, bir toplumun kültürel kimliğini ve geçmişini yansıtan en önemli unsurlar arasında yer almaktadır. Mimari, sanatsal ve sosyal boyutlarıyla bir dönemin yaşam biçimini ve estetik anlayışını gözler önüne seren bu yapılar, aynı zamanda belge niteliği taşımakta ve korunmaları gereken kültürel miras unsurları olarak değerlendirilmektedir. Ancak zamanla bu yapıların özgünlüklerini korumaları, çeşitli çevresel faktörler, malzeme yıpranmaları ve özellikle deprem gibi doğal afetler sebebiyle oldukça zorlaşmaktadır. Türkiye gibi aktif fay hatları üzerinde bulunan ve tarih boyunca çok sayıda yıkıcı depreme maruz kalmış bir ülkede, tarihi yapıların depreme karşı güvenliğinin sağlanması hem mühendislik disiplini hem de kültürel mirasın sürdürülebilirliği açısından büyük önem taşımaktadır.

Tarihi yapıların sismik performanslarının değerlendirilmesi, yalnızca mevcut hasarların belirlenmesiyle sınırlı kalmayıp, aynı zamanda gelecekte meydana gelebilecek olası depremlerde yapının nasıl davranacağını öngörmeye yönelik bilimsel ve teknik çalışmalar gerektirmektedir. Bu süreçte, gelişmiş yapı analiz yazılımlarının sunduğu olanaklar ile birlikte, yürürlükteki yönetmeliklerin sağladığı çerçeveler, mühendislik hesaplamalarının güvenilirliğini artırmaktadır. 2018 yılında yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018), mevcut yapıların değerlendirilmesinde kullanılabilecek performans analiz yöntemlerini detaylandırmakta ve bu bağlamda tarihi yapılar için de referans teşkil edebilmektedir. Özellikle doğrusal olmayan analiz yöntemleri, yapıların deprem altındaki plastikleşme bölgelerini ve göçme mekanizmalarını belirlemek açısından oldukça önemlidir.

Bu tez çalışmasında, Karaman ilinde yer alan ve 15. yüzyıl başlarında Hüma Hatun tarafından inşa ettirilen Hatuniye Medresesi'nin deprem davranışı TBDY-2018 kapsamında analiz edilmiştir. Hatuniye Medresesi, mimari plan şeması, taş işçiliği ve özgün mimari detaylarıyla dikkat çeken önemli bir tarihi yapı olup hem kültürel hem de mühendislik açısından değerlendirilmeye değer bir örnektir. Söz konusu yapı üzerinde yapılacak analizler, hem bu özel yapının gelecekteki korunma süreçlerine katkı sağlamak hem de benzer tarihi yapılar için uygulanabilecek yöntemler açısından örnek teşkil etmektedir.

Bu çalışma dört ana bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde, tarihi yapıların korunmasının önemi ve bu yapılara yönelik mühendislik yaklaşımları ele alınarak, konu ile ilgili literatür bilgilerine yer verilmiştir. Ayrıca, deprem mühendisliği bağlamında tarihi

yapıların karşılaştığı zorluklar ve mevcut koruma yöntemleri açıklanmıştır. İkinci bölümde, Hatuniye Medresesi'nin tarihçesi, mimari özellikleri ve taşıyıcı sistemine ilişkin bilgiler detaylı şekilde sunulmuştur. Üçüncü bölümde, yapı analiz süreci kapsamlı olarak ele alınmış; SAP2000 yazılımı kullanılarak oluşturulan üç boyutlu modelin özellikleri, analiz türü, sınır koşulları ve malzeme kabulleri açıklanmıştır. Son bölümde ise analizlerden elde edilen veriler değerlendirilmiş; medresenin deprem performansı yorumlanarak korunma ve gerekirse güçlendirme stratejilerine dair öneriler sunulmuştur.

Bu tez, Karaman Hatuniye Medresesi özelinde gerçekleştirilen mühendislik temelli bir analiz çalışması ile tarihi yapıların korunmasına katkı sağlamayı ve bu alandaki araştırmalara bilimsel bir örnek teşkil etmeyi hedeflemektedir. Tarihi yapıların günümüz yönetmeliklerine uygun biçimde değerlendirilmesi ve korunması, yalnızca mühendislik çözümlerinin değil, aynı zamanda kültürel sorumlulukların da bir gereğidir.

BİRİNCİ BÖLÜM

1. TARİHİ YAPILARIN KORUNMASI VE DEPREM MÜHENDİSLİĞİNİN ÖNEMİ

Tarihi yapılar, geçmişin kültürel, sanatsal, mühendislik ve mimarlık bilgilerini taşıyan, toplumların kimliklerini yansıtan yapılardır. Bu yapılar, insanlık tarihindeki önemli olaylara tanıklık etmiş, sanat ve mühendislik açısından önemli buluşlar ve yenilikler barındırmışlardır. Bir şehir veya bölge için tarihi yapılar, sadece estetik birer değer değil, aynı zamanda geçmişin izlerini taşıyan önemli belgelerdir. Örneğin, Karaman Hatuniye Medresesi gibi yapılar, hem Osmanlı İmparatorluğu'nun kültürel mirasının bir parçası hem de tarihi bir eğitim yapısı olarak değer taşımaktadır.

Tarihi yapıların korunması, sadece bu yapıların fiziksel olarak bozulmalarını engellemekle kalmaz, aynı zamanda kültürel hafızayı yaşatmaya, geçmişten gelen bilgilere sahip çıkmaya da yardımcı olur. Bu tür yapılar, toplumların geçmişleriyle bağlarını koruyarak geleceğe ışık tutar.

1.1. TARİHİ YAPILARIN KORUNMA NEDENLERİ

Tarihi yapıların korunmasının birkaç ana nedeni vardır:

- **Kültürel Mirasın Korunması:** Tarihi yapılar, bir toplumun geçmişini, kültürünü ve kimliğini yansıtır. Bu yapılar, toplumların geçmişteki yaşam tarzlarını, geleneklerini ve sanatsal anlayışlarını nesilden nesile aktarır. Bu nedenle, tarihi yapıları korumak, kültürel mirası yaşatmak anlamına gelir.
- **Eğitim ve Araştırma:** Tarihi yapılar, mimarlık ve mühendislik disiplinlerinde önemli birer araştırma kaynağıdır. Geçmişte kullanılan malzemeler, inşaat teknikleri ve mühendislik yöntemleri, modern mühendislik ve mimarlık için büyük dersler sunar. Ayrıca, bu yapılar, akademik ve kültürel alanlarda dersler, araştırmalar ve restorasyon projeleri için fırsatlar sağlar.
- **Turizm ve Ekonomik Değer:** Tarihi yapılar, turizm açısından büyük bir potansiyele sahiptir. Özellikle UNESCO Dünya Mirası Listesi'nde yer alan yapılar, bölge ekonomisine katkıda bulunur ve yerel halkın ekonomik kalkınmasına destek olur. Tarihi yapılar, yalnızca kültürel değil, aynı zamanda ekonomik açıdan da değer taşır.

1.1.1. Tarihi Yapıların Korunma Yöntemleri

Tarihi yapıların korunması, yalnızca estetik ve kültürel kaygılarla değil, aynı zamanda mühendislik ve restorasyon teknikleriyle de yapılmalıdır. Bu konuda kullanılan başlıca yöntemler şunlardır:

- **Restorasyon ve Yeniden Yapım:** Tarihi yapıların yapısal bütünlüğünü yeniden sağlamak için yapılan restorasyon çalışmaları, eski yapının orijinal mimarisine sadık kalınarak yapılmalıdır. Restorasyon sürecinde, eski malzemeler ve teknikler kullanılarak yapının estetik değeri korunur. Ancak, bazı durumlarda, yapının fonksiyonunu sürdürebilmesi için modern teknikler de entegre edilebilir.
- **Yapısal Güçlendirme:** Deprem, rüzgâr, su baskını gibi doğal afetlere karşı tarihi yapıların dayanıklılığını artırmak için yapısal güçlendirme yöntemleri uygulanabilir. Bu, yapının mevcut durumu göz önünde bulundurularak, iç yapı elemanları güçlendirilebilir. Güçlendirme, genellikle beton, çelik gibi modern malzemelerle yapılır ve bu malzemeler, yapının tarihsel dokusuna zarar vermeden entegre edilir.
- **Koruma ve Bakım:** Tarihi yapılar, düzenli bakımlar ve onarımlar ile korunabilir. Yapının dış yüzeyi, duvarları ve çatıları gibi bölümler zamanla aşınabilir. Bu bölümlere yönelik bakım ve onarım çalışmaları yapılarak, yapının uzun süreli korunması sağlanır.

1.1.2. Tarihi Yapılarda Deprem Riski ve Korunma

Depremler, özellikle fay hatları üzerinde bulunan bölgelerde, tarihi yapılar için büyük bir tehdit oluşturur. Türkiye'nin birçok bölgesi, aktif fay hatlarının üzerinde yer aldığından, deprem riski taşıyan bir ülkedir. Bu durum hem modern yapılar hem de tarihi yapılar için önemli bir güvenlik meselesi yaratmaktadır. Tarihi yapıların deprem karşısındaki dayanıklılığını artırmak için çeşitli mühendislik teknikleri geliştirilmiştir.

Tarihi yapıların deprem güvenliği, bu yapıların taşıyıcı sistemlerinin güçlendirilmesi ile sağlanabilir. Bunun için kullanılan başlıca yöntemler şunlardır:

- **Taşıyıcı Sistem Yeniden Tasarımı:** Yapının taşıyıcı sistemi, modern mühendislik yöntemleri ile yeniden tasarlanarak deprem anında yapının daha stabil hale gelmesi sağlanabilir. Ancak bu süreç, tarihi yapının orijinal yapısına zarar vermemelidir. Taşıyıcı sistemde yapılacak değişiklikler, yapının görsel ve yapısal bütünlüğünü koruyacak şekilde olmalıdır.
- **Yapısal İzolasyon ve Damping Sistemleri:** Deprem enerjisinin yapıya ulaşmasını engelleyen veya azaltan sistemler, tarihi yapıların deprem performansını iyileştirebilir.

Bu yöntem, özellikle zeminden gelen titreşimlerin yapıyı etkilemesini engellemek için kullanılır.

- **SAP2000 ve Diğer Yazılımlar ile Modellenme:** Modern mühendislik yazılımları, tarihi yapıların deprem performansını değerlendirmek için kullanılır. SAP2000 gibi güçlü yapısal analiz yazılımları, tarihi yapıların taşıyıcı sistemini modelleyerek, deprem anında nasıl bir davranış sergileyeceğini tahmin etmeye yardımcı olur. Bu tür yazılımlar, yapılacak güçlendirme çalışmalarının etkinliğini değerlendirmek için önemli araçlar sunar.

1.2. DEPREM

Deprem, yer kabuğunda meydana gelen ani enerji boşalmaları sonucu oluşan sismik dalgaların, yer yüzeyinde ciddi yapısal ve çevresel hasarlara yol açabilen bir doğal afettir. Depremler, tarih boyunca birçok yapının yıkılmasına, büyük can ve mal kaybına neden olmuştur. Bu nedenle, özellikle deprem riski taşıyan bölgelerde, yapıların deprem güvenliği konusu büyük bir önem taşır. Deprem mühendisliği, bu tür afetlere karşı yapıların dayanıklılığını artırmaya yönelik mühendislik disiplindir. Bu alandaki çalışmalar hem mevcut yapıların güçlendirilmesini hem de yeni yapıların daha güvenli bir şekilde inşa edilmesini amaçlar. Bu yazıda, deprem mühendisliği, yapısal davranışın incelenmesi ve özellikle tarihi yapıların deprem güvenliğine dair mühendislik yaklaşımları ele alınacaktır.

1.2.1. Deprem Mühendisliğinin Temel Kavramları

Deprem mühendisliği, depremin yapılar üzerindeki etkilerini inceleyen, bu etkileri minimize etmek için çeşitli mühendislik çözümleri geliştiren bir disiplindir. Deprem mühendisliğinin temel amacı, binaların ve diğer yapıların, depreme karşı dayanıklı olmasını sağlamak ve deprem anında yapısal hasarları en aza indirerek can kayıplarını önlemektir. Deprem mühendisliği uygulamaları, yapının tasarım aşamasından, inşaat aşamasına kadar her adımda deprem performansını göz önünde bulundurur.

1.2.2. Deprem Dinamiği ve Sismik Dalga Yayılımı

Deprem mühendisliğinde temel alınan ilk kavramlardan biri, depremin nasıl oluştuğu ve sismik dalgaların yapılar üzerindeki etkileridir. Deprem, yer kabuğunda meydana gelen ani hareketlerle başlar ve bu hareketler, yer yüzeyinde bir sismik dalga olarak yayılır. Sismik dalgalar, P-dalgaları (ilk dalgalar), S-dalgaları (ikinci dalgalar) ve yüzey dalgaları (Rayleigh ve Love dalgaları) olarak sınıflandırılabilir. Bu dalgaların her biri, farklı hız ve etki mekanizmalarına sahiptir.

Yapılar, bu sismik dalgaların etkisi altına girdiklerinde, çeşitli tepkiler verirler. Yapının türü, taşıyıcı sistemi, malzemesi, yaşı ve genel yapısal özellikleri, depreme karşı gösterdiği davranışı belirler. Deprem mühendisliği bu davranışı anlamaya, yapıyı analiz etmeye ve uygun güçlendirme yöntemlerini geliştirmeye odaklanır.

1.2.2.1. Yapısal davranış ve deprem performansı

Yapısal davranış, bir yapının dış etkilere (örneğin, deprem gibi) karşı nasıl tepki vereceğini ifade eder. Deprem anında, yapılar farklı deformasyon türlerine maruz kalabilirler. Bu deformasyonlar, yapının statik ve dinamik yükler altında nasıl hareket ettiğini, titreşimler ve kırılmalar gibi olayları içerir. Yapıların deprem performansını değerlendirmek için öncelikle taşıyıcı sistemin nasıl tepki vereceği, malzeme özellikleri, yapısal düzen, zemin koşulları gibi faktörler dikkate alınmalıdır.

Yapısal davranış, genellikle şu parametrelerle değerlendirilir:

- **Yapısal Esneklik:** Yapının deprem sırasında esnemesi, yani deformasyon kabiliyeti. Esnek yapılar, deprem dalgalarının enerjisini emerek, hasarlarını minimize edebilir.
- **Taşıma Kapasitesi:** Yapının, deprem sırasında maruz kaldığı kuvvetlere karşı gösterdiği direnç.
- **Yapısal Titreşimler:** Yapının, deprem nedeniyle titreşim yapması. Bu titreşimlerin frekansları, yapının deprem güvenliğini doğrudan etkiler.
- **Düşey ve Yatay Değişimler:** Deprem sırasında yapının yatay ve düşey hareketleri, yapının güvenliğini etkileyebilir. Özellikle yüksek binalarda, yatay hareketlerin fazla olması yapıyı zayıflatabilir.

1.2.2.2. Deprem simülasyonları ve yapısal analiz

Deprem mühendisliğinde, yapıların deprem davranışlarını tahmin etmek ve optimize etmek için çeşitli hesaplama ve simülasyon araçları kullanılır. Bu araçlar, yapıların deprem anındaki hareketlerini, yüklenmelerini ve deformasyonlarını modelleyerek, mühendislerin yapısal performansı değerlendirmelerine olanak tanır. Bu sayede, yapının güçlendirilmesi ya da tasarımının değiştirilmesi gerektiği durumlar daha doğru bir şekilde tespit edilebilir.

Yapısal analiz yöntemleri

Yapısal analiz, bir yapının, dışarıdan uygulanan yükler altında nasıl davrandığını inceleyen bir mühendislik disiplini. Deprem mühendisliğinde yaygın olarak kullanılan analiz yöntemleri şunlardır:

- **Statik Analiz:** Deprem yüklerinin sabit bir yük gibi ele alındığı ve yapının tepkisinin incelendiği yöntemdir. Genellikle düşük dereceli depremler için uygundur.
- **Dinamik Analiz:** Deprem anındaki sismik yüklerin, zaman içinde nasıl değiştiğini inceleyen yöntemdir. Bu analiz, yapının titreşim modlarını, frekanslarını ve depremdeki reaksiyonlarını doğru bir şekilde modelleyebilir.
- **Çok Yükleme Durumu Analizi:** Yapının, farklı deprem senaryoları altında nasıl davrandığını inceleyen bir analiz türüdür. Bu, yapının olası en kötü durumdaki performansını değerlendirir.

1.3. SAP2000 İLE YAPISAL MODELLEME

SAP2000, mühendislerin yapıların dinamik davranışlarını analiz etmelerine olanak sağlayan ileri düzey bir yapısal analiz yazılımıdır. Bu yazılım, çok katlı binalardan tarihi yapılara kadar geniş bir yelpazede kullanılabilir. SAP2000, özellikle deprem mühendisliği alanında güçlü analiz ve modelleme yetenekleri sunar. Yazılım, sismik yüklerin yapı üzerindeki etkilerini simüle edebilir, farklı deprem senaryoları altında yapının davranışını inceleyebilir ve sonuçları görsel olarak sunabilir.

SAP2000 ile yapılan modelleme, yapı üzerinde çeşitli parametrelerin değişimlerini, örneğin, taşıyıcı sistemin güçlendirilmesi, yapı malzemelerinin değişimi gibi etkenlerin deprem performansı üzerindeki etkilerini incelemek için oldukça kullanışlıdır. Bu yazılım sayesinde, tarihsel yapılar gibi özgün yapılar için yapılan analizler daha güvenilir sonuçlar elde edilmesine olanak tanır.

1.3.1. Deprem Güvenliği ve Tarihi Yapılar

Tarihi yapılar, deprem mühendisliğinde özel bir öneme sahiptir çünkü genellikle eski inşaat teknikleri, malzemeler ve taşıyıcı sistemler kullanılarak inşa edilmiştir. Bu yapılar, günümüz mühendislik standartlarına uygun olarak tasarlanmamış ve inşa edilmemiştir. Bu nedenle, tarihi yapıların depreme karşı dayanıklılığı, modern yapılarınkine göre daha düşük olabilir. Ancak, tarihi yapıları koruyarak güçlendirme çalışmaları yapmak hem kültürel mirası korumak hem de yapının depreme karşı dayanıklılığını artırmak için önemli bir adımdır.

1.3.2. Tarihi Yapıların Deprem Performansının Değerlendirilmesi

Tarihi yapıların deprem performansını değerlendirmek için yapılan analizler, yapının mevcut durumunun ayrıntılı bir şekilde incelenmesini gerektirir. Bu süreçte, yapının taşıyıcı sisteminin gücü, kullanılan malzemelerin dayanıklılığı, yapısal bağların durumu gibi faktörler göz önünde bulundurulur. SAP2000 gibi yazılımlar, bu tür analizlerin doğru bir şekilde

yapılmasını sağlar ve deprem anında yapının nasıl davranacağı konusunda mühendislerin net bir fikir sahibi olmasını sağlar.

1.3.3. Güçlendirme ve Restorasyon

Tarihi yapılar için deprem güvenliğini artırmak amacıyla yapılan güçlendirme ve restorasyon çalışmaları, modern mühendislik teknikleri ile geçmişin yapısal özelliklerini uyumlu hale getirmeyi hedefler. Bu tür projelerde, yapıların taşıyıcı sistemleri güçlendirilebilir, zemin iyileştirmeleri yapılabilir, modern sismik izolatörler kullanılabilir ve mevcut yapının estetik ve tarihsel değerleri korunarak güçlendirme yapılabilir.

1.3.4. Karaman Hatuniye Medresesi'nin Tarihçesi ve Yapısal Özellikleri

Karaman Hatuniye Medresesi, Türkiye'nin güneyinde yer alan Karaman ilinde bulunan önemli bir tarihi yapıdır. Selçuklu ve Osmanlı dönemlerinin izlerini taşıyan bu medrese hem mimari açıdan hem de kültürel miras olarak büyük bir öneme sahiptir. Karaman Hatuniye Medresesi, medrese olarak inşa edilmesinin yanı sıra, tarihsel gelişimi ve yapısal özellikleri ile dönemin inşaat teknolojilerini yansıtan örneklerden biridir. Bu bölümde, Karaman Hatuniye Medresesi'nin tarihçesi, yapım süreci ve yapısal özellikleri detaylı bir şekilde incelenecektir.

1.3.5. Tarihçe

Karaman Hatuniye Medresesi, Osmanlı döneminin erken yıllarında inşa edilmiş olan önemli bir yapıdır. Medrese, 13. yüzyılın sonlarına doğru Selçuklu Devleti'nin etkisi altında, medrese eğitimini yaygınlaştırmaya yönelik olarak yapılmıştır. Bu dönemde, medreseler sadece dini eğitim kurumları değil, aynı zamanda bilimsel ve kültürel hayatın merkezi haline gelmiştir.

Karaman Hatuniye Medresesi'nin yapımına dair kesin bir tarih bulunmamaktadır, ancak yapılan araştırmalar ve arkeolojik kazılar, medresenin 13. yüzyılda inşa edilmiş olabileceğini göstermektedir. Yapının yapımında, dönemin Selçuklu mimarisine özgü izler bulunmaktadır. Hatuniye Medresesi, adını dönemin hükümdarının eşi olan Hatun'dan almıştır. Bu tür yapılar, dönemin sosyal yapısını ve eğitime verilen önemi yansıtan önemli örneklerdir.

Medresenin zaman içinde çeşitli restorasyonlar geçirdiği, ancak orijinal yapısının büyük ölçüde korunmuş olduğu anlaşılmaktadır. Osmanlı dönemi ve sonrasındaki çeşitli onarımlar, medresenin fonksiyonel yapısını sürdürmesini sağlamıştır. Karaman Hatuniye Medresesi, günümüzde hem tarihi bir yapı olarak hem de kültürel bir miras olarak büyük bir öneme sahiptir (Şekil 1).



Şekil 1: Karaman Hatuniye Medresesi (Karaman Valiliği, 2016)

1.3.6. Coğrafi Konumu

Hatuniye Medresesi Türkiye'nin Karaman İli Merkez İmaret Mahallesi, Turgut Özal Caddesi üzerinde bulunmaktadır. Ayrıca 37.1058 enlemi ile 33.1241 boylamı arasında kalmaktadır (Şekil 2).



Şekil 2: Hatuniye Medresesinin Konumunun Uydu Görüntüsü (Google Earth)

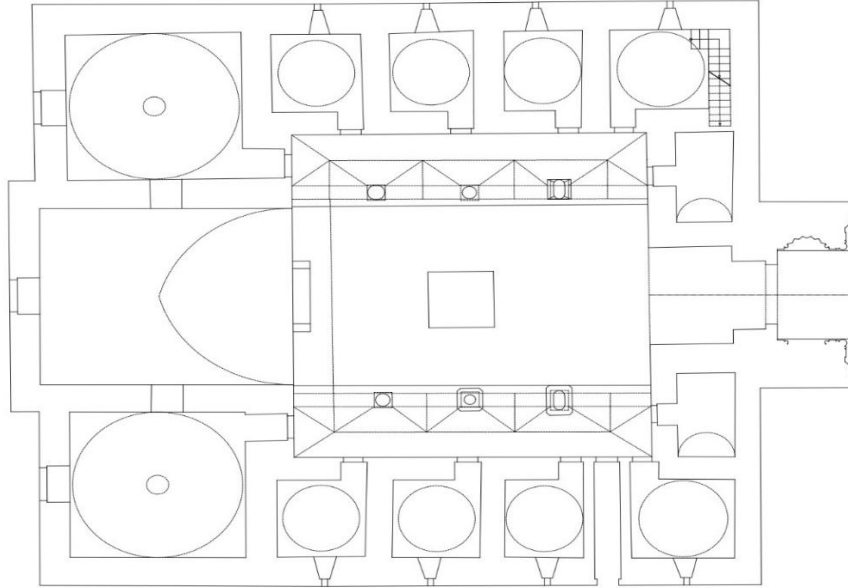
1.3.7. Yapısal Özellikler

Karaman Hatuniye Medresesi, tipik Selçuklu mimarisine sahip bir yapıdır ve medrese yapılarının özelliklerini taşır. Medrese yapısı hem mimari olarak hem de fonksiyonel olarak dönemin en önemli medreselerinden biridir. Medresenin yapısal özellikleri, inşa edildiği dönemin mühendislik anlayışını ve malzeme kullanımını anlamamıza yardımcı olmaktadır.

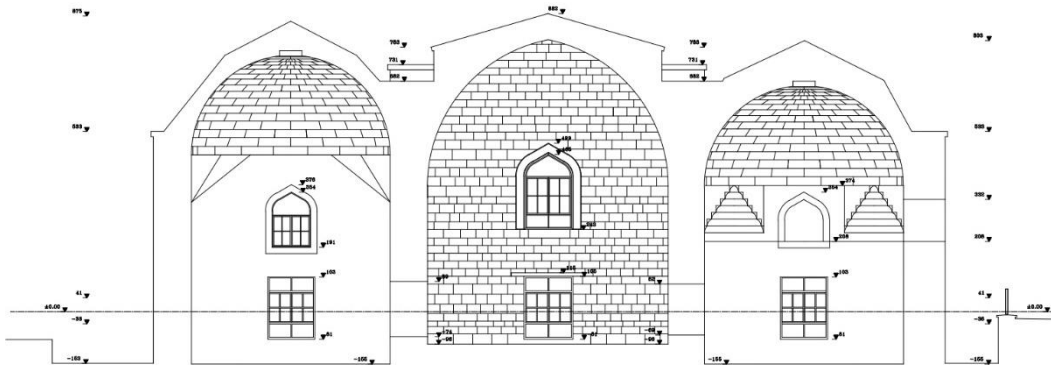
1.3.8. Plan Şeması ve İç Düzen

Karaman Hatuniye Medresesi, dört eyvanlı plan düzenine sahip bir yapıdır. Bu plan tipi, Selçuklu mimarisinin en belirgin özelliklerinden biridir. Medrese, merkezi bir avlunun etrafında konumlanan eyvanlardan oluşmaktadır. Avlunun ortasında, genellikle şadırvan yer alırken, bu avluya açılan eyvanlar medresenin ana odak noktalarını oluşturur. Etrafında ise derslikler, kütüphane ve diğer hizmet birimleri yer almaktadır.

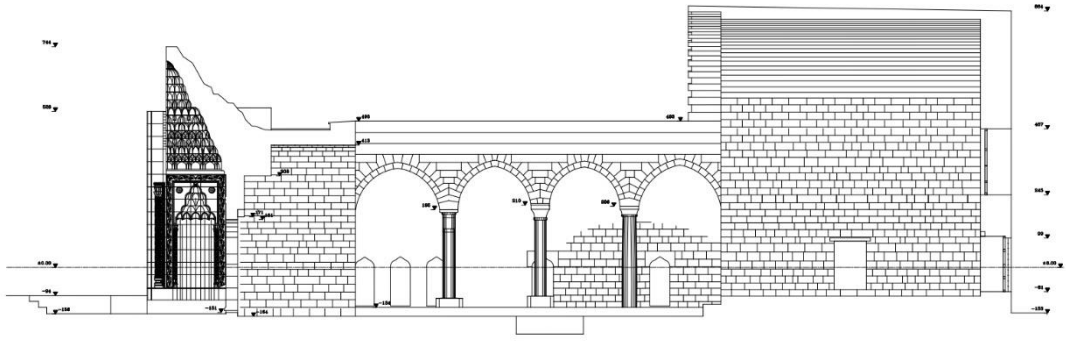
Medresenin ana bölümleri arasında, derslerin verildiği ana derslikler, öğretim kadrosunun çalışmaları için ayrılmış olan odalar ve öğrencilere ait odalar bulunur. Ayrıca, dönemin geleneksel medrese yapılarında sıkça görülen bir özellik olarak, yapı içinde dini eğitim ile ilgili faaliyetlerin yapılabilmesi için cami ya da mescit bölümleri de yer almaktadır. Bu özellik, Karaman Hatuniye Medresesi'nin sosyal ve dini hayatla olan bağlantısını ortaya koyar (Şekil 3, Şekil 4, Şekil 5, Şekil 6).



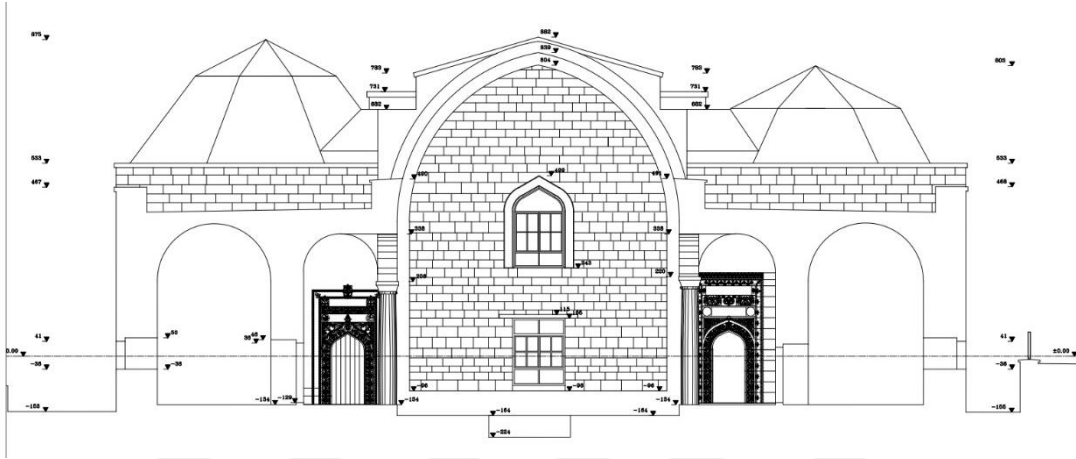
Şekil 3: AutoCAD Programında Hazırlanmış Rölöve Zemin Planının Sadeleştirilmiş Hali (Konya Vakıflar Bölge Müdürlüğü, 2024)



Şekil 4: Hatuniye Medresesi Kesiti (Konya Vakıflar Bölge Müdürlüğü, 2024)



Şekil 5: Hatuniye Medresesi Kesiti (Konya Vakıflar Bölge Müdürlüğü, 2024)



Şekil 6: Hatuniye Medresesi Kesiti (Konya Vakıflar Bölge Müdürlüğü, 2024)

1.3.8. Taşıyıcı Sistem ve Malzeme Kullanımı

Karaman da yer alan yapının mimarının Numan bin Hoca Ahmed olduğu bilinmektedir. Yapı, kesme taştan inşa edilmiştir. İki eyvanlı ve açık bir avluya sahip olan yapının iki yanı revaklarla çevrilmiştir. Avlu, zamanla modern malzemelerle kapatılmıştır. Revaklar, altışar adet devşirme sütuna dayanır. Farklı yüksekliklerdeki elips şeklindeki iki sütun ile başlıklarının aynı seviyeye gelmesi için farklı yüksekliklerdeki kaideler kullanılmıştır. Avlunun güney kanadındaki dışa taşkın ve yüksek ana eyvan, sivri beşik tonozla örtülmüş olup, kemeri palmetli bir bordürle kuşatılmıştır. Eyvanın arka duvarında alt kısmı düz hatlı, üst kısmı ise sivri kemerli iki pencere bulunurken, yan duvarlarında birer pencere daha yer alır.

Ana eyvan, kışlık dershane olarak kullanılmış olup, eyvanın doğusundaki oda, mukarnaslı tromplarla geçilen bir kubbe ile örtülüdür. Odanın kapısında rumi ve palmet motiflerinin yer aldığı bir bordür, üst kısmında ise iki satırlık bir ayet kuşağı yer alır. Dershanenin iki cephesinde, altı üstlü ikişer pencere bulunmaktadır.

Batıdaki oda, Nefise Hatun'un türbesi olarak tasarlanmıştır ve bu odanın kubbesi, bir köşede mukarnaslı trompa, diğer köşelerinde ise pandantiflere oturur. Türbeye giriş yapılan sivri kemerli kapının bordüründe lotus ve palmet motifleri yer alır. Kapının üst kısmındaki iki

satırlık ayet frizinin arasında dışa taşkın palmet işlemleri bulunur. Odanın güney cephesinde bir pencere vardır. Yapının geçirdiği onarımlar sonrasında her iki odadaki mavi ve siyah renkli çiniler sökülüştür.

Altı mermer, üstü sarımtırak kireç taşından yapılan madresenin kavsarası, mukarnaslı taçkapısının cephesinde geometrik, bitkisel ve yazılı bordürlerle çevrilmiştir.

Eyvân, Osmanlı ve Selçuklu mimarisinde sıkça görülen bir yapısal özelliktir. Genellikle bir yapının avlu, bahçe ya da meydan gibi açık alanlarına bakan, üstü kapalı, ancak yanları açık olan bir bölümdür. Eyvân, çoğunlukla bir veya birkaç sütunla desteklenen uzun, geniş bir alan olarak tasarlanır (Şekil 7). Osmanlı camilerinin ve külliyelerinin avlularında, özellikle büyük cami yapılarında, eyvanlar sıkça karşılaşılan bir unsurdur.

Eyvânın temel işlevi, hem estetik bir unsur hem de açık hava alanlarını kapalı alanlara bağlayan geçiş alanları sağlamaktır. Aynı zamanda, farklı fonksiyonlar için kullanılan eyvanlar, mimarinin genişlik ve derinlik hissiyatını artıran mekanlardır.



Şekil 7: Karaman Hatuniye Medresesi Eyvan Görseli (Mekan360, 2024)

Revak, bir yapının dış cephesinde bulunan, genellikle pencere ya da kapı gibi açıklıkların çevresinde yer alan, çerçeveveli bir yapı elemanıdır. Revaklar, çoğunlukla taşıyıcı özellik taşır ve binanın dış cephesinde estetik bir özellik sağlar (Şekil 8). Geleneksel mimaride, özellikle Osmanlı ve Selçuklu yapılarında, revaklar önemli bir yer tutar. Revak, aynı zamanda geniş ve açık koridorlar ya da galeri şeklinde de tanımlanabilir. Revaklar, genellikle yapıya daha fazla ışık ve hava girmesini sağlarken, aynı zamanda dışarıdan gelen olumsuz hava koşullarından korunma işlevi de görür.

Revak, daha çok mimari ve inşaat terimi olarak kullanılır ve bazı durumlarda avlular, iç mekânlar ve dış mekânlar arasında geçişi kolaylaştıran unsurlar olarak görülür.



Şekil 8: Hatuniye Medresesi Revak Görsele (Mekan360, 2024)

Devşirme sütun, Osmanlı İmparatorluğu döneminde, özellikle cami, külliye ve saray gibi yapılarda kullanılan, farklı dönemlerden veya kültürlerden alınan sütunlardır (Şekil 9). Bu sütunlar, genellikle Roma, Bizans, Antik Yunan gibi önceki medeniyetlerden ve yapılarından sökülüp, yeniden kullanılmak amacıyla Osmanlı yapılarında yerleştirilmiştir. "Devşirme" kelimesi, Osmanlı'da bir şeyin başka bir yerden alınarak, yeniden kullanılması anlamına gelir.

Devşirme sütunların özellikleri şunlardır:

- **Kaynağı:** Bu sütunlar, genellikle eski yapılarından (özellikle Roma ve Bizans yapılarından) sökülür. Bunlar, Antik çağlardan kalma taş, mermer ya da granit gibi farklı malzemelerden olabilir.
- **Tasarım Farklılıkları:** Farklı dönemlere ait sütunlar farklı stil ve şekillerde olabildiği için, devşirme sütunlar da estetik ve mimari açıdan çeşitlilik gösterir. Bir yapıdaki sütunlar birbirinden farklı boyutlarda ve stilize edilmiş olabilir.
- **Kullanım Amacı:** Osmanlı'da bu tür sütunlar hem maliyetleri azaltmak hem de mimarideki estetik zenginliği arttırmak amacıyla kullanılmıştır. Ayrıca, dönemin büyük inşaat projelerinde zaman ve iş gücü tasarrufu sağlamıştır.
- **Örnekler:** Özellikle İstanbul'daki camilerde, mesela Süleymaniye Camii ve Ayasofya gibi büyük yapılarda devşirme sütunlar sıklıkla kullanılmaktadır.

Devşirme sütunlar, Osmanlı mimarisinde hem estetik çeşitlilik hem de tarihsel bir bağlantı sağlar, bu sütunlar bir nevi geçmişin izlerini taşıyan, geçmişin medeniyetlerine ait parçalar olarak yeni yapılarla birleşmiş olur.



Şekil 9: Hatuniye Medresesi Devşirme Sütun Görseli (Kültür Envanteri, 2019)

Beşik tonoz, mimaride, özellikle Osmanlı ve Selçuklu dönemlerinde yaygın olarak kullanılan, düz bir çizgi boyunca uzanan ve kemerler yardımıyla oluşturulan bir tonoz türüdür. Beşik tonoz, genellikle taş, tuğla veya beton gibi malzemelerle inşa edilir ve tek bir eğik yüzeyden oluşur. Yapısal olarak, her bir kemer diğerine destek sağlar ve tüm yükü dağıtarak mekânın iç kısmında geniş bir alan yaratır (Şekil 10).

Beşik tonozun özellikleri:

- **Yapısal Özellikler:** Beşik tonoz, düz bir hattı takip eden ve uçlarından birbirine bağlı olan arka arkaya yerleştirilmiş kemerlerle oluşur. Bu yapı, uzun ve dar alanlarda yaygın olarak kullanılır. Kemerler, tonozun arkasındaki taşların veya tuğlaların ağırlığını taşıyarak, yapıyı destekler.
- **Kullanım Alanları:** Beşik tonoz, özellikle kubbeli yapılar, kiliseler, camiler, kervansaraylar ve hamamlar gibi tarihi yapılarda kullanılır. Beşik tonozlu tavanlar, özellikle uzun koridorlarda, pasajlarda ve avlularda karşılaşılan bir özelliktir.
- **Fonksiyonel Avantajlar:** Bu tonoz türü, yapının içinde geniş bir alan yaratırken, taşıyıcı elemanlar arasındaki yükü dengeleyerek sağlamlık sağlar. Ayrıca, iç mekânlara özgün bir estetik katmakla birlikte, mekânın daha geniş ve yüksek hissedilmesini sağlar.
- **Estetik Özellikler:** Beşik tonozlar, iç mekânlarda görsel bir derinlik ve hacim yaratır. Kemerlerin düzenli şekilde arka arkaya sıralanması, mekânın estetik bir düzen içinde olmasını sağlar.



Şekil 10: Hatuniye Medresesi Beşik Tonoz Görseli (Mekan360, 2024)

1.3.9. Cephe Tasarımı ve Süsleme

Medresenin cephe tasarımı, Selçuklu mimarisinin belirgin özelliklerini taşır. Karaman Hatuniye Medresesi'nin dış cephesi, ince işçilikle yapılmış taşlarla kaplanmıştır ve dekoratif unsurlar içermektedir. Çeşitli geometrik şekiller, bitkisel motifler ve Arap harfleri ile yapılan yazı süslemeleri, medresenin dış yüzeyini estetik açıdan zenginleştirir.

Medresenin özellikle kapı ve pencere düzenlemeleri dikkat çeker (Şekil 11). Pencere kenarları ve kapıların etrafında, Selçuklu tarzı taş işçiliği ve geometrik desenler bulunmaktadır. Bu desenler, yapının zarifliğini artırırken aynı zamanda dönemin kültürel ve dini öğelerinin de bir yansımasıdır.



Şekil 11: Hatuniye Medresesi Pencere ve Kapı Görseli (Mekan360, 2024)

1.3.10. Zemin ve Yapısal Katmanlar

Medresenin yapısal katmanları arasında, zemin kat ve üst katlar önemli yer tutar. Zemin kat, genellikle depo, derslik veya öğrenci odaları gibi işlevsel alanlarla donatılmıştır. Üst katlar ise, genellikle öğretim kadrosunun odalarına ve diğer özel alanlara ayrılmıştır. Bu düzen, medresenin işlevsel özelliklerini en iyi şekilde kullanmaya yönelik bir yapı planıdır.

Karaman Hatuniye Medresesi’nde ayrıca, avlunun etrafını çevreleyen kemerli açıklıklar ve üst katlarla bağlantılı galeriler yer almaktadır. Bu galeriler, hem dışarıdan içeriye gelen ışığı kontrol eder hem de yapının genel yapısal bütünlüğüne katkı sağlar.



İKİNCİ BÖLÜM

2. LİTERATÜR TARAMASI

Türer ve Boz (2007) Türkiye’de Antalya İlinde bulunan Aspendos Tiyatrosu’nun performans değerlerini elde etmek için sonlu elemanlar yöntemini kullanarak dinamik ve statik analizler yapmışlardır. Aspendos Tiyatrosu’nda yapılan 3D-FE modelleme ve dinamik ivme ölçümleri, yapının deprem ve ses kaynaklı titreşimlere karşı yapısal güvenliğini değerlendirmeye yardımcı olmuştur. Tiyatronun, özellikle büyük depremler sırasında ağır yapısal hasar riski taşısa da iç takviye ve yapı bağlantı iyileştirmeleri ile yapısal performansının artırılmasının mümkün olabileceği sonucuna ulaşılmıştır

Mallardo vd. (2008) Fransa’da Rönesans dönemine ait olan Palazzo Renata di Francia binasının sismik performansını ölçmek için üç boyutlu doğrusal olmayan analiz kullanmışlardır ve tek duvarların düzlem dışı kısmı çökmelerini önlemek için zemin sertliğini ve zemin-duvar bağlantılarını iyileştirmeyi amaçlayan bazı restorasyon müdahalelerinin gerekli olduğunu tespit etmişlerdir.

Bağbancı (2009) Bursa Ördekli Hamamı yapısında sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak deprem analizi yapmıştır ve yapının kendi ağırlığı altındaki analizlerini yaptıktan sonra A1 türü burulma düzensizliğini kontrol etmiştir.

Özcan (2009) Türkiye’de sonlu elemanlar yöntemi kullanarak Sakarya ilinde bulunan Rahime Sultan Camii’nin dinamik davranışını araştırmıştır. Yapının depremli durumda güvenlik faktörünün 4’e kadar inmesine rağmen, bu değer güvenli sınırlar içinde kaldığını ve yapısal güvenliğin aşılmadığını tespit etmiştir. Yazar, çekme gerilmelerinin sınırlı bir bölgede ve kısa süreli olduğu göz önüne alındığında, yapı güvenliğini olumsuz etkilemeyeceği, sadece küçük çatlaklar oluşabileceği sonucuna varmıştır.

Akan (2010) Türkiye’de Ankara Ahi Elvan Camii’nde sonlu elemanlar yöntemi kullanarak yapının yapısal performansı hakkında değerlendirme yapmıştır. Yazar ahşap sütunlu tarihi camide taşıyıcı sisteminin deprem ve rüzgâr gibi doğal olayların neden olduğu yatay yükler karşısında zayıf kaldığını gözlemlemiştir.

Ceci vd. (2010) İtalya’da L’Aquila Üniversitesi binalarının sismik performansını ölçmek için sonlu elemanlar analizini uygulamışlardır ve sismik etkilerin oldukça dağınık bir şekilde meydana geldiğini belirlemişlerdir.

Özkul ve Ergüneş (2010) Türkiye’de İstanbul’da bulunan Panagia Ton İsodion Kilisesi’nde sonlu elemanlar yöntemi kullanarak yapının kendi ağırlığı ve deprem yükleri

altında davranışlarını incelemişlerdir. Yazarlar yaptıkları analizle yapının taş kısımlarıyla ilgili basınç, çekme ve kayma gerilmeleri açısından bir problem olmadığını savunmuşlardır.

Almaç (2011), İstanbul'da sonlu elemanlar yöntemi kullanarak Zeyrek Camii (Pantokrator Kilisesi) Kuzey Bölümünde taşıyıcı sistem analizi gerçekleştirmiş ve yapının onarımı için müdahale önerileri hazırlamıştır. Çalışmada, tarihi yapıların deprem davranışlarını analiz ederek, yapıların sağlamlaştırılması için öneriler geliştirilmiştir.

Soyluk vd. (2011) İstanbul'un Fatih ilçesinde bulunan Şehzade Mehmet Camii'nde sonlu elemanlar yöntemiyle analiz yapmış ve ankastre mesnetli, kurşun çekirdekli kauçuk mesnetli ve yüksek sönümlü kauçuk mesnetli modellerinin dinamik davranışlarını belirlemiş, bunları birbirleriyle karşılaştırmıştır. Taban izolasyonları sayesinde yapıya gelen deprem kuvvetleri beklenildiği gibi azalmış ve katlar arası bağıl deplasmanların küçüldüğü tespit edilmiştir.

Durutürk (2012) Isparta ili, Yalvaç ilçesinde bulunan 1912 yılından kalma tarihi Hamidiye Camii'nde sonlu elemanlar yöntemi kullanarak dinamik ve statik analiz yapmıştır. Yazar yaptığı analizler sonucunda +2 kotunda basınç ve kayma gerilmelerinin çok yaşandığını ve bunun sebebinin de boşluk oranının diğer katlara göre fazla olduğunu tespit etmiştir.

Korkmaz vd. (2012) Türkiye'de Tokat ilinde bulunan Yağıbasan Medresesi'nde zaman tanım alanında dinamik analizler yapmıştır. Çalışmada, Yağıbasan Medresesi'nin farklı deprem yükleri altındaki davranışı incelenmiş ve Loma Prieta depremi sırasında en yüksek yer değiştirme, taban kesme ve gerilme değerleri elde edilmiştir. Yazar, medrese yapısının deprem etkisi altında önemli deformasyonlar yaşadığını, özellikle Loma Prieta depreminde daha büyük yer ivmesinin etkili olduğu gözlemlemiştir.

Çaktı vd. (2013) Edirne Mihrimah Sultan Camii minaresinde ayrıık elemanlar yöntemi kullanarak deprem analizi yapmışlardır. Minare de yapılan deprem analizine istinaden göçmelerin, gövdenin alt yarısında normal deplasmanlara bağılı olarak, şerefe üstünde ise kesme sonucu oluştuğunu gözlemlemiştir.

Barbieri vd. (2013) İtalya'da Palazzo del Capitano binasının sismik performansını ölçmek için doğrusal olmayan analiz kullanmışlardır. Yazarlar Piazza Sordello'ya bakan uzunlamasına cephenin hem döşemelere hem de enine destek elemanlarına yeterince bağlanamadığını, bu nedenle sismik bir olay meydana geldiğinde deformasyonunu telafi edemediğini tespit etmişlerdir.

Çavuş (2013) Türkiye’de Niksar Kulak Kümbeti’nin deprem altındaki sismik davranışını analiz etmek için sonlu elemanlar yöntemini uygulamışlardır ve ilgili yapının depreme karşı dayanımı ile ilgili bir olumsuzluğun meydana gelmeyeceğini gözlemlemişlerdir.

Çavuş ve Dayı (2013) Türkiye’de Kırk Kızlar Türbesi’nin sismik performansını analiz etmek için sonlu elemanlar yöntemini kullanmışlardır ve bu türbenin depreme karşı dayanımı ile ilgili bir olumsuzluğun meydana gelmesi ihtimalinin çok zayıf olduğunu ifade etmişlerdir.

Erkek vd. (2013) Malatya ilinin Battalgazi ilçesinde bulunan 1224 yılında Selçuklular döneminde inşa edilmiş olan Malatya Ulu Camii’nin sismik davranışını sonlu elemanlar yöntemi kullanarak incelemişlerdir. Bu çalışmada, tarihi Ulu Cami’nin doğrusal ve doğrusal olmayan sismik analizleri sonucunda, yapının düşük seviyelerde hasar aldığı ve özellikle C aksı ile 12 aksında belirgin hasarların meydana geldiğini tespit etmiştir. Yapının sismik etkilerden dolayı yaşadığı hasar, rijitlik farklarından ve bağlantı eksikliklerinden kaynaklandığını tespit etmiştir.

Kılıç vd. (2013) Türkiye’de sonlu elemanlar yöntemini kullanarak Hatay Hükümet Konağı’nın dinamik ve statik analizlerini yapmışlardır. Yapılan sismik analizlere göre, bölge sürekli bir deprem riski taşımakta olup, mevcut yapının deprem güvenliği, taşıyıcı duvarlarının yeterli taşıma kapasitesine sahip olmaması nedeniyle iyileştirilmesi gerektiğini, yapının güçlendirilmesi için duvarlardaki düşey süreksizliklerin giderilmesi ve deformasyon kabiliyeti yüksek malzemelerle takviye edilmesi önermektedirler.

Korkmaz vd. (2013) Türkiye deprem haritasında 1. derecede deprem bölgesinde bulunan Van ilindeki tarihi Akdamar Kilisesi’ni sonlu elemanlar yöntemi kullanarak deprem davranışlarını incelemişlerdir. Yazarlar tarihi yapıya uyguladıkları deprem karşısında ki analiz sonuçlarına göre yapı da oluşan en büyük ve en küçük yer değiştirme, gerilme ve taban kesme değerlerini bulmuşlardır.

Şeker vd. (2013) Amasya ilinde bulunan Osmanlı mimarisinin en güzel örneklerinden olan Kara Mustafa Paşa Camii’nde sonlu elemanlar yöntemi kullanarak statik ve dinamik analizler yapmışlardır. Kara Mustafa Paşa Camii’nin statik analizleri, yapının genel olarak rijit olduğunu ve statik gerilmelerin izin verilen limitlerin altında kaldığını tespit etmişlerdir. Deprem etkileri altında ise özellikle girişteki üç gözlü bölme ve ana giriş kapısındaki kısımların zorlandığını, ancak bu bölgelerdeki gerilmelerin de güvenli seviyelerde kaldığını bulmuşlardır.

Zabin vd. (2013) Karaman Ermenek Tol Medresesi’nde zaman alanı yöntemiyle deprem analizi yaparak yapıya ait çekme, basınç, kayma ve yer değiştirme değerlerini bulmuşlardır. Farklı deprem verileri altında ki değerleri kıyaslamışlardır.

Korkmaz vd. (2014) Rize Merkez’de bulunan ve 1570 yılında İskender Cafer Paşa tarafından yaptırılan Kurşunlu Camisi üzerinde zaman tanım alanında dinamik analizler yapmışlardır. Farklı bölgelerde meydana gelen deprem ivme kayıtlarına göre elde edilen sonuçları karşılaştırmışlardır.

Çal (2015) Çalışma da İstanbul’da bulunan Ortaköy Büyük Mecidiye Camii’nde sonlu elemanlar yöntemi kullanarak statik ve dinamik analizler yapmıştır. Yapıyı genel olarak yorumlayarak dinamik ve statik analiz sonrası zorlanan kısımlar hakkında bilgi vermiştir.

Çarhoğlu vd. (2015) Kars Kümbet Camii’nde zaman tanım alanı yöntemi kullanarak doğrusal analiz yapmışlar ve farklı deprem ivmeleri altındaki davranışlarını incelemişlerdir.

Hökelekli (2015) Manisa’da Hafsa Sultan Camii ve minaresinde sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak dinamik analizler yapmış ve doğrusal ve doğrusal olmayan deprem analiz sonuçlarını karşılaştırmıştır. Doğrusal analiz sonuçlarının yapının dinamik deprem davranışını gerçeğe daha yakın olarak temsil etmediğini, gerçeğe yakın değerler bulunabilmesi için doğrusal olmayan analiz yöntemleri kullanılmasını savunmuştur.

Mutlu (2015) Türkiye’de sonlu elemanlar yöntemi kullanarak tarihi bir geçmişe sahip Bursa Ulu Cami ve Yeşil Camii’nin sayısal modeli oluşturmuş ve yapısal davranışlarını değerlendirmiştir. Yazar Ulu Camii’nin deprem etkisi altında başarılı bir performans sergileyerek düşük seviyede yer değiştirme yaptığını, ancak minarelerde çekme gerilmesinin aşılması ve kubbelerde çökme riski olduğunu gözlemlemiştir. Doğu minaresinin batı minaresine göre daha zayıf olduğunu deprem etkisi altında daha fazla risk taşıdığını söylemiştir.

Şeker vd. (2015) Erzurum da bulunan Lala Paşa Camisini sonlu elemanlar yöntemi kullanarak statik ve dinamik analizler yapmışlardır. Erzurum Lala Paşa Camisi’nin statik ve dinamik analizleri, yapının genel olarak iyi durumda olduğunu, ancak son cemaat bölümü, pencere ve kapı kenarları ile ana kubbeyi taşıyan kemerlerin mesnet bölgelerinin dikkat edilmesi gereken kritik alanlar olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca, bu çalışma, benzer yapı malzemeleri ve taşıyıcı sistemlere sahip tarihi yapılarda yapılacak çalışmalar için önemli bir rehber niteliği taşıyacağını savunmuşlardır.

Aslan (2016) Çalışmada yazar İstanbul Süleymaniye Camii sonlu elemanlar yöntemi kullanarak analizler gerçekleştirmiştir ve daha önce yapılmış olan sondaj verilerini alarak yapının bulunduğu zemini modellemiştir. Farklı türlerde deprem kayıtlarına istinaden statik ve dinamik analiz sonuçlarını karşılaştırmıştır.

Garofano ve Lestuzzi (2016) İsviçre’de üç boyutlu eleman modellemesi yardımıyla Ancien Hôpital De Sion binası için analiz gerçekleştirmişlerdir ve hasarın binanın güney kanadında ve merdivenleri çevreleyen duvarlarda daha belirgin olduğunu belirtmişlerdir.

Güllü vd. (2016) Türkiye’de Gaziantep ilinde bulunan Kurtuluş Camii’nde sonlu elemanlar yöntemi kullanarak deprem davranışlarını ve deprem sonrası oluşan hasarları incelemişlerdir. Yapılan analiz sonucunda caminin belli kısımlarında yer değiştirme ve çekme gerilmelerinin sınır değerleri aştığı ve bu durumun deprem karşısında cami de rezonans getireceğini vurgulamışlardır.

Uğuz (2016) Konya Tarihi Gazi Lisesi üzerinde sonlu elemanlar yöntemi ile ETAPS programı kullanarak yapısal analiz yapmıştır. Yazar Tarihi Konya Gazi Lisesi binasının statik analizi, yapının taşıyıcı duvar uzunlukları ve boşluk oranlarının mevcut yönetmeliklere uymadığını, ancak yapının deprem performansının yönetmelik kriterlerini sağladığını tespit etmiştir. Ayrıca çatlakların özellikle kapı ve pencere kenarlarında yoğunlaştığını, temeldeki oturma ve kesme çatlaklarının güçlendirme yöntemleriyle onarılmasının yapının uzun ömürlü kullanımını sağlayacağını belirtmiştir.

Yavuzer (2016) Eyüp’te bulunan Zal Mahmut Paşa Külliyesi’nde sonlu elemanlar yöntemi kullanarak dinamik analizler yapmıştır. Yapının 1959 yılı raporunda tespit edilen hasarların, sonlu elemanlar analizi ve çevresel titreşim verileriyle uyumlu olduğunu tespit etmiştir.

Demircan vd. (2017) Artvin ili Şavşat ilçesinde bulunan Tbeti Manastırını sonlu elemanlar yöntemi ile modellemiş, yapının kendi ağırlığı ve dinamik yükler altındaki yapısal davranışlarını incelemişlerdir. Yazarlar, Tbeti Manastırı’nın mevcut yapısal durumu, yapılan analizler sonucunda depreme karşı yeterli dayanımı sağladığını ve yapının gerilme değerlerinin kabul edilebilir sınırlar içinde kaldığı görmüşlerdir. Yapının taşıyıcı elemanlarında herhangi bir malzeme kaybı veya bozulma olmadığı sürece, depreme karşı olumsuz bir durumun oluşma olasılığı oldukça düşük olduğu sonucuna varmışlardır.

Gani (2017) İstanbul Yıldız Teknik Üniversitesi bünyesinde Fen-Edebiyat Fakültesi olarak kullanılan ancak yakın zamana kadar askeri kışla olarak hizmet vermiş tarihi bir yığma binanın statik ve dinamik yükler altındaki yapısal analizi üzerinde çalışmıştır. Tarihi kışlanın operasyonel modal analiz ile yapılan nümerik analiz sonuçlarının büyük ölçüde tutarlı olduğu gözlemlenmiş ve doğrusal olarak çözülmüş makro modelin, belirlenen amaç doğrultusunda yeterli sonuçlar sunduğunu tespit etmiştir.

Alagöz (2018) Türkiye’de sonlu elemanlar analizi yardımıyla Konya da bulunan tarihi Obruk Han’ın yapısal davranışlarını incelemiştir. Yazar tarihi yapıya Kocaeli, Taiwan ve Landers deprem verilerini uygulayarak karşılaştırma yapmıştır.

Aşıkoğlu (2018) Kütahya ilinde bulunan Kurşunlu Camii’nde sonlu elemanlar yöntemi kullanarak itme ve dinamik analizler yapmıştır. Yaptığı itme ve dinamik analizler sonucunda güçlendirilmiş modelin yapısal davranışını iyileştirdiğini ve çelik elemanların doğrusal olmayan davranışa katkı sağladığını tespit etmiştir.

Erkul (2018), Çalışmada yazar Bayburt il sınırları içerisinde yer alan Geleneksel Bayburt Evi’nin 2007 Deprem Yönetmeliği ile 2013 Riskli Bina Tespit Yönetmeliği’ne göre mevcut yığma yapıların deprem performansları karşılaştırmıştır.

Güllü (2018) Türkiye’de Adıyaman Cendere Köprüsü üzerinde sonlu elemanlar yöntemi kullanarak zaman-tanım alanında lineer elastik analiz yöntemi ile deprem etkisi altındaki davranışı inceleyerek hasar durumunu değerlendirmiştir. Deprem sonrası çekme gerilmelerinin yapı için risk oluşturabileceğini, basınç gerilmeleri için risk olmayacağını tespit etmiştir.

Kocaman vd. (2017) Erzurum Lala Paşa Camii’nin dinamik yükler altındaki davranışını 9 farklı ivme kaydı kullanarak incelemişlerdir. Bu çalışmada, duvarların düzlem dışı yük taşıma kapasitesinin, duvarın devrilme veya eğilme yönü, deprem çevrimindeki eksenel yük durumu ve duvarın sınır şartları ile ilişkili olduğu ortaya koymuşlardır.

Çoban (2018) Bayburt ili içerisinde yer alan Yakutiye (Yeni) Camii’nde sonlu elemanlar yöntemi kullanarak dinamik ve yapısal davranışını incelemiştir. Bayburt Yakutiye (Yeni) Camii üzerinde yapılan analizler, sismik izolatörlerin kullanılmasıyla yapının deprem performansının önemli ölçüde iyileştiği ve minare gövdesindeki tehlikeli gerilmelerin azaltıldığı sonucuna varmıştır. Yazar izolatörsüz ve izolatörlü modellerdeki gerilme farkları, kauçuk izolatörlerin tarihi yapıların deprem güvenliğini artırmada etkili bir çözüm olduğunu ortaya koyduğunu söylemiştir.

Kocaman vd. (2018) Türkiye’de Erzurum Yakutiye Medresesi’nin depreme dayanıklılığını test etmek için sonlu elemanlar yöntemi yardımıyla analiz gerçekleştirmişlerdir ve hesaplanan deprem yükünün yönetmelik bağıntısıyla elde edilen yapı yük kapasitesinin altında olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Özdemir (2018) Antalya’nın Patara bölgesinde bulunan Antik Kent Tiyatrosu’nda sonlu elemanlar metodu kullanılarak yatay ve düşey yükler altında yapısal analizini yapmıştır. Yapı

da rijitlik ve kütle merkezlerinin çakışmamasından kaynaklı düşey eksen etrafından burulma momenti oluştuğu tespit etmiştir.

Sözen vd. (2018) Türkiye’de Tokat ilinde bulunan Garipler Camii’nde sonlu elemanlar yöntemi kullanmışlar ve olası bir deprem durumunda sismik performansını değerlendirmişlerdir. Yazarlar Garipler Camii’nin sismik performans analizi, tonoz minare birleşim kesitleri ve tonoz kubbe birleşimlerinde deformasyonlar ve kritik gerilme yığılmaları tespit etmişlerdir, ayrıca minare ve tonoz arasındaki etkileşimin yapının sismik davranışını olumsuz yönde etkileyebileceği sonucuna varmışlardır.

Uray (2018) Bursa ili İznik Yeşil Camii’nde sonlu elemanlar yöntemi kullanarak yapıda düşey yükler altında statik analiz, modal analiz ve davranış spektrum analizleri yaparak yapının hasarlı bölgeleri için veriler toplamıştır. Statik analiz sonrası oluşan yükleri yapının güvenli bir şekilde taşıdığı sonucuna varmıştır.

Döndüren (2019) Edirne’de bulunan 15 YY ile 16 YY inşa edilmiş Tütüncü Baba Türbesi sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak çeşitli yükler altında kuvvetleri ve gerilmeleri hesaplamıştır. Tütünsüz Baba Türbesi’nin yapılan analizlerinde, güçlendirilmiş çekme çemberi ve mevcut durumu dikkate alındığında, yapının stabilitesinin korunmuş olduğu ancak zemindeki su yükselmesinin engellenmesi gerektiğini belirlemiştir. Yapının yüksek gerilme değerlerine rağmen stabil kalmasının, çevresel etkilerin kontrol altına alınmasıyla sürdürülebilir olduğu sonucuna varmıştır.

Erdemir (2019) Türkiye’de sonlu elemanlar analizi yardımıyla tarihi Konya Hasbey Dar’ül Huffazı’nın deprem davranışlarını incelemiş ve değerlendirmiştir. Yazar elde ettiği sonuçlarla meydana gelen gerilmelerin yapı da herhangi bir risk oluşturmadığını gözlemlemiştir.

Jaihoon (2019) Türkiye de Türk İslam Sanatı açısından önemli bir yere sahip olan Konya Sille Ak Camii’si üzerinde sonlu elemanlar yöntemi kullanarak yapısal analiz yapmıştır. Tarihi Sille Ak Camii’nin statik analizi, yapının kapı ve pencere boşluklarında, duvar birleşim yerlerinde basınç ve kayma gerilmeleri açısından güvensiz olduğunu ortaya koymuş, ancak genel olarak stabilitesini koruduğu gözlemlemiştir. Yapıda tespit edilen çatlakların, özellikle temel oturmalarından kaynaklandığını düşünerek güçlendirme yöntemleriyle onarım yapılması gerektiğini belirtmiştir.

Kılıç vd. (2019) Türkiye’de Kırklareli Hızırbey Camii Minaresi üzerinde mod birleştirme yöntemi kullanarak dinamik analiz yapmışlardır. Rayleigh yöntemiyle minare

üzerinde bulunan hakim periyodunun, mod birleştirme yöntemiyle elde edilen sonuçlara yakın olduğunu tespit etmişlerdir.

Yazgan vd. (2019) Bursa Sinan Paşa Külliyesi'nde sonlu elemanlar yöntemi kullanarak sayısal modelleme ve yapısal analiz üzerine çalışmışlardır. Yazarlar imaretin güçlü (rijit) bir yapıya sahip olduğu gözlemlenmiştir. Deprem etkisine göre yapılan analizler sonucunda elde edilen en büyük ötelenme değerleri kubbenin en üst kısmında olacağını tespit etmişlerdir.

Başgöl (2020) Kırşehir ili Cacabey Medresesini Sap2000 ile modelleyerek dinamik ve statik analizler yapmıştır. Bu Modelleme ile elde edilen sayısal verilerin Medrese de yapılacak restorasyon çalışmalarında etkili olması amaçlanmıştır.

Fırat vd. (2020) Gazi Mustafa Kemal Paşa Muallim Mektebi Plaxis 2D yazılımında modellenmiş, yapı temeli yer değiştirmeleri ve zemin davranışı yorumlamışlardır. Yazarlar, gerçekleştirilen çalışmada zeminde taşıma gücü problemlerinden önce kabarmaya bağlı yer değiştirmelerin meydana geldiğini ve bu durumun yapıya zararlı bir etkisinin olmadığını tespit etmişlerdir.

Karalar vd. (2020) Çalışmada, Zonguldak ilinde 1941 yılında inşa edilmiş tarihi bir yığma yapının performansı değerlendirilmiştir. Yazarlar, tarihi yığma yapıların güvenliği ve servis ömürlerinin artırılması açısından mantolama ve güçlendirme işlemlerinin ne denli önemli olduğunu vurgulamayı amaçlamaktadırlar.

İzgi (2020) Türkiye'nin Diyarbakır şehrinde Yedikardeş Burcu'nun sismik performansını değerlendirmek adına sonlu elemanlar metodunu kullanmış ve yapının sınırlı hasar performans seviyesinde olduğunu belirtmiştir.

Türker ve Yanık (2020), Aydın ilinde bulunan İlyasbey Camii'nin, üç boyutlu sonlu eleman modeli oluşturarak sabit yük, rüzgâr yükü ve deprem yükü etkileri altında analizlerini incelemişlerdir. İlyasbey Camii'nin üç boyutlu sonlu eleman modeli oluşturulup kalibre edildikten sonra yaptığı analizlerde, cami ve minarenin mevcut durumunun gerçekçi bir şekilde temsil edildiğini ve minarenin sabit yük, rüzgâr ve deprem etkisi altında yapısal hasar riski taşımadığı sonucuna varmışlardır. Minarenin basınç ve çekme gerilmeleri, taşıma kapasitesinin çok altında kalmakta, dolayısıyla bu etkiler altında minarenin güvenli olduğunu öngörmektedirler.

Yurdakul vd. (2020) Türkiye'de Bayburt ilinde bulunan Ulu Camii üzerinde sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak dinamik ve statik analizler yapmışlardır. Bayburt Ulu Camii'nin dinamik performansını farklı deprem yükleri karşısında incelediklerinde, en büyük gerilme değerlerinin 1999 Düzce depreminde oluştuğunu ve yapının basınç gerilmeleri açısından

güvenli olduğunu gözlemlemişlerdir. Çekme gerilmesinin ise caminin üçüncü kuşak ayağında hasara yol açtığını, bu hasarların ise FRP örtü ve destekleme yöntemleriyle onarılabileceği öngörmüşlerdir.

Çakır (2021) Türkiye’de sonlu elemanlar analizi yardımıyla Kaya Çelebi Camii’nin sismik performansını belirlemek için analiz gerçekleştirmiş ve ilgili yapının sismik açıdan hassas olduğunu ve minarede yer değiştirme hareketinin istenilen seviyeden fazla yaşandığı sonucuna ulaşmıştır.

Durgut vd. (2021) Türkiye’de doğrusal ve doğrusal olmayan analizler kullanarak Hocaalızade Cami için sismik performans analizi uygulamışlardır. Yapı da doğrusal analize göre yer değiştirme hareketinin yaşanmadığını, doğrusal olmayan analize göre verilerin sınır değerlerinin üzerinde olduğunu ifade etmişlerdir.

Öztoprak (2021) Isparta ili Yalvaç ilçesinde bulunan Devlethan Cami’si üzerinde sonlu elemanlar yöntemi kullanarak yapılan analizler neticesinde yapıda oluşan maksimum basınç, maksimum kayma gerilmesi ve yer değiştirme değerleri elde etmiştir. Devlethan Camii’nin deprem güvenliği analizinde, düşey yükler altında yapının basınç dayanımının yeterli olduğunu ancak deprem yükleri altında bazı cephelerde gerilme yığılmalarının çatlaklara yol açabileceğini tespit etmiştir.

Ural ve Çelik (2021) Gaziantep ilinde bulunan Nizip Tahtani (Leylek) Camii’nde sonlu elemanlar yöntemi kullanarak analizler yapmışlardır. Yazarların yaptıkları analizler sonrasında Tahtani Cami’nin restorasyonunda, yapının tarihsel dokusunu koruyarak sağlıklı bir şekilde gelecek nesillere aktarılması için betonarme döşemeler ve çimento bazlı elemanların kaldırılmasını, gergi demiri uygulamaları ve duvarlardaki deformasyonların onarılmasının öneminden bahsetmişlerdir. Bu restorasyon adımları, yapının stabilitesini artırarak gelecekteki deformasyonların önüne geçeceğini savunmuşlardır.

Usta ve Bozdağ (2021) Türkiye’de Tarihi Başdurak Camii’nin deprem analizini incelemek için SAP2000 sonlu elemanlar yazılımı kullanarak dinamik analiz uygulamışlardır. Yazarlar cami yapısının ana beden ve minare kısmı için hesaplanan görelî yer değiştirme değerlerinin kabul edilebilir sınırlar içinde olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Akın ve Sayın ve Özmen (2022) Tarihi yığma köprülerin farklı sönüm tipleri altında sismik tepkilerini incelemişlerdir. Yazarlar bu çalışmada Tarihi Tağar köprüsünü ele almışlardır. Tarihi köprü üzerinde dinamik analizler sonucunda köprüde meydana gelen yer değiştirme ve gerilme değerleri elde etmişlerdir. Elde edilen basınç ve çekme gerilmeleri çalışmada dikkate alınan taşın basınç ve çekme dayanımının altında kalmış ve sönüm oranının

artmasıyla köprüde meydana gelen yer değiştirme ve gerilme değerlerinin azaldığını gözlemlemişlerdir.

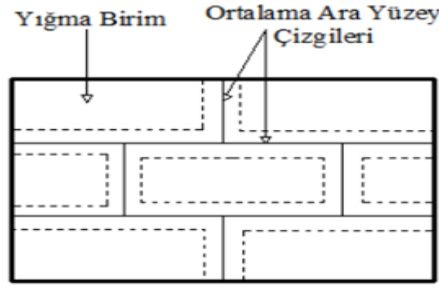
Altunok (2022) Konya İshak Paşa Türbesi'nde sonlu elemanlar yöntemiyle deprem analizi yapmış ve yapıya uygulanan deprem ivmelerine göre davranışlarını incelemiştir.

Erdemir (2022) Konya Dursunoğlu (Tahir Paşa) Camisi'nin Konya'ya ait deprem spektrumu ve sabit yükler tanımlayarak yapının modal ve deprem analizi üzerine çalışmıştır. Yazar deprem etkisi altında elde ettiği değerlere istinaden restorasyon ve güçlendirme için altlık oluşturabileceği tavsiyesinde bulunmuştur.

Kılınç vd. (2023) Sonlu elemanlar metodu yardımı ile Yozgat'ta 1890'larda inşa edilen Miralay Şerif Bey Konağı'nın sayısal modellenmesi yapılarak yapının dinamik analizini yapmışlardır. Çalışmada malzeme özellikleri ile oluşturulan modellemelerden elde edilen yapıların dinamik parametrelerinin belirgin şekilde değiştiğini tespit etmişlerdir.

Alan ve İlki (2024) KKTC'de Lefkoşa Selimiye Camii'nin sismik performansını test etmek için makro modelleme yaklaşımı ile tepki spektrumu analizi kullanmışlardır ve orta nef üst örtüsü üzerindeki dolguların azaltılmasına ve bir gergi ve basınç çubuğu sistemi oluşturulmasına karar vermişlerdir.

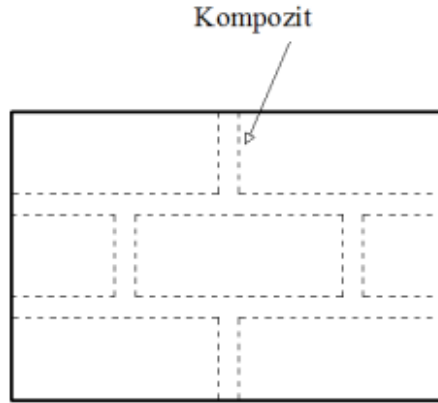
Kocaman ve Kazaz (2024) Sonlu elemanlar yöntemi yardımıyla Türkiye'de Konya Sultan Selim Cami için sismik performans değerlendirmesi gerçekleştirmişlerdir. Yazarlar son cemaat yerinin yapının global kuvvet-yer değiştirme eğrilerine etki etmediğini ve yapının göçme mekanizmasını değiştirmediğini tespit etmişlerdir.



Şekil 13: Basitleştirilmiş Mikro Modelleme Tekniği (Yıldızoğlu, 2019, s. 32)

3.3. MAKRO MODELLEME

Makro modelleme tekniğinde, yığma duvarlar tek bir kompozit malzeme olarak ele alınır. Yığma birimlerin ve harçların mekanik özellikleri, belirli formüllerle hesaplanarak tek bir malzeme özelliğine indirgenir (Şekil 14). Bu yaklaşım, büyük ve karmaşık sistemlerin hızlı bir şekilde analiz edilmesinde tercih edilir (Yıldızoğlu, 2019). Çünkü daha az detay içerir ve çözüm süresi daha kısadır. Bu çalışmada Karaman Hatuniye Medresesinde makro modelleme tekniği kullanılmıştır (Şekil 15).



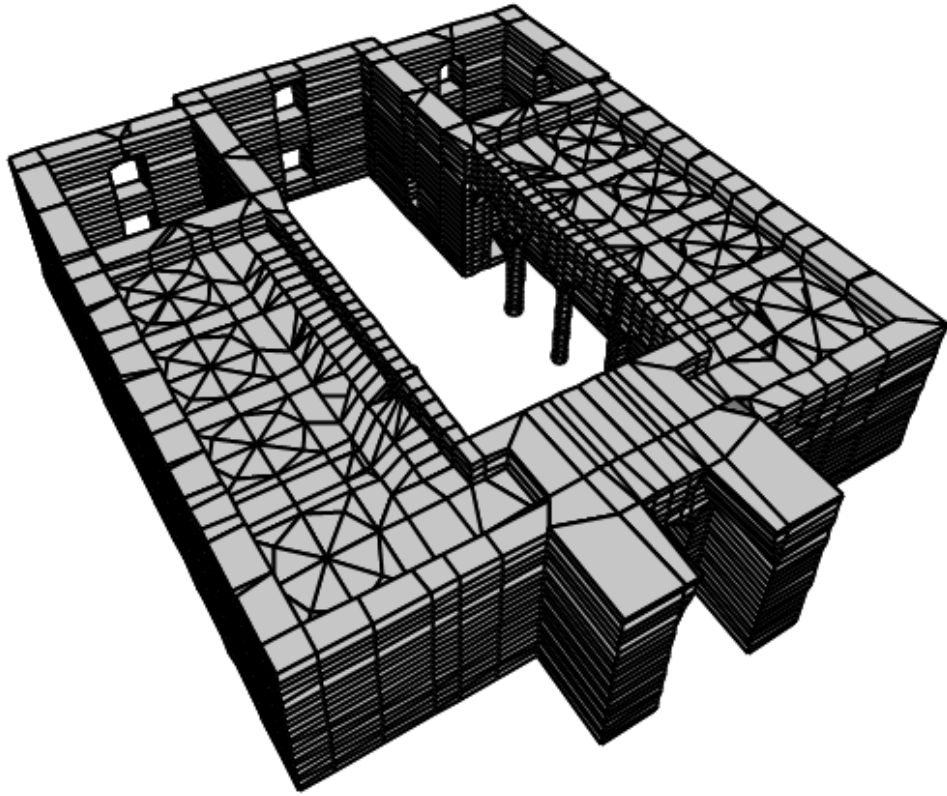
Şekil 14: Makro Modelleme Tekniği (Yıldızoğlu, 2019, s. 33)

Her bir modelleme tekniği, farklı analiz ihtiyaçlarına ve sistem büyüklüklerine göre avantajlar ve dezavantajlar sunar. Detaylı mikro modelleme, yüksek doğruluk gerektiren küçük sistemler için uygundur; basitleştirilmiş mikro modelleme, orta ölçekli sistemler için dengeli bir yaklaşım sağlar; makro modelleme ise büyük ve karmaşık sistemlerin hızlı analizleri için idealdir.

Makro modelleme tekniğinin belli başlı avantajları bulunmaktadır. Bunlardan birincisi hesaplama verimliliğidir. Hesaplama verimliliği mikro modellemeye göre çok daha az hesaplama kaynağı gerektirir. Ayrıca büyük yapıların ya da sistemlerin daha kısa sürede analiz edilmesine olanak tanır. İkincisi basitleştirme ile anlamlı sonuçlardır. Buna bu yöntem karmaşık detayların tümünü modele dahil etmeden, genel davranışın öngörülmesine olanak sağlar. Bununla birlikte sistem düzeyinde karar alma ve tasarım sürecinde yeterince doğru ve uygulanabilir sonuçlar elde edilmesine yardımcı olur. Üçüncüsü uygulama kolaylığıdır. Bu

yöntemin geliştirilmesi ve uygulanması mikro modellemeye göre daha kolaydır ve bilgisayar destekli mühendislik yazılımlarında sıklıkla kullanılır ve hazır kütüphanelerle desteklenir. Dördüncüsü parametre kalibrasyonu kolaylığıdır. Bu yöntemin deneysel verilerle uyumlu hale getirilmesi daha pratiktir. Ayrıca bu yöntem ile beton, kompozit gibi heterojen malzemelerin makroskopik davranışları bu yolla etkili şekilde temsil edilebilir. Beşincisi çok ölçekli modellerle entegrasyon yöntemidir. Bu yöntem makro modelleme, çok ölçekli modelleme yaklaşımlarında üst seviye temsilci olarak kullanılabilir ve mikro ve makro düzeylerin birlikte çalıştığı hiyerarşik sistemlerde makro model, global sistem yanıtını verirken mikro model lokal detayları açıklar. Sonuncusu ise mühendislik tasarımında uygunluk yöntemidir. Bu yöntem ise gerçek mühendislik problemlerinin çözümünde genellikle yeterli hassasiyet sağlar ve proje tasarımı, güvenlik analizi ve optimizasyon gibi konularda sıklıkla tercih edilir.

Özetle, makro modelleme, mikro düzeydeki detaylardan soyutlanarak daha geniş ölçekteki sistem davranışını anlamak ve simüle etmek için oldukça etkili, hızlı ve mühendislik açısından pratik bir yaklaşımdır.



Şekil 15: Hatuniye Medresesi Makro Modelleme Görseli

3.4. SAP2000 PROGRAMI İLE YAPI MODELLEMESİ

SAP2000 statik analiz programı, mühendislikte yapı analizi ve tasarımı için yaygın olarak kullanılan güçlü bir yazılımdır. Hem statik hem de dinamik analizleri yapabilir, çok

çeşitli yapı türleri üzerinde çalışabilir. Yapı sistemlerinin çözümü ile ilgili temel adımlar ve özellikler şu şekilde özetlenebilir:

3.4.1. SAP2000 ile Yapı Sistemi Çözümü İçin Adımlar

Modelleme:

- **Yapı Tipi Seçimi:** Binalar, köprüler, endüstriyel yapılar, gibi farklı yapı türleri için uygun model seçilebilir.
- **Geometri Tanımlama:** Yapının 2D veya 3D modelini oluşturmak için elemanların yerleşimi ve boyutları belirlenir. Bunu yaparken, her bir kat, kolon, kiriş ve diğer elemanlar modelde tanımlanır.
- **Malzeme Özellikleri:** Kullanılacak malzemelerin (çelik, beton, vb.) mekanik özellikleri belirlenir ve modele tanıtılır.
- **Yükleme Durumları:** Yapıya etkiyen sabit yükler (kendi ağırlığı, taşınan yükler) ve dinamik yükler (rüzgar, deprem gibi) tanımlanır.

Sınır Koşullarının Belirlenmesi:

- **Bağlantılar:** Elemanlar arasındaki bağlantılar, sabit, serbest, makaralı veya kayıcı gibi sınır koşullarıyla tanımlanır.
- **Destekler:** Yapının temeli veya diğer destek noktalarındaki davranışlar tanımlanarak, doğru destek koşulları oluşturulur.

Yükler ve Yük Kombinasyonları:

- **Statik Yükler:** Yapıya etkiyen sabit yükler (kendi ağırlığı, taşıma yükleri vb.) ve rüzgâr yükleri gibi yatay yükler belirlenir.
- **Dinamik Yükler:** Deprem yükleri, titreşim analizleri için gerekli veriler tanımlanır. SAP2000, zaman tanımlı yükler ve modsal analizler gibi dinamik analizleri destekler.
- **Yük Kombinasyonları:** Farklı yük senaryoları ve bunların birleşimleri belirlenerek, güvenlik faktörlerine göre uygun yük kombinasyonları oluşturulur.

Analiz ve Hesaplamalar:

- **Statik Analiz:** Yapının temel taşıma kapasitesini değerlendiren ve elemanlardaki iç kuvvetleri belirleyen analiz yapılır.
- **Dinamik Analiz:** Deprem ve rüzgâr gibi dinamik etkiler altında yapının davranışını analiz etmek için modsal analiz veya zaman tanımlı analiz gibi yöntemler kullanılır.
- **Stabilite Analizi:** Yapının stabilitesini test etmek için çeşitli analizler gerçekleştirilir.

- **Değişik Yükleme Durumları:** Farklı yük senaryolarında (örneğin, tam yüklü, boş, yangın durumu vb.) yapı elemanlarının performansı kontrol edilir.

Sonuçların İncelenmesi:

- **Deplasmanlar ve Gerilmeler:** Yapıdaki her eleman için deplasman, eğilme momenti, kesme kuvveti ve gerilme değerleri hesaplanır.
- **Çökme ve Hasar Analizi:** Yapının kritik noktalarındaki deformasyonlar incelenerek, potansiyel çökme bölgeleri veya aşırı gerilmeler belirlenir.
- **Tasarım Sonuçları:** SAP2000, yapı elemanlarının tasarımında kullanılacak verileri sağlar, örneğin betonarme ve çelik elemanlar için gerekli donatı miktarları.
- **Tasarım ve Raporlama:**
- **Tasarım Kontrolleri:** Yapı elemanlarının belirli standartlara göre tasarımı (örneğin, Eurocode, AISC, TS500 gibi) yapılabilir.
- **Raporlar:** SAP2000, analiz sonuçlarını içeren ayrıntılı raporlar oluşturur. Bu raporlar, yapı tasarımcıları için önemli bir referans kaynağı sağlar.

3.4.2. SAP2000 Programının Sağladığı Modelleme Avantajları

- **Esnek Modelleme:** Hem 2D hem de 3D modeller oluşturulabilir, karmaşık yapılar için bile detaylı analizler yapılabilir.
- **Dinamik Analiz Yeteneği:** Deprem analizleri, mod analizi ve zaman tanımlı analiz gibi dinamik analizler yapılabilir.
- **Farklı Yük Tipleri ve Kombinasyonları:** Hem statik hem de dinamik yükler için geniş bir yük tanımlama ve kombinasyon yapma kapasitesine sahiptir.
- **Çeşitli Tasarım Standartları:** Global tasarım standartlarına uygun analiz ve tasarım yapabilme özelliği (AISC, Eurocode, TS500, vb.).
- **Kapsamlı Raporlama:** Detaylı analiz raporları oluşturulabilir, sonuçlar görsel olarak da sunulabilir.

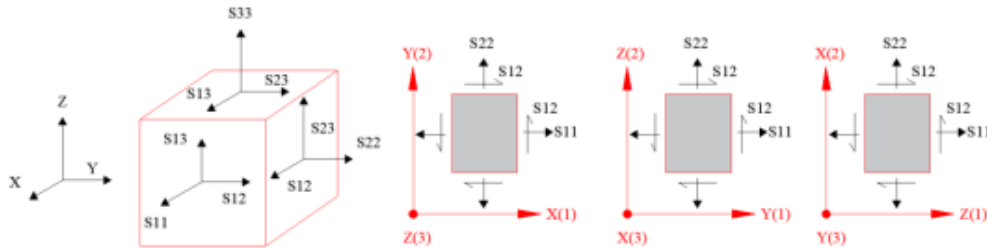
SAP2000, yapı mühendislerinin karmaşık yapı sistemlerini modellemeleri, analiz etmeleri ve tasarımlarını optimize etmeleri için güçlü bir araçtır. Statik ve dinamik analizlerin yanı sıra, kullanıcı dostu arayüzü ile verimli bir çözüm sunar. Yapı mühendisliği projelerinde, yapıların güvenliğini ve performansını en iyi şekilde sağlamak için SAP2000 etkili bir yazılım seçimidir.

3.4.3. SAP2000 Programında Kullanılan Kavramlar

SAP2000 programında kullanılan bazı temel kavramlar, yapı analizi ve tasarım sürecinde önemli yer tutar. İşte SAP2000'de sıkça karşılaşılan ve kullanılan temel kavramlar:

3.4.4. Modelleme ve Geometri Kavramları

- **Node (Düğüm):** Yapının elemanlarını birleştiren ve yerlerini belirleyen temel noktalar. Düğümler, genellikle yapının köşe noktalarını veya elemanların kesişim noktalarını temsil eder.
- **Element (Eleman):** Yapının bir parçası olarak kabul edilen ve düğümlerle bağlantı kuran bileşenlerdir. Elemanlar, çubuk, kiriş, kolon, plaka gibi çeşitler olabilir. Elemanlar genellikle 1D (çubuk), 2D (plaka) veya 3D (katı) olarak sınıflandırılır.
- **Frame Element (Çerçeve Elemanı):** Çubuk elemanları, kirişler ve kolonlar gibi tek boyutlu elemanlardır. Çerçeve elemanları, genellikle binalarda ve köprülerde kullanılır.
- **Shell Element (Kabuk Elemanı):** İnce, düz yüzeyleri temsil eden 2D elemanlardır. Genellikle döşeme, duvar veya çatı gibi elemanlarda kullanılır.
- **Solid Element (Katı Eleman):** Üçüncü boyutta derinliği olan 3D elemanlardır. Katı elemanlar, genellikle karmaşık yapıların veya büyük yapı bileşenlerinin analizlerinde kullanılır (Şekil 16).



Şekil 16: Katı Elemanlarda Oluşan Gerilmeler ve Yönleri

S11: (x) yönünde gerilme

S22: (y) yönünde gerilme

S33: (z) yönünde gerilme

S12: (x-y) düzleminde kayma gerilmesi

S13: (x-z) düzleminde kayma gerilmesi

S23: (y-z) düzleminde kayma gerilmesi

Karaman Hatuniye Medresesi'nin modellemesinde duvarlar, sütunlar, kemerler ve kubbeler (solid) elemanlar ile kubbelerin bazıları ise kabuk (shell) elemanlar ile modellenmiştir (Şekil 17).

3.4.5. Yükler ve Yükleme Kavramları

- **Dead Load (Kendi Ağırlığı):** Yapının kendi ağırlığından kaynaklanan yüklerdir. Genellikle yapı elemanlarının ağırlıkları, duvarlar, zeminler ve sabit yükler için hesaplanır.
- **Live Load (Canlı Yük):** Kullanıcılar, ekipmanlar ve değişken yüklerin etkisiyle yapıya etkileyen yüklere verilen isimdir. Bu yükler, genellikle binalarda taşınan eşyalar ve insanlar gibi değişken unsurlar tarafından belirlenir.
- **Wind Load (Rüzgâr Yükü):** Yapıya rüzgârın etkisiyle uygulanan yatay yüklere verilen isimdir. Rüzgâr yükleri, yapıların tasarımında çok önemli bir rol oynar.
- **Seismic Load (Deprem Yükü):** Yapıya, deprem sırasında yer hareketleri nedeniyle uygulanan yüklerdir. Deprem yükleri, dinamik analizlerle hesaplanır ve yapının depremdeki davranışını incelemek için kullanılır.
- **Temperature Load (Sıcaklık Yükü):** Sıcaklık değişimlerinden dolayı yapı elemanlarında oluşan genleşme veya büzülme etkisiyle ortaya çıkan yüklere denir.
- **Snow Load (Kar Yükü):** Karın ağırlığından kaynaklanan yüklerdir. Bu yükler, özellikle çatı gibi yatay yüzeylerde dikkate alınır.

3.4.6. Analiz ve Çözüm Kavramları

- **Static Analysis (Statik Analiz):** Yapının sadece sabit yükler altında nasıl davrandığını inceleyen analiz türüdür. Statik analizde, yapıya etkileyen yükler sabit kabul edilir ve yapının denge durumları hesaplanır.
- **Dynamic Analysis (Dinamik Analiz):** Yapının, zamanla değişen yükler (örneğin deprem veya rüzgâr gibi) altında nasıl davrandığını inceleyen analiz türüdür. Dinamik analiz, genellikle mod analizi, zaman tanımlı analiz gibi yöntemlerle yapılır.
- **Linear Analysis (Doğrusal Analiz):** Yapının davranışının doğrusal olduğu kabul edilen bir analiz türüdür. Yani, yük ile tepki arasındaki ilişki doğrusal kabul edilir.
- **Nonlinear Analysis (Doğrusal Olmayan Analiz):** Yapının davranışının doğrusal olmadığı, yani yük ile tepki arasındaki ilişkiyi doğrusal olmayan bir modelle ele aldığı

analiz türüdür. Bu tür analiz, özellikle plastik deformasyon, büyük deformasyonlar veya malzeme davranışları gibi durumlar için gereklidir.

- **Modal Analysis (Mod Analizi):** Yapının titreşim modlarını ve doğal frekanslarını inceleyen bir analiz türüdür. Mod analizi, özellikle deprem gibi dinamik yüklerin etkisini incelemek için kullanılır.
- **Time History Analysis (Zaman Geçmişi Analizi):** Yapıya etkiyen zamanla değişen dinamik yüklerin (örneğin, deprem) etkilerini inceleyen analiz türüdür.

3.4.7. Tasarım Kavramları

- **Factor of Safety (Güvenlik Katsayısı):** Yapının taşıma kapasitesinin, uygulanan yüklerin toplamına oranıdır. Yapı tasarımında güvenlik katsayısı, yapının güvenliğini sağlamak için kritik bir parametredir.
- **Ultimate Load (Son Yük):** Yapının kırılma noktasına kadar dayanabileceği maksimum yük miktarıdır. Bu yük, yapının tasarımında önemli bir referans noktasını oluşturur.
- **Service Load (Hizmet Yüğü):** Yapının normal kullanım sırasında karşılaştacağı yüklerdir. Bu yükler, yapının çalışma koşullarına uygun olarak belirlenir ve tasarımda göz önünde bulundurulur.
- **Design Code (Tasarım Kodu):** Yapının tasarımını ve analizini yönlendiren, yapıların güvenli ve uygun şekilde inşa edilmesini sağlayan ulusal ve uluslararası standartlar ve yönetmeliklerdir. SAP2000, Eurocode, AISC, TS500 gibi farklı tasarım kodlarını destekler.

3.4.8. Sonuçlar ve Çıktılar

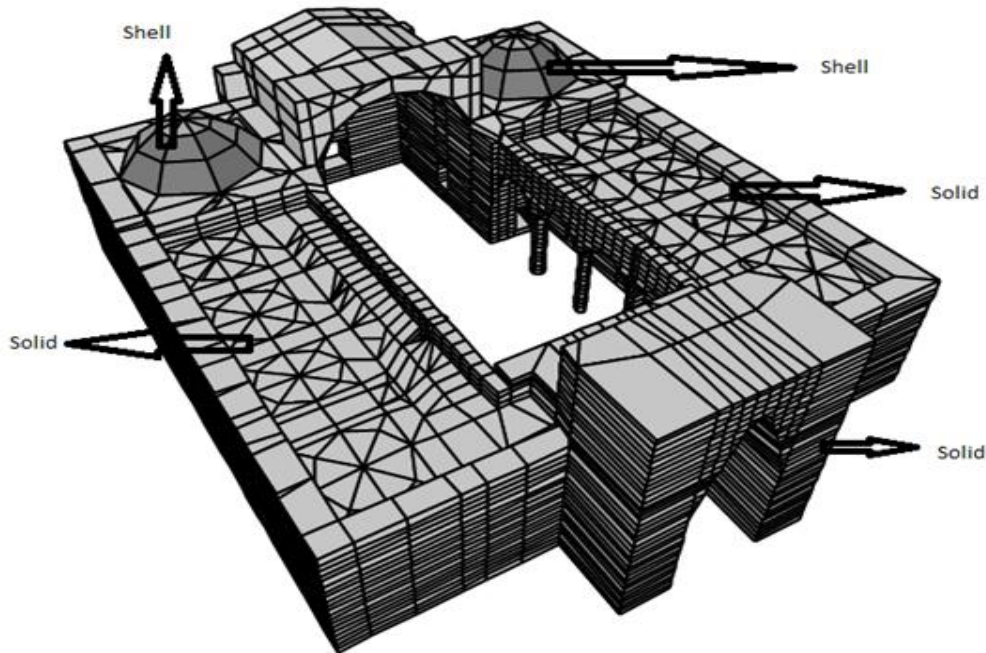
- **Displacement (Deplasman):** Yapının herhangi bir elemanındaki hareketin büyüklüğüdür. Deplasman, genellikle birim uzunluk başına hareket olarak ifade edilir.
- **Stress (Gerilme):** Yapı elemanlarında, dış yüklerin etkisiyle ortaya çıkan iç kuvvetlerin yoğunluğudur. Gerilme, elemanların tasarımında ve güvenliğinde kritik bir rol oynar.
- **Strain (Gerinme):** Yapı elemanlarındaki deformasyon oranıdır. Gerinme, gerilme ile ilişkilidir ve yapının elastik veya plastik davranışını gösterir.
- **Moment (Moment):** Yapı elemanlarında, dönme hareketine neden olan kuvvetlerin etkisiyle oluşan iç kuvvetlerdir. Genellikle eğilme momenti (bending moment) olarak ifade edilir.

- **Shear Force (Kesme Kuvveti):** Yapı elemanlarında, elemanların kesilmesine yol açan iç kuvvetlerdir. Bu kuvvet, genellikle kirişlerde önemli bir parametredir.

3.4.9. Çeşitli Kavramlar

- **Support (Destek):** Yapının bir elemanına uygulanan fiziksel kısıtlamadır. Destekler, yapının hareketini sınırlayarak denge sağlar. Makaralı, sabit veya serbest destekler olabilir.
- **Load Combination (Yük Kombinasyonu):** Birden fazla yükün birleşimiyle oluşturulan yük senaryolarıdır. Yük kombinasyonları, yapının farklı yük durumları altındaki davranışını incelemek için kullanılır.
- **Buckling (Burkulma):** Yapı elemanlarının, özellikle kolonların, kritik yükler altında doğrusal olmayan bir şekilde devrilmesidir. Burkulma, genellikle çelik ve betonarme kolonlarda önemli bir tasarım kriteridir.

SAP2000’de bu kavramlar ve daha birçok teknik terim, doğru analiz ve tasarım yapmak için temel bilgiler sağlar. Bu kavramlar, yapının güvenliğini, dayanıklılığını ve tasarım uyumluluğunu sağlamada büyük rol oynar.



Şekil 17: Hatuniye Medresesi Modellemesinde Solid ve Shell Kullanılan Kısımlar

3.5. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ

Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY), mühendislik ve fizik alanlarında yaygın olarak kullanılan, karmaşık yapıların davranışlarını analiz etmek için uygulanan bir sayısal çözüm yöntemidir. Yapının geometrisini, malzeme özelliklerini, yükleme koşullarını ve sınır

koşullarını dikkate alarak, bir yapıyı küçük, birbirine bağlı "elemanlar"a böler ve her bir elemanın davranışını çözerek toplam yapının davranışını elde eder.

3.5.1. Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY) Temel Kavramlar

- **Ağ Yapısı (Mesh):** Yapı, küçük parçalar ya da "elemanlar" adı verilen bölgelere ayrılır. Her eleman bir takım düğüm noktalarına (node) sahip olur ve bu düğüm noktalarındaki hareketler incelenir.
- **Elemanlar:** Yöntemin temel yapı taşlarıdır. Genellikle üçgen, dörtgen, doğrusal, eğrisel gibi şekillerde olabilirler. Bu elemanlar, yapı üzerinde yüklerin ve gerilmelerin nasıl dağıldığını hesaplamak için kullanılır.
- **Matematiksel Modelleme:** Sonlu Elemanlar Yöntemi, yapıların fiziksel davranışlarını matematiksel denklemlerle modellemeyi içerir. Bu denklemler, yapının deformasyonları, gerilmeleri, sıcaklık değişimleri veya akustik davranış gibi fiziksel özelliklerini açıklamak için kullanılır.
- **Sınır Koşulları ve Yüklemeler:** Yapı üzerinde uygulanan yükler, destek noktaları (sınır koşulları) ve dış etkenler (örneğin, deprem etkisi gibi) sisteme dahil edilir. Sonlu elemanlar bu koşullara göre çözüm üretir.
- **Çözüm Süreci:** Sonlu Elemanlar Yöntemi, her bir elemanın denklem sistemini çözerek ve bunları birleştirerek tüm yapının davranışını elde eder. Sonuç olarak, yapı üzerindeki gerilme, deformasyon ve diğer fiziksel etkiler hesaplanabilir.

3.5.2. Sonlu Elemanlar Yöntemi'nin Deprem Analizinde Kullanımı

Deprem davranışı analizi için SEY, yapının sismik yükler altında nasıl davrandığını simüle eder. Karaman Hatuniye Medresesi gibi tarihi yapılar için, SEY kullanılarak depreme karşı olan dayanıklılıkları incelenebilir. Bu tür analizler, yapının hasar görüp görmeyeceğini, hangi bölgelerde daha fazla stres olduğunu ve yapının güvenliğini artırmak için alınması gereken önlemleri belirlemek için önemlidir.

Adımlar:

- **Yapının Geometrisi ve Malzeme Özelliklerinin Modellemesi:** Yapının fiziksel boyutları, malzeme özellikleri (beton, taş, tuğla vb.) ve yapının bütünsel özellikleri tanımlanır.
- **Elemanların Seçimi:** Yapı, çeşitli tipte elemanlara bölünür (örneğin, çerçeve elemanları, plakalar, duvarlar). Her elemanın özellikleri ve sınır koşulları belirlenir.

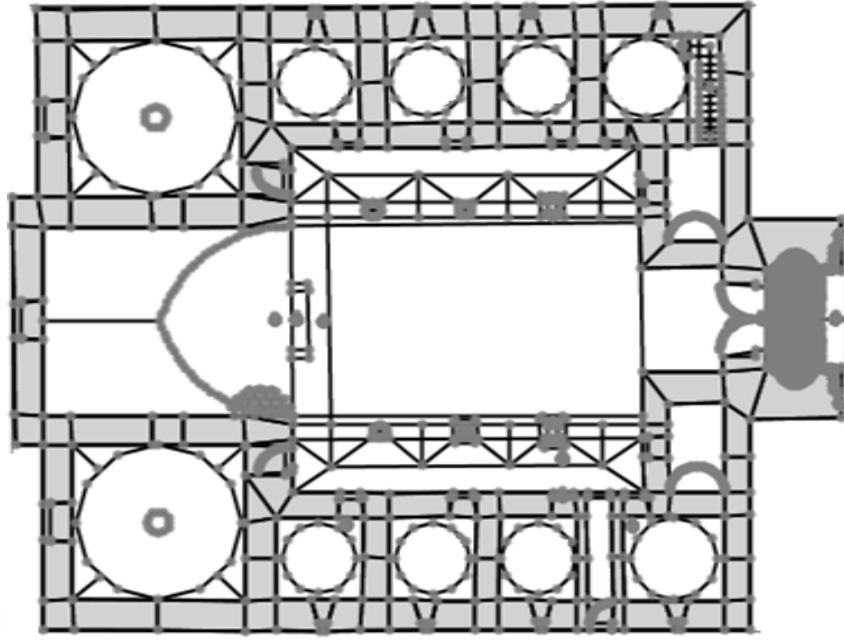
- **Sismik Yüklerin Tanımlanması:** Deprem yükleri, genellikle zamanla değişen dinamik yükler olarak modele dahil edilir. Bu yükler, genellikle yer hareketlerinin simülasyonu ile sağlanır.
- **Çözüm ve Değerlendirme:** Sonlu elemanlar çözümü tamamlandıktan sonra, elde edilen verilerle yapı üzerinde oluşan gerilme, deformasyon ve diğer faktörler incelenir.

Sonlu Elemanlar Yöntemi, bu tür tarihi yapıları analiz ederken özellikle önemlidir çünkü bu yapıların geometrisi ve malzeme özellikleri modern yapılarla kıyaslandığında çok farklı olabilir. Dolayısıyla, her bir yapının özelliklerine uygun doğru modelleme yaparak doğru sonuçlar elde edilebilir.

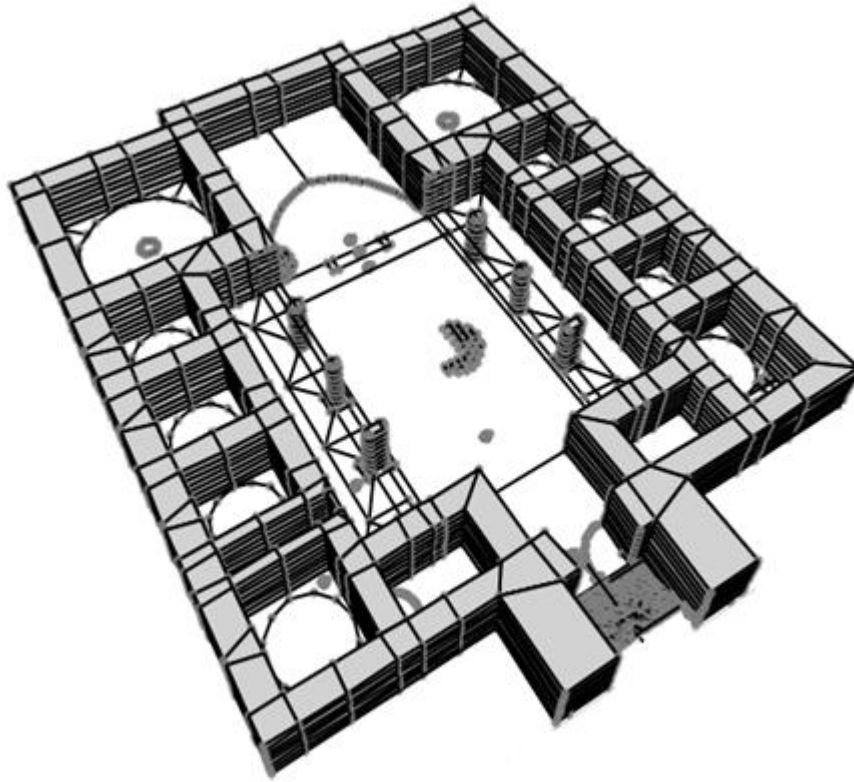
3.6. HATUNİYE MEDRESESİ YAPISAL MODELLEMESİ

Karaman Hatuniye Medresesi SAP2000 programı ile sonlu elemanlar yöntemini kullanılarak üç boyutlu olarak modellenmiştir. Model oluşturulurken daha önceki çalışmalar sırasında yapılan araştırmalara örnek olması sebebiyle hazırlanan röleveden yararlanılmıştır.

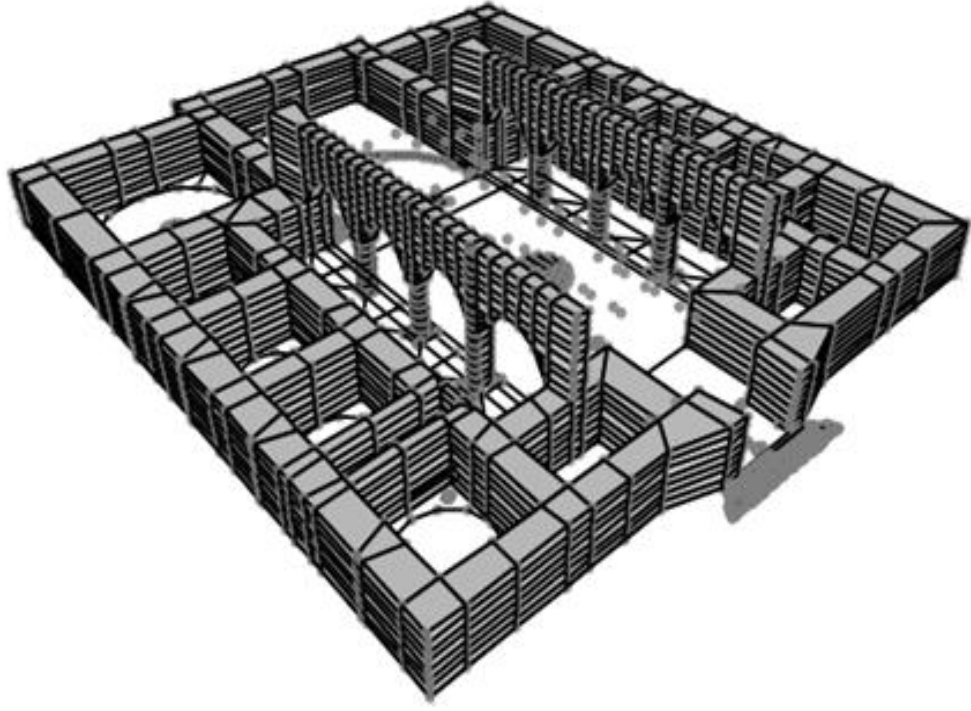
Sonlu eleman modelinde, yapıya ait kritik bölgeler daha küçük parçalara ayrılarak daha hassas sonuçlar elde edilmesi amaçlanmıştır. Yapı davranışının sağlıklı bir şekilde belirlenmesi amacıyla rölevedeki geometriye uyularak Karaman Hatuniye Medresesi'nin sonlu eleman modelinde bulunan parçaların bağlantı noktaları özenle yapılmıştır (Şekil 18, Şekil 19, Şekil 20, Şekil 21, Şekil 22, Şekil 23, Şekil 24, Şekil 25, Şekil 26). Karaman Hatuniye Medresesi modelinde kubbelerin bazıları kabuk (shell), bazı kubbeler, kemerler, sütunlar ve duvarlar ise katı (solid) elemanlar ile ifade edilmiştir (Şekil 17). Modelde 7717 (point), 48 Areas, 176 Edges ve 4496 adet katı (solid) eleman kullanılmıştır.



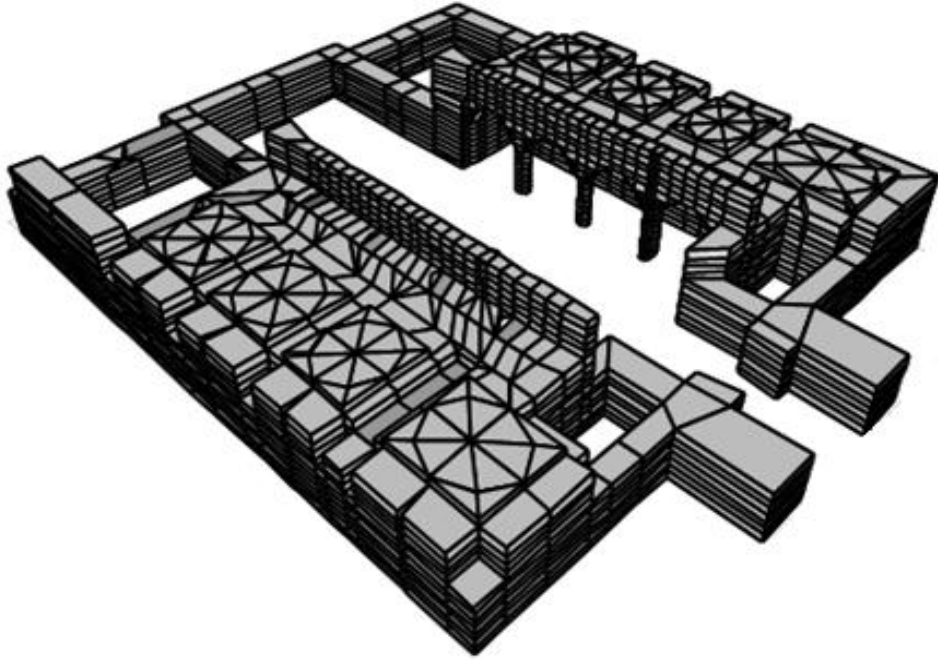
Şekil 18: Karaman Hatuniye Medresesi Sonlu Elemanlar Yöntemi Planı



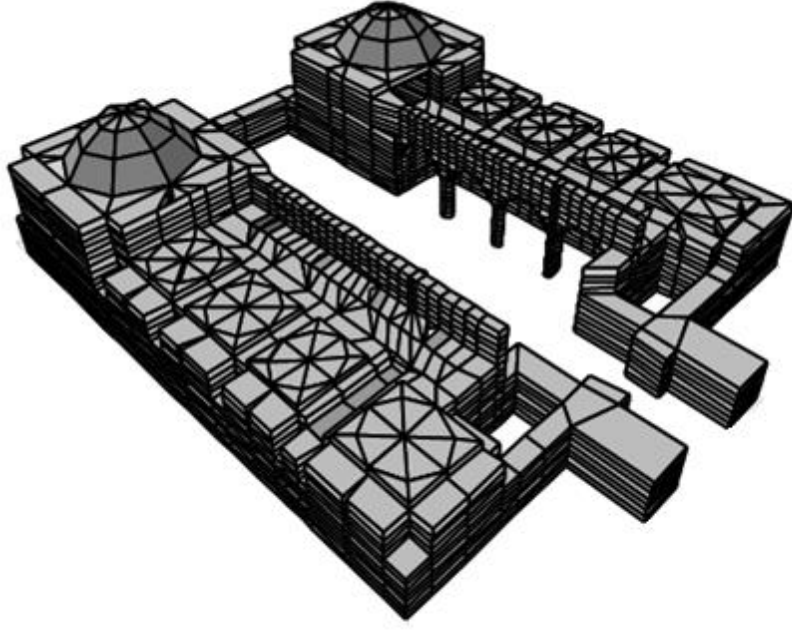
Şekil 19: Karaman Hatuniye Medresesi Yapısal Modelleme Aşaması



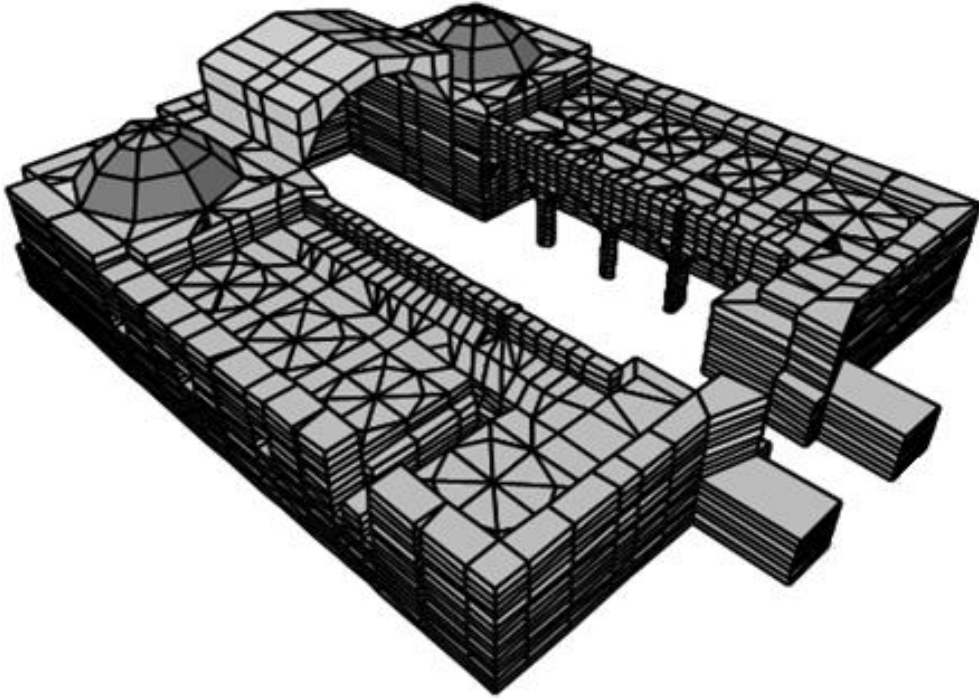
Şekil 20: Modelleme 2



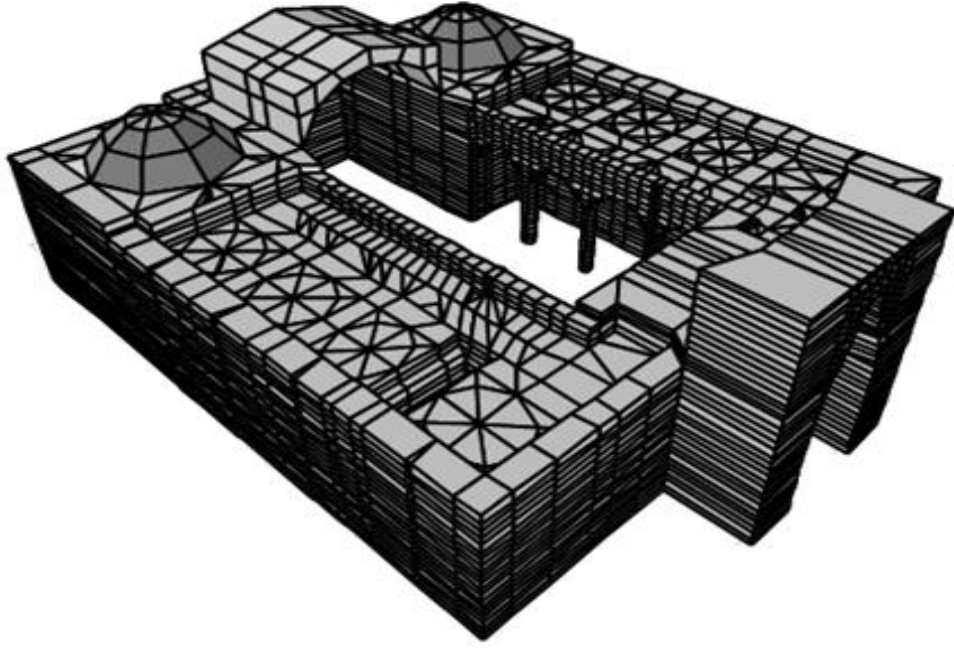
Şekil 21: Modelleme 3



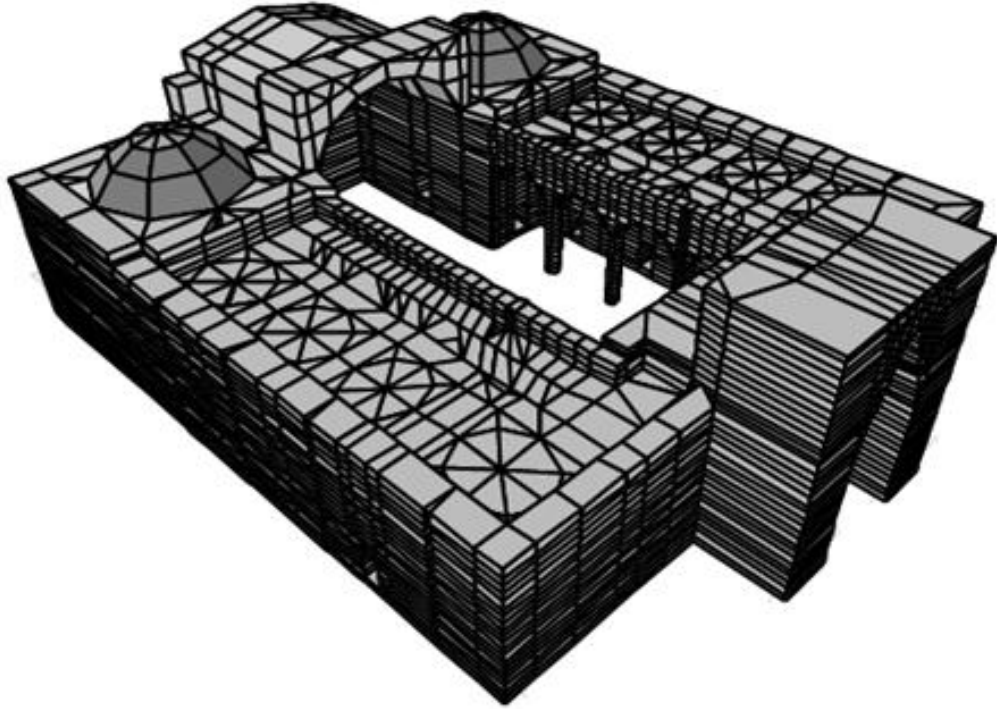
Şekil 22: Modelleme 4



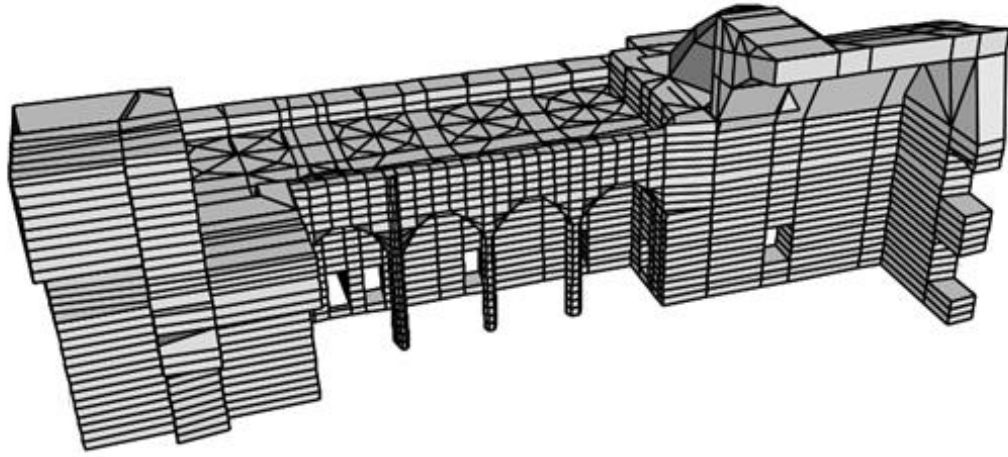
Şekil 23: Modelleme 5



Şekil 24: Modelleme 6



Şekil 25: Modelleme 7



Şekil 26: Modelleme 8

3.6.1. Karaman Hatuniye Medresesinin Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesi

Hatuniye Medresesi'nin malzeme özelliklerinin belirlenmesi Kompozit malzemenin özelliklerini tespit edebilmek için homojen malzeme yaklaşımlarını kullanmak gerekir. Kompoziti oluşturan taş ve harç malzemelerini temsil eden elastik parametrelerin bulunması gerekir. Bunun için kompozit malzeme bağıntıları ile idealleştirilmiş bağıntılar kullanılacaktır. Hatuniye Medresesinde kompozit olarak taş-harç malzemeleri kullanılmıştır. Sonlu elemanlar modelinin analizi için kompozitin elastisite modülü, kayma modülü, poisson oranı, birim hacim ağırlığı ile yapıda meydana gelecek gerilmelerin kontrolü için basınç ve çekme dayanımlarının bilinmesi gerekmektedir (Tablo 2). Bu çalışmada taş-harç birleşimi izotropik olarak ele alınacaktır. Basınç mukavemetinin bulunması için “Eurocode 6: Kagir Yapıların Tasarımı Bölüm 1-1: Donatılı ve Donatısız Kagir Yapılar İçin Genel Kurallar” standardından yararlanılacaktır. Buna göre kompozitin basınç mukavemeti:

$$f_k = K \cdot f_b^\alpha \cdot f_m^\beta$$

f_k = Kompozitin basınç mukavemeti

f_b = Taşın basınç mukavemeti

f_m = Harcın basınç mukavemeti

α, β = Sabit katsayı $\alpha=0,7$ ve $\beta=0,3$

$K=0,4\sim0,6$ arasında değişen ve yığmanın biçimine bağlı katsayı (Bu çalışmada katsayı 0,5 olarak alınacaktır)

Çekme mukavemeti, basınç mukavemetinin %10'u oranında alınabilir. Birçok çalışmada bu oran kullanılmıştır (Bağbancı 2009, s:130). Bu çalışma kapsamında da bu değer kullanılacaktır.

Bu çalışmada taşın basınç mukavemeti 53,16 MPa olarak hesaplanmıştır. Bu değer mülkiyeti vakıflar genel müdürlüğüne ait olan Konya Vakıflar Bölge Müdürlüğü sorumluluk alanında yer alan tarihi yapıların sismik performanslarının belirlenmesi ve hasar riski olan yapısal kısımlarına tarihi orijinal dokuya uygun farklı yapısal güçlendirme alternatiflerinin önerilmesine yönelik ar-ge projesi kapsamında elde edilen dayanımların ortalaması dikkate alınarak bulunmuştur (Tablo 1). Harcın basınç mukavemeti için 7,74 MPa hesaplanmıştır. Bu hesaplama (Bağbancı, 2009) Bursa Ördekli Hamamında yapılan deneyler sonrası ortaya çıkan sonuçların ortalaması alınmıştır.

Taş-Harç Kompozit Malzemelerin;

Basınç mukavemeti;

$$f_k = 0,5.53,16^{0,7}.7,74^{0,3}$$

$$f_k = 14,91 \text{ MPa}$$

Çekme Mukavemeti;

$$f_t = 0,1.14,91 = 1,491 \text{ Mpa}$$

Tablo 1: Taşın Dayanımına İlişkin Veriler (Çarbaş, 2024)

NUMUNE İSMİ	En (mm)	Boy(mm)	Yükseklik L (mm)	Kısalma (mm)	Dayanım (MPa)	Birim Kısalma	E (MPa)	UPV dayanımı en (MPa)	UPV dayanımı boy (MPa)	UPV dayanımı yükseklik (MPa)	Max UPV (MPa)	EN 771- 5-2011 Tablo B1 katsayı	Düzeltilmiş Dayanım	Fark (MPa)	Yapıdan Alınan Ölçümler (Mpa)
OSM	100	100	100	6,0	50	0,06		20	34	30	34	0,7	35	1	
A	85	80	100	5,5	53,312	0,055	1027,468	13	67	76	76	1,06	56,51072	-19,4893	fis1=13
B	73	73	100	10,0	44,937	0,1	485,769	28	26	25	28	1,081	48,5769	20,5769	fis2=21
C (U)	79	94	98	5,0	74,039	0,051020408	1528,076	32	84	74	84	1,053	77,96307	-6,03693	fis3=11
D	76	72	100	9,0	74,346	0,09	895,456	15	75	74	75	1,084	80,59106	5,591064	fis5=17
E	83	80	94	6,0	39,804	0,063829787	642,927	79	79	82	82	1,031	41,03792	-40,9621	fis6=11
F	73	72	80	5,0	22,419	0,0625	351,530	55	72	76	76	0,98	21,97062	-54,0294	
G	100	73	100	4,0	73,645	0,04	1990,256	75	79	84	84	1,081	79,61025	-4,38976	
H	90	64	96	3,5	22,420	0,036458333	668,449	19	24	42	42	1,087	24,37054	-17,6295	
I	89	62	98	8,0	88,037	0,081632653	1189,534	18	76	21	76	1,103	97,10481	21,10481	
J	83	83	98	4,0	40,273	0,040816327	1027,143	84	79	77	84	1,041	41,92419	-42,0758	
K	97	73	98	7,0	60,727	0,071428571	910,541	82	73	35	82	1,071	65,03862	-16,9614	
L	81	71	100	6,0	33,961	0,06	615,260	34	84	22	84	1,087	36,91561	-47,0844	
M	78	82	100	6,5	38,605	0,065	633,122	30	30	36	36	1,066	41,15293	5,15293	
N	79	100	95	3,0	12,473	0,031578947	409,988	31	88	38	88	1,038	12,94697	-75,053	
O	78	95	100	10,0	44,447	0,1	473,805	31	37	78	78	1,066	47,3805	-30,6195	
P	80	96	100	7,0	52,458	0,07	794,364	31	75	78	78	1,06	55,60548	-22,3945	
R	80	80	100	4,0	69,919	0,04	1852,854	31	32	38	38	1,06	74,11414	36,11414	
S	78	95	95	10,0	62,460	0,105263158	617,698	38	38	77	77	1,041	65,02086	-11,9791	
T	95	78	100	8,0	73,054	0,08	973,445	37	34	40	40	1,066	77,87556	37,87556	
U [C]	90	63	95	7,0	80,078	0,073684211	1144,372	21	26	14	26	1,053	84,32213	58,32213	
V	80	93	100	6,5	79,294	0,065	1293,102	31	46	39	46	1,06	84,05164	38,05164	
W	78	94	100	5,0	57,785	0,05	1231,976	77	76	80	80	1,066	61,59881	-18,4012	

X	78	100	95	6,0	64,336	0,063157895	1060,418	83	37	80	83	1,041	66,97378	-16,0262
Y	79	94	100	7,5	60,497	0,075	857,444	32	34	38	38	1,063	64,30831	26,30831
Z	75	75	97	2,0	29,723	0,020618557	1528,059	68	80	80	80	1,06	31,50638	-48,4936
A1	78	96	98	4,5	58,731	0,045918367	1350,656	30	47	74	74	1,056	62,01994	-11,9801
B1	79	97	100	2,5	22,303	0,025	948,324	31	47	52	52	1,063	23,70809	-28,2919
C1	78	99	100	3,0	45,313	0,03	1610,122	73	39	38	73	1,066	48,30366	-24,6963
D1	80	98	100	6,0	63,052	0,06	1113,919	32	69	50	69	1,06	66,83512	-2,16488
E1	80	95	100	4,0	57,332	0,04	1519,298	31	75	45	75	1,06	60,77192	-14,2281
F1	80	96	95	2,0	60,206	0,021052632	2962,737	71	67	38	71	1,036	62,37342	-8,62658
G1	45	78	100	5,0	44,160	0,05	1028,928	84	73	81	84	1,165	51,4464	-32,5536

Tablo 2: Modelde Kullanılan Malzemelerin Mekanik Özellikleri

Yapısal Bölüm	Elastisite Modülü (N/mm ²)	Poisson Oranı	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Birim Hacim Ağırlığı (kg/m ³)
Duvarlar Kemerler Sütunlar (Solid) (Taş + Harç)	4800	0,15	14,91	1,491	2086

Hatuniye Medresesi ile ilgili yaptıkları çalışmada kabuk elemana ait elastisite modülüne ulaşılamamıştır. Bu nedenle bu çalışmada kabuk elemana ait gerekli dayanım değerlerini belirlemek amacıyla literatür araştırması yapılmıştır (Milani & Clementi. 2019, s.161).

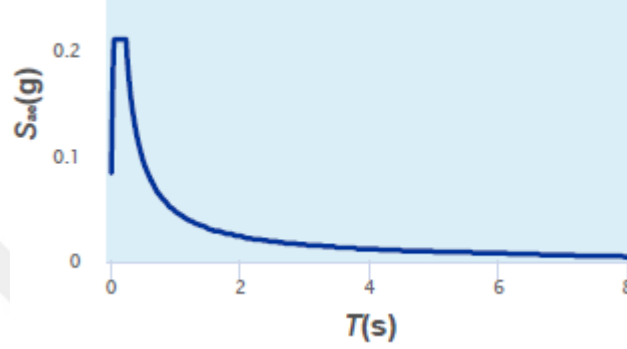
3.6.2. Karaman Hatuniye Medresesi'sinin Farklı Karakteristik Özelliklere Sahip Deprem Etkileri Altında Davranışının İncelenmesi

Bu tez çalışmasında dikkate alınan deprem yer hareketi düzeyi, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018) kapsamında tanımlanan DD-2 düzeyidir. DD-2, 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan ve yaklaşık 475 yıl tekrarlanma periyoduna sahip tasarım depremi olarak kabul edilmekte olup, yapıların can güvenliğini sağlayacak şekilde tasarlanmasında esas alınmaktadır. Çalışma alanı, 37.182874° enlem ve 33.211492° boylam koordinatlarında yer almakta olup, bu bölgeye ait yerel zemin sınıfı ZB olarak belirlenmiştir. ZB zemin sınıfı, az ayrışmış ve orta sağlamlıkta kaya birimlerinden oluşmakta olup, dinamik özellikleri bakımından deprem dalgalarının büyütülmesinin nispeten düşük olduğu zeminleri temsil etmektedir. Bu parametreler doğrultusunda, ilgili bölgedeki deprem tehlikesi analizi yapılmış ve yapı performans değerlendirmelerinde kullanılmak üzere tasarım spektrumu oluşturulmuştur.

İnceleme alanına ait deprem tehlikesi parametreleri, Türkiye Deprem Tehlike Haritası verileri dikkate alınarak belirlenmiştir. Bu kapsamda, kısa periyot (0.2 saniye) için harita spektral ivme katsayısı (SS) 0.234, 1.0 saniye periyot için spektral ivme katsayısı (S1) ise 0.059 olarak elde edilmiştir. Ayrıca, en büyük yer ivmesi (PGA) 0.104 g, en büyük yer hızı (PGV) ise 5.205 cm/sn olarak hesaplanmıştır. Bu değerler, yapının sismik performans analizlerinde kullanılacak elastik tasarım spektrumunun oluşturulmasında ve bölgeye özgü deprem tehlikesinin değerlendirilmesinde temel parametreler olarak kabul edilmektedir. Özellikle PGA ve PGV değerleri, yapının dinamik davranışının belirlenmesi açısından önemli olup, zemin-yapı etkileşimi hesaplamalarında doğrudan etkili olmaktadır.

Yapı tasarımında kullanılacak olan tasarım spektral ivme katsayıları, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018) esas alınarak hesaplanmıştır. Bu doğrultuda, kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı (SDS), kısa periyot harita spektral ivme katsayısı (SS) ile zemin

amplifikasyon katsayısı (FS) çarpılarak elde edilmiştir. Çalışma alanı için $SS = 0.234$ ve $FS = 0.900$ değerleri kullanıldığında, $SDS = 0.234 \times 0.900 = 0.211$ olarak hesaplanmıştır. Benzer şekilde, 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı (SD1), $S1 = 0.059$ ve $F1 = 0.800$ değerleri dikkate alınarak $SD1 = 0.059 \times 0.800 = 0.047$ olarak bulunmuştur. Bu katsayılar, elastik tasarım ivme spektrumunun oluşturulmasında kritik öneme sahip olup, yapıların sismik etkiler altındaki davranışlarının değerlendirilmesinde temel parametreler olarak kullanılmaktadır.



Şekil 27: Yatay Elastik Tasarım Spektrumu Grafiği (TBDY, 2018)

Yapıya etkiyen deprem yüklerinin belirlenmesinde kullanılan elastik tasarım spektrumu esas alınarak yapılan analiz sonucunda, yapının doğal titreşim periyodu $T = 0.081$ saniye olarak hesaplanmıştır (Şekil 28). Bu periyot değeri, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018) kapsamında tanımlanan ve tasarım spektrumunun kısa periyot bölgesi ile orta periyot bölgesi arasındaki geçişi temsil eden aralık olan $TA \leq T \leq TB$ sınırları içerisinde yer almaktadır. Bu çalışma kapsamında söz konusu sınırlar $TA = 0.045$ s ve $TB = 0.224$ s olarak belirlenmiştir.

TBDY (2018)'ye göre bu periyot aralığında yer alan yapıların elastik spektral ivme katsayısı $S_{ae}(T)$, doğrudan SDS değeri olarak sabit kabul edilmektedir. Bu tanım, yapının bu periyottaki dinamik davranışının periyot değişiminden bağımsız olduğu ve bu aralıkta yapıya etki eden ivmenin sabit bir değer aldığı anlamına gelmektedir. Söz konusu durum, spektrum eğrisi üzerinde plato bölgesi olarak adlandırılır ve grafiksel olarak spektral ivme eğrisinin yatay seyretmesi ile temsil edilir (Şekil 27).

Bu yaklaşımın temel amacı, yapının doğal periyodunun söz konusu aralıkta bulunması durumunda, karşılaşılabileceği deprem kuvvetlerinin maksimuma yakın ve sabit bir değer üzerinden değerlendirilmesini sağlamaktır. Böylece, tasarımda güvenli tarafta kalınarak, yapının bu kritik periyot aralığında maruz kalabileceği en olumsuz sismik etkilere karşı dayanıklı olması hedeflenir.

Yapının periyodu $T = 0.081$ s olduğundan, bu periyot için spektral ivme katsayısı $S_{ae}(0.081) = SDS$ olarak belirlenmiştir. Analizlerde esas alınan $SDS = 0.211$ değeri doğrultusunda, bu periyottaki elastik spektral ivme katsayısı $S_{ae}(0.081) = 0.211$ olarak kabul edilmiştir. Bu katsayı, yapıya etkileyen sismik yüklerin hesaplanmasında kullanılan en temel parametrelerden biri olup, yapı güvenliğinin değerlendirilmesinde doğrudan rol oynamaktadır.

3.6.3. Deprem Yükü Azaltma Katsayısı

Bu çalışmadan Hatuniye Medresesinde deprem yüklerinin azaltılmasında esas alınacak Deprem Yükü Azaltma Katsayısı Hesabı için Tablo 3 ve Tablo 4'teki değerler alınmıştır. Tablo 3 ve Tablo 4 verileri ile denklem 1 ve denklem 2'ye ait kurulan model TBDY (2018)'den alınarak oluşturulmuştur.

$$R_a(T) = \frac{R}{I} \quad T > T_B \quad (1)$$

$$R_a(T) = D + \left(\frac{R}{I} - D \right) \frac{T}{T_B} \quad T \leq T_B \quad (2)$$

Tablo 3: Bina Kullanım Sınıfı ve Bina Önem Katsayısı Tablosu (TBDY, 2018)

Bina Kullanım Sınıfı	Bina Kullanım Amacı	Bina Önem Katsayısı(I)
BKS = 1	Deprem sonrası kullanımı gereken binalar, insanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar, değerli eşyanın saklandığı binalar ve tehlikeli madde içeren binalar	1.5
	a) Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları)	
	b) Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, vb.	
	c) Müzeler	
BKS = 2	d) Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb. özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar	1.2
	İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar Alışveriş merkezleri, spor tesisleri, sinema, tiyatro, konser salonları, ibadethaneler, vb.	
BKS = 3	Diğer binalar BKS=1 ve BKS=2 için verilen tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb.)	1.0

Tablo 4: R ve D Hesabı Tablosu (TBDY, 2018)

Bina Taşıyıcı Sistemi	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı R	Dayanım Fazlalığı Katsayısı D	İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfları BYS
D. HAFİF ÇELİK BİNA TAŞIYICI SİSTEMLERİ			
D1. Süneklik Düzeyi Yüksek Taşıyıcı Sistemler			
Deprem etkilerinin tamamının vidalı bulonlu sac OSB veya kontrplak (plywood) duvar panelleri ile karşılandığı süneklik düzeyi yüksek hafif çelik binalar	4	2	BYS = 8
D2. Süneklik Düzeyi Sınırlı Taşıyıcı Sistemler (Bkz.4.3.4.1)			
Deprem etkilerinin tamamının alçı levhalar içeren kaplamalı veya çaprazlı panellerle karşılandığı süneklik düzeyi sınırlı hafif çelik binalar	3	2	BYS = 8
E. YIĞMA BİNA TAŞIYICI SİSTEMLERİ			
E1. Süneklik Düzeyi Yüksek Taşıyıcı Sistemler			
E11. Donatılı yığma binalar	4	2	BYS $\geq$ 7
E12. Donatılı gazbeton panel binalar	4	2	BYS $\geq$ 7
E2. Süneklik Düzeyi Sınırlı Taşıyıcı Sistemler (Bkz.4.3.4.1)			
E21. Kuşatılmış yığma binalar	3	2	BYS = 8
E22. Donatısız yığma binalar	2,5	1,5	BYS = 8
F. AHŞAP BİNA TAŞIYICI SİSTEMLERİ			
F1. Süneklik Düzeyi Yüksek Taşıyıcı Sistemler			
Deprem etkilerinin tamamının çivili veya vidalı OSB veya kontrplak (plywood) duvar panelleri ile karşılandığı süneklik düzeyi yüksek ahşap binalar	4	2	BYS $\geq$ 7
F2. Süneklik Düzeyi Sınırlı Taşıyıcı Sistemler (Bkz.4.3.4.1)			
Deprem etkilerinin tamamının çivi vida ve bulon ile birleştirilen tutkalı duvar panelleri ile veya ahşap çaprazlarla karşılandığı süneklik düzeyi sınırlı ahşap binalar	3	2	BYS = 8

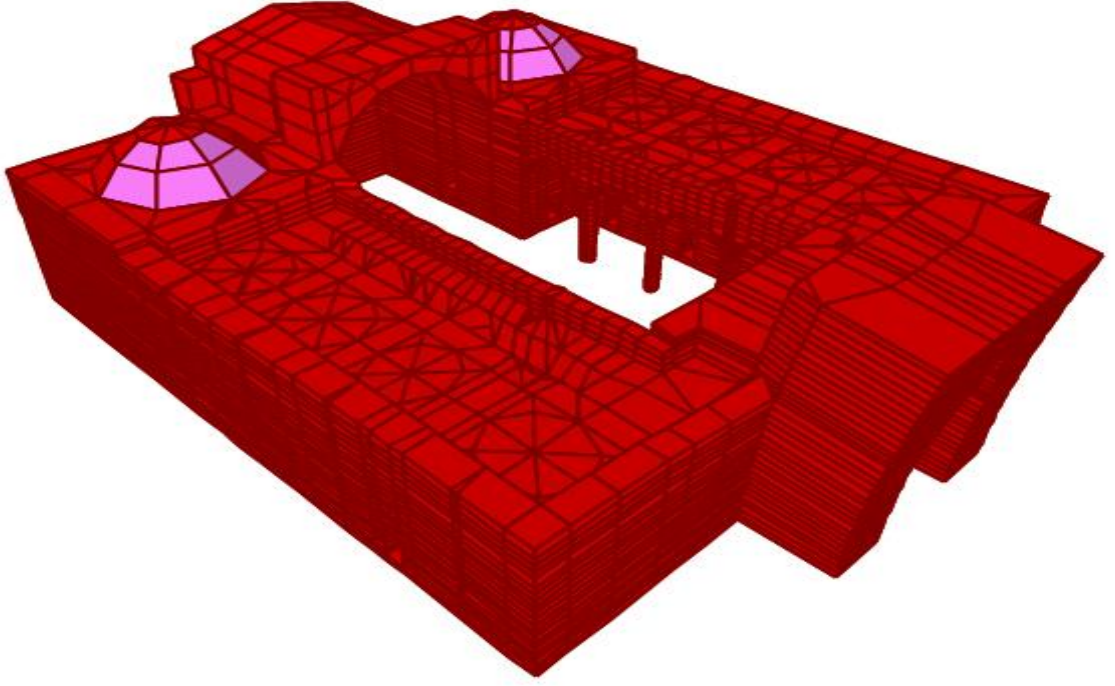
3.6.4. Yapının Modal Analizi

Tarihi Karaman Hatuniye Medreses'nin modal analiz sonucunda elde edilen mod şekilleri ve titreşim periyotları belirlenmiştir. Çözümlemeler 50 mod için hesaplanmıştır. Tablo 5'de Modlara ait periyot ve kütle katılım oranları verilmiştir.

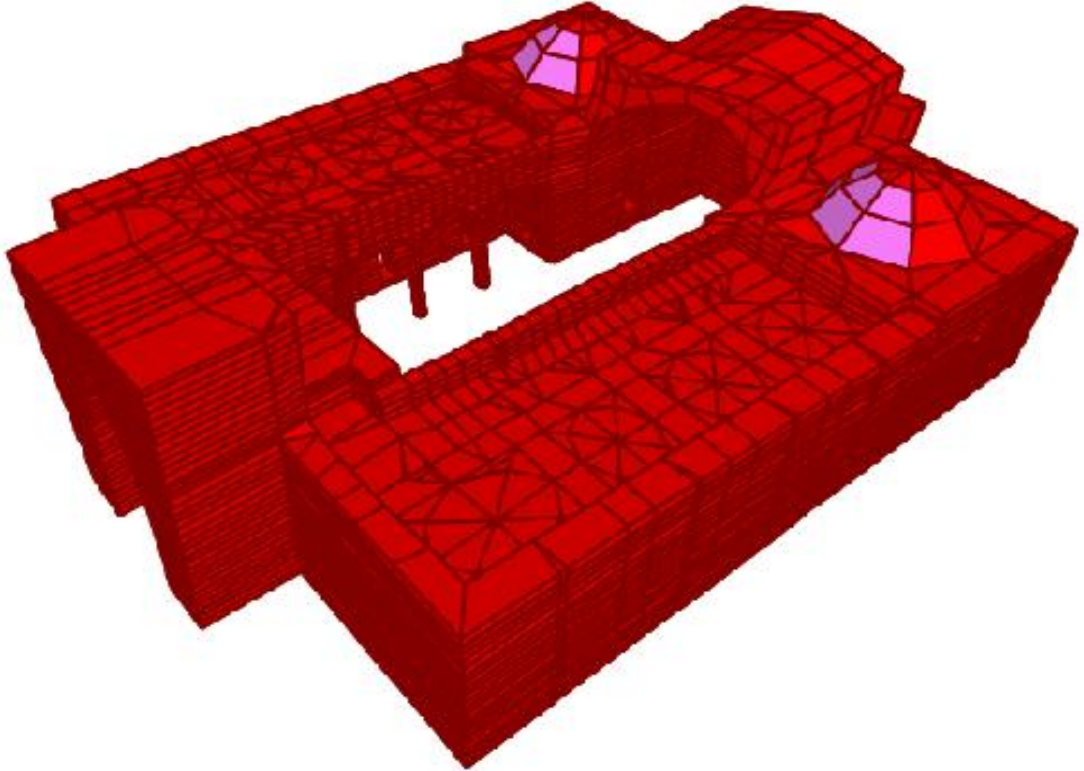
Tablo 5: 50 Mod Sonrası Oluşan Değerler Tablosu

OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	SumUX	SumUY
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	0,0811	0,000144	0,18	0,0004	0,18
MODAL	Mode	2	0,0697	0,32	0,000195	0,32	0,18
MODAL	Mode	3	0,0662	0,07102	7,46E-06	0,4	0,18
MODAL	Mode	4	0,0634	0,000666	0,22	0,4	0,4
MODAL	Mode	5	0,0519	0,02181	0,006871	0,42	0,41

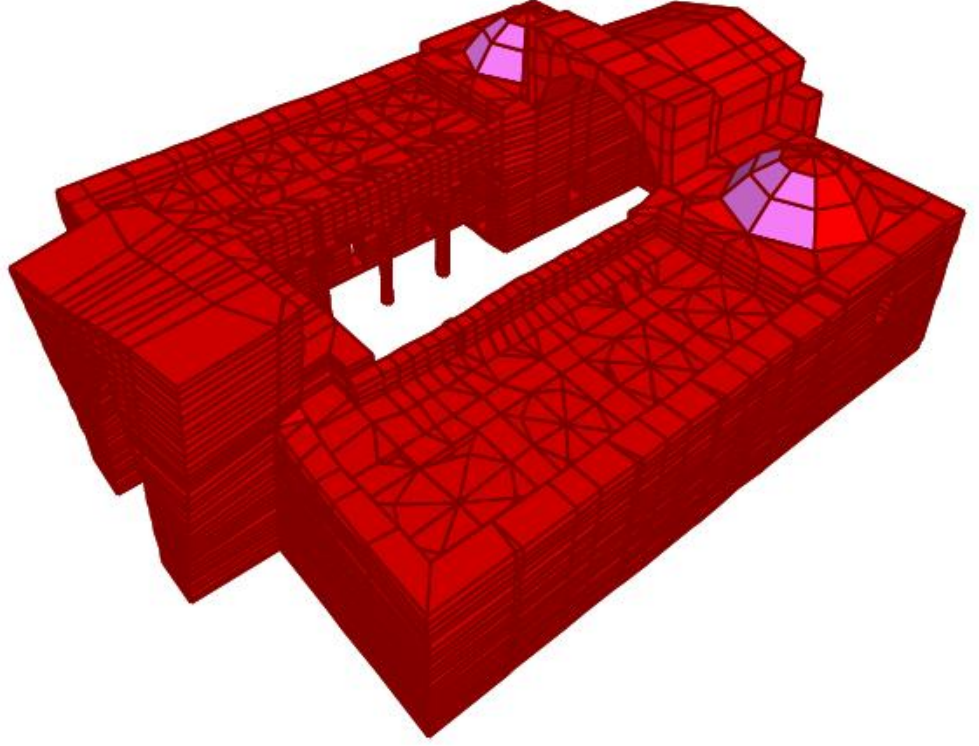
MODAL	Mode	6	0,0513	0,21	0,001132	0,63	0,41
MODAL	Mode	7	0,0458	0,08282	0,0000299	0,71	0,41
MODAL	Mode	8	0,0443	0,01304	0,0002164	0,73	0,41
MODAL	Mode	9	0,0425	0,00339	0,02094	0,73	0,43
MODAL	Mode	10	0,0406	0,00166	0,002025	0,73	0,44
MODAL	Mode	11	0,0381	0,001328	0,004945	0,73	0,44
MODAL	Mode	12	0,0389	0,001425	0,11	0,73	0,55
MODAL	Mode	13	0,0376	0,006881	0,13	0,74	0,67
MODAL	Mode	14	0,0364	0,000122	0,04758	0,74	0,72
MODAL	Mode	15	0,0368	0,002382	0,01182	0,74	0,73
MODAL	Mode	16	0,0359	0,02298	0,01481	0,77	0,75
MODAL	Mode	17	0,0358	0,000761	0,01651	0,77	0,77
MODAL	Mode	18	0,0343	6,22E-08	0,004833	0,77	0,77
MODAL	Mode	19	0,0339	0,000963	0,000214	0,77	0,77
MODAL	Mode	20	0,0338	0,002512	0,000007	0,77	0,77
MODAL	Mode	21	0,0326	0,002741	0,000361	0,77	0,77
MODAL	Mode	22	0,0323	0,000146	0,000064	0,77	0,77
MODAL	Mode	23	0,0321	0,000043	0,000035	0,77	0,77
MODAL	Mode	24	0,0314	0,000121	0,01442	0,77	0,79
MODAL	Mode	25	0,0316	0,000185	0,000149	0,77	0,79
MODAL	Mode	26	0,0313	0,002892	0,006331	0,77	0,79
MODAL	Mode	27	0,0306	0,000127	0,000077	0,77	0,79
MODAL	Mode	28	0,0291	0,000266	0,000092	0,77	0,79
MODAL	Mode	29	0,0298	0,001363	2,38E-07	0,78	0,79
MODAL	Mode	30	0,0295	0,001121	0,000328	0,78	0,79
MODAL	Mode	31	0,0293	0,004938	0,000293	0,78	0,79
MODAL	Mode	32	0,0289	0,005592	0,000238	0,79	0,79
MODAL	Mode	33	0,0287	0,000277	0,001134	0,79	0,79
MODAL	Mode	34	0,0287	0,000137	0,004089	0,79	0,8
MODAL	Mode	35	0,0281	0,000055	0,008261	0,79	0,81
MODAL	Mode	36	0,0278	0,000771	0,000366	0,79	0,81
MODAL	Mode	37	0,0275	1,86E-06	0,000499	0,79	0,81
MODAL	Mode	38	0,0267	0,000376	0,000003	0,79	0,81
MODAL	Mode	39	0,0265	0,000057	7,56E-08	0,79	0,81
MODAL	Mode	40	0,0264	0,000015	0,000935	0,79	0,81
MODAL	Mode	41	0,0258	0,000231	0,000837	0,79	0,81
MODAL	Mode	42	0,0258	0,000033	0,000044	0,79	0,81
MODAL	Mode	43	0,0247	0,000972	0,000153	0,79	0,81
MODAL	Mode	44	0,0248	0,000069	0,000221	0,79	0,81
MODAL	Mode	45	0,0249	0,000035	0,000548	0,79	0,81
MODAL	Mode	46	0,024	0,000061	0,000268	0,79	0,81
MODAL	Mode	47	0,0232	0,000341	0,000955	0,79	0,81
MODAL	Mode	48	0,0232	0,000481	0,00005	0,79	0,81
MODAL	Mode	49	0,0237	0,000174	0,000451	0,79	0,81
MODAL	Mode	50	0,0237	0,000185	0,000211	0,79	0,81



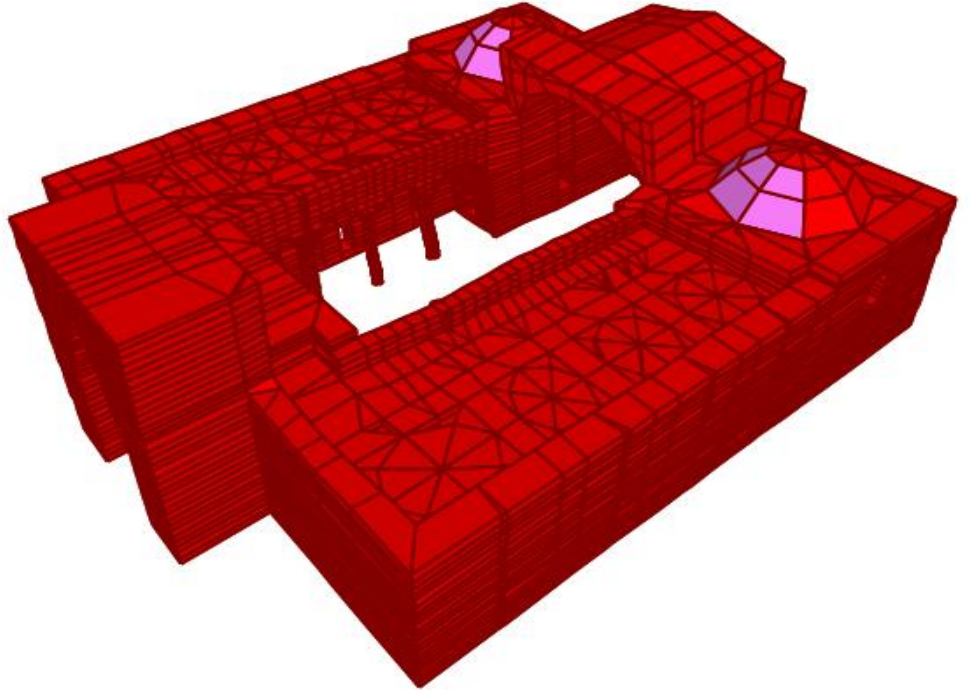
Şekil 28: Birinci Mod X Yönünde Öteleme ($T_1 = 0,081s$)



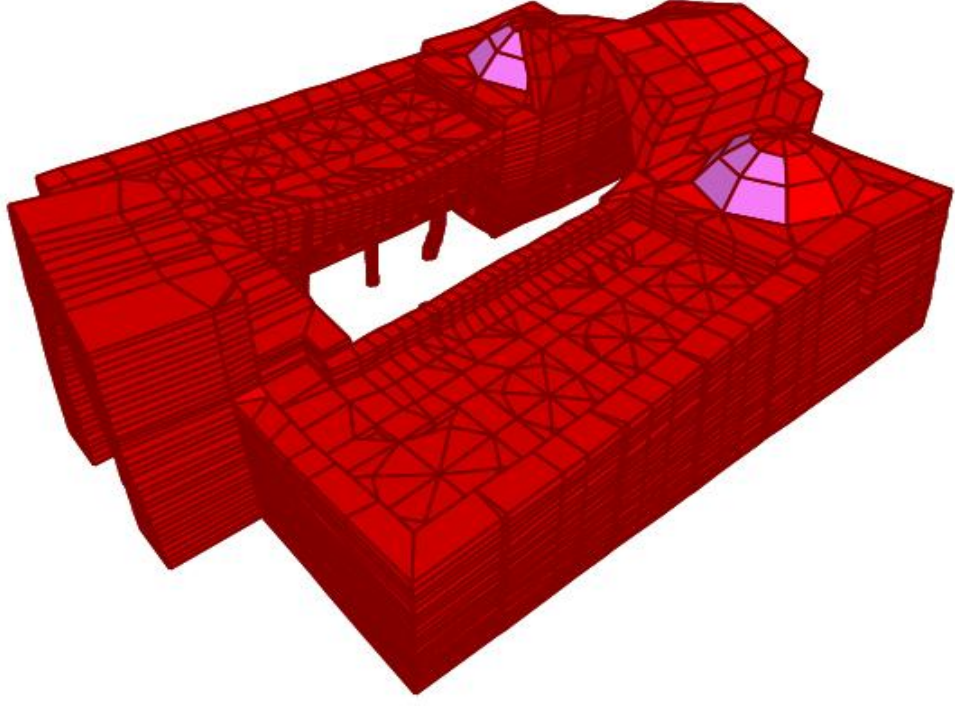
Şekil 29: İkinci Mod Y Yönünde Öteleme ($T_2 = 0,069s$)



Şekil 30: Üçüncü Mod Burkulma ($T_3 = 0,066s$)



Şekil 31: Dördüncü Mod Burkulma ($T_4 = 0,063s$)

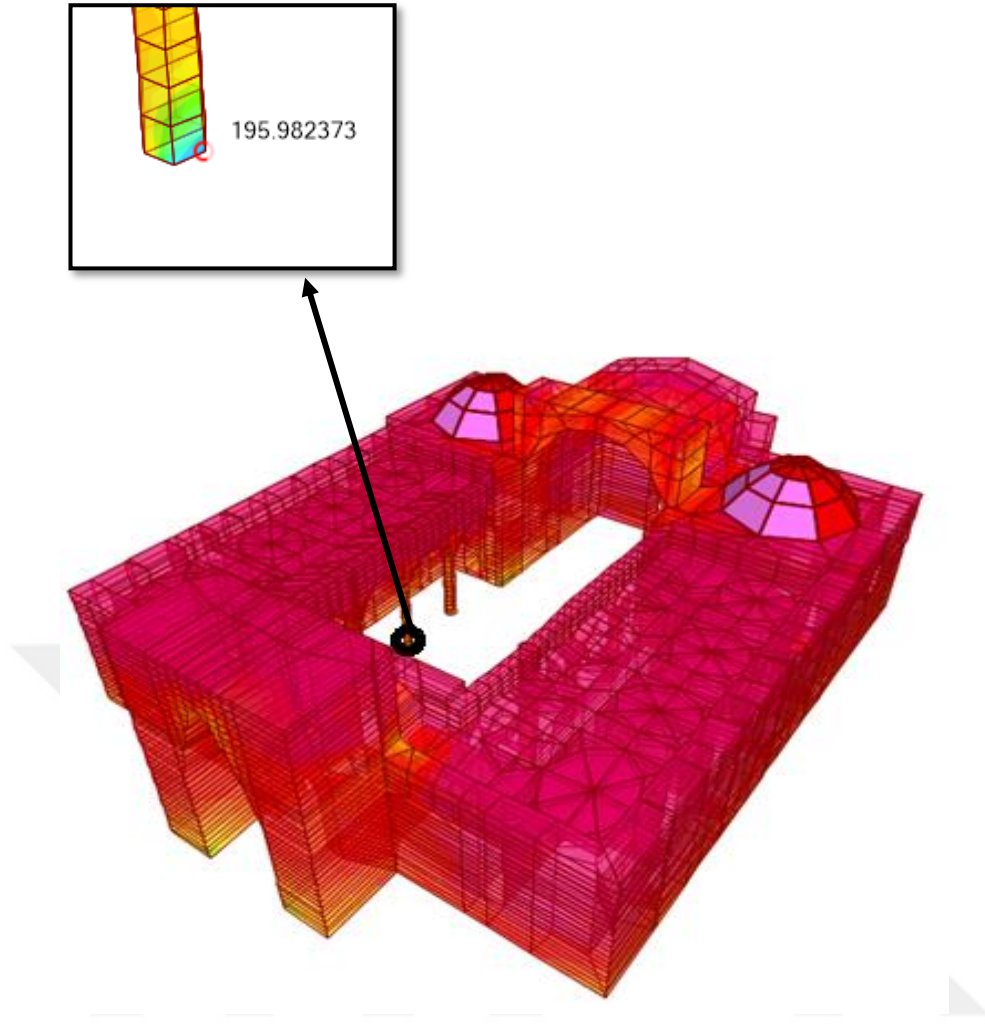


Şekil 32: Beşinci Mod Burulma ($T_5 = 0,051s$)

3.6.5. Yapının Deprem Analizi

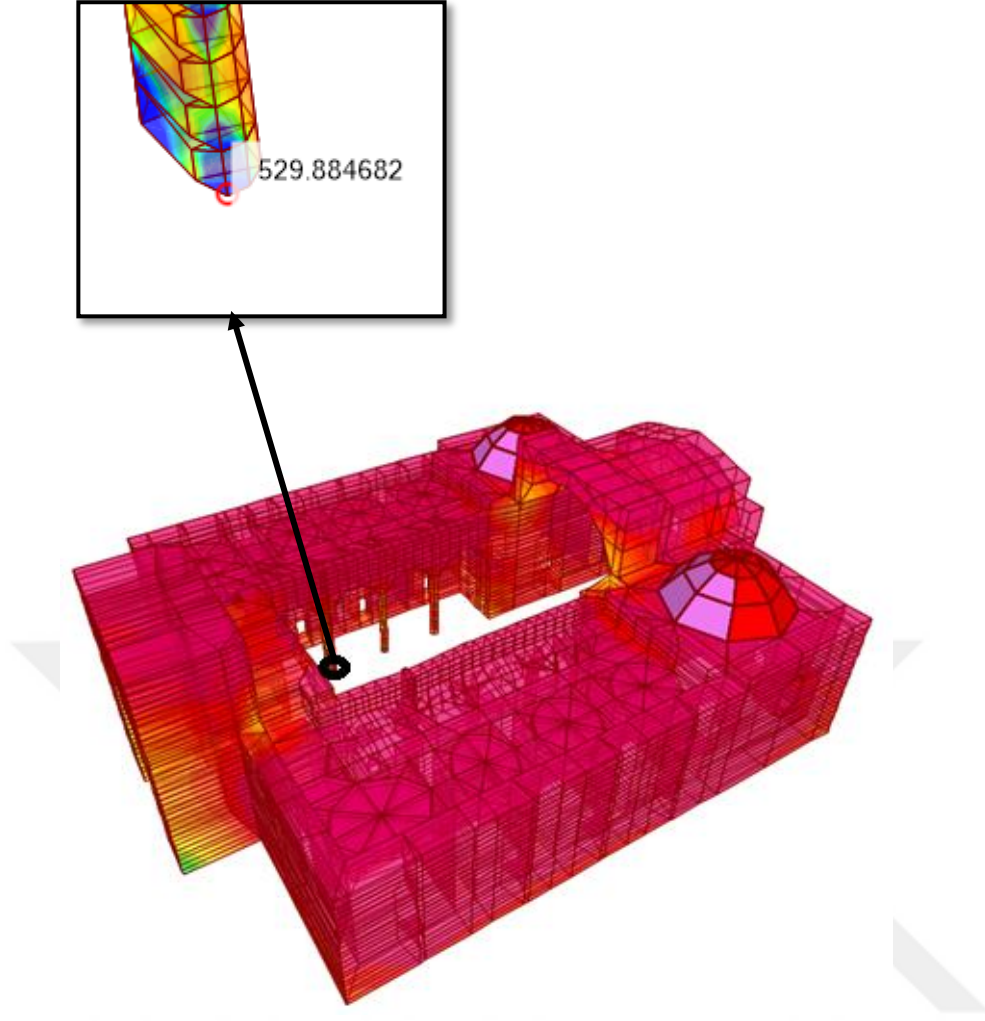
Türkiye Deprem Tehlike Haritası'na göre, Karaman Hatuniye Medresesi'nin bulunduğu bölge 4. derece deprem riski grubunda yer almakta olup, bina önem katsayısı 1,2 olarak belirlenmiştir (Tablo 3). Ayrıca, yerel zemin sınıfı ZB olarak sınıflandırılmıştır. Bu bağlamda, Karaman Hatuniye Medresesi üzerindeki dinamik yüklerin etkilerini detaylı bir şekilde incelemek amacıyla, yapının dinamik analizleri SAP2000 yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Söz konusu analizler sonucunda, yapının periyot değeri $T = 0,081$ saniye olarak hesaplanmıştır (Şekil 28). Deprem yükü azaltma katsayısı, formül (2) dikkate alınarak 1,7109 olarak belirlenmiştir.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018) esas alınarak mod birleştirme yöntemiyle elde edilen S33 maksimum çekme gerilme değeri X yönünde $195,98 \text{ kN/m}^2$ olarak hesaplanmıştır. Bu gerilme değeri, yapının avlu kısmında bulunan devşirme sütun ayak diplerinde gözlemlenmiştir (Şekil 33). Yapımız da sınır değerimiz $195,98 \text{ (kN/m}^2\text{)} / 1490 \text{ (kN/m}^2\text{)} = \%13$ kapasiteye ulaşmıştır.



Şekil 33: Mod Birleştirme Yöntemi Etkisinde S33 Maksimum Çekme Gerilmeleri (U1 Yönünde)

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018) esas alınarak mod birleştirme yöntemiyle elde edilen S33 maksimum çekme gerilme değeri Y yönünde $529,88 \text{ kN/m}^2$ olarak hesaplanmıştır. Bu gerilme değeri, yapının avlu kısmında bulunan devşirme sütun ayak diplerinde gözlemlenmiştir (Şekil 34). Yapımız da sınır değerimiz $529,88 \text{ (kN/m}^2) / 1490 \text{ (kN/m}^2) = \%36$ kapasiteye ulaşmıştır.



Şekil 34: Mod Birleştirme Yöntemi Etkisinde S33 Maksimum Çekme Gerilmeleri (U2 Yönünde)

Bu çalışma kapsamında, Karaman Hatuniye Medresesi'ne daha önce literatürde yer alan 11 farklı deprem verisi uygulanmıştır. Bu deprem kayıtlarının seçimi, Türkiye Deprem Yönetmeliği'nin 2.5.1.3 maddesine uygun olarak gerçekleştirilmiştir. İlgili madde, bir veya iki boyutlu hesaplamalar için seçilecek deprem kayıtlarının ve üç boyutlu hesaplamalar için kullanılacak deprem kaydı takımlarının sayısının en az on bir olması gerektiğini açıkça belirtmektedir. Deprem kayıtları yapıya uygulandıktan sonra, zaman tanım alanında dinamik analizler gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizlerin sonucunda, yapıda ortaya çıkan maksimum çekme ve maksimum basınç normal gerilme değerleri sistematik bir şekilde hesaplanmış ve belgelenmiştir.

Hatuniye Medresesi'ne ait dinamik analizlerde kullanılacak yer hareketi kayıtlarının seçimi, yapının bulunduğu bölgenin sismik özelliklerini yansıtacak şekilde titizlikle gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, deprem büyüklüğü, fay hattına olan uzaklık, kaynak mekanizması ve yerel zemin sınıfı gibi kriterler göz önünde bulundurularak, Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi (PEER) veritabanı üzerinden ve AFAD'dan alınan hedef

tasarım spektrumuna en yakın spektral içeriğe sahip ve incelenen bölgenin sismik davranışını temsil etme açısından en uygun olan 11 adet yer hareketi kaydı seçilerek analizlerde kullanılmak üzere değerlendirilmiştir (Tablo 6).

Tablo 6: Yapının Dinamik Analizleri İçin Seçilmiş Deprem Kayıtlarının Özellikleri

Kayıt Sıra Numarası	Deprem Adı	İstasyon Adı	Yıl	Deprem Büyüklüğü
17.08.1999	Kocaeli, Turkey	Afad-İstanbul	1999	7.41
RSN96	Managua, Nicaragua-02	Managua, Nicaragua-02	1972	6.24
RSN96	Managua, Nicaragua-02	Managua, Nicaragua-02	1972	6.24
RSN147	Coyote Lake	Gilroy Array #2	1979	5.74
RSN149	Coyote Lake	Gilroy Array #4	1979	5.74
RSN173	Imperial Valley-06	El Centro Array #10	1979	6.53
RSN185	Imperial Valley-06	Holtville Post Office	1979	6.53
RSN721	Superstition Hills-02	El Centro Imp. Co. Cent	1987	6.54
RSN1115	Kobe, Japan	Sakai	1995	6.90
RSN5838	El Mayor-Cucapah	El Centro - Meloland Geotechnic	2010	7.20
RSN6874	Joshua Tree, CA	Thousand Palms Post Office	1992	6.10

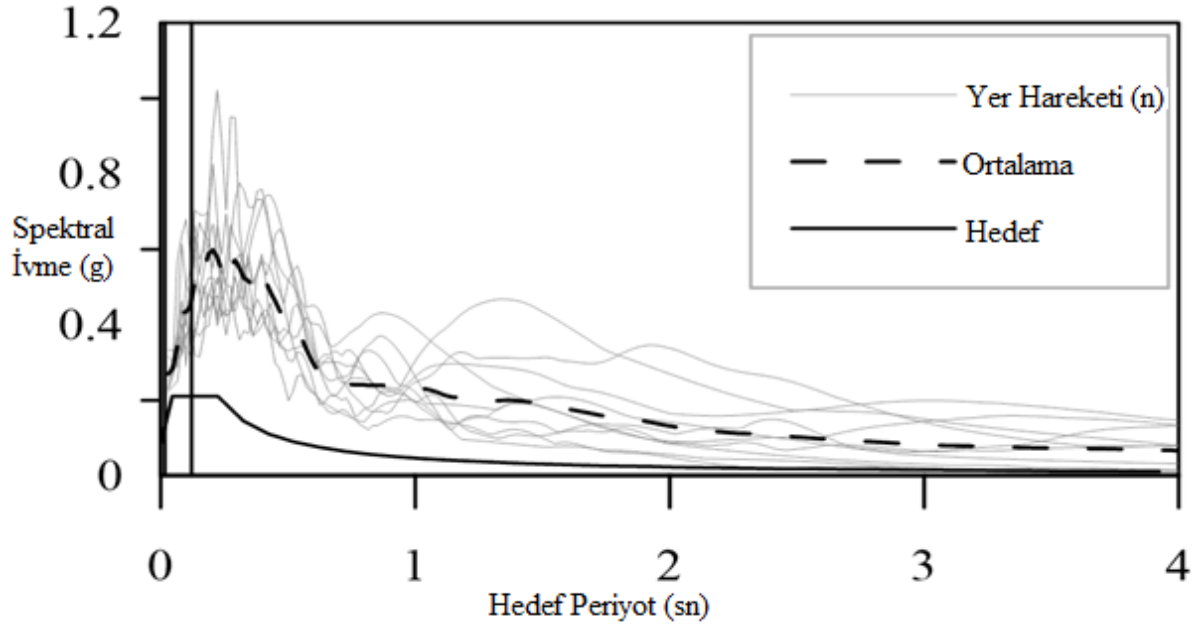
Zemin hareketi kayıtlarının seçilmesinden sonra gerçekleştirilen bir diğer önemli adım, bu kayıtların ivme spektrumlarının hedef tasarım spektrumuna ölçeklendirilmesidir. Bu işlem, her bir kaydın yapısal tepki üzerindeki bireysel etkilerinin azaltılmasına ve bölgesel sismik özelliklerin yapıya daha doğru yansıtılmasına olanak tanır. Bu çalışmada, bu amaçla zaman tanım alanında gerçekleştirilen bir ölçeklendirme yöntemi tercih edilmiştir.

Zaman tanım alanına dayalı bu ölçeklendirme yöntemi, frekans alanı yaklaşımlarına kıyasla hedef tasarım spektrumuna tam uyum sağlayamayabilir. Ancak bu yöntemin en önemli avantajı, kaydın frekans içeriğini değiştirmemesidir. Yöntem kapsamında ilk olarak, incelenen yerleşim bölgesine özgü bir tasarım ivme spektrumu elde edilir. Ardından, seçilmiş yer hareketi kaydının iki yatay bileşenine ait ivme spektrumları kullanılarak, bu bileşenlerin karelerinin toplamının karekökü alınır ve böylece her kayıt için bir birleşik ivme spektrumu elde edilir.

Bu birleşik spektrum, hedef tasarım spektrumuyla genlik farkı en aza indirilecek şekilde ölçeklendirilir. Ölçekleme işlemi sonucunda her bir kayıt için ayrı ölçekleme katsayıları belirlenir ve bu katsayılar, ilgili yatay bileşenlerin ivme kayıtlarına uygulanır. Gerçekleştirilen tüm bu seçim ve ölçekleme işlemleri, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018) kapsamında belirtilen kriterlere uygun şekilde gerçekleştirilmiştir.

Bu yönetmelik kapsamında dikkat edilmesi gereken temel kriterlerden biri, elde edilen ölçeklenmiş ivme spektrumlarının ortalama genliğinin, yapının baskın titreşim periyodunun (T) 0,2 ile 1,5 katı aralığında, hedef tasarım spektrumunun genliğine oranının 1,3'ten küçük

olmamasıdır. Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar incelendiğinde, Şekil 35’te bu koşulun sağlandığı açıkça görülmektedir.



Şekil 35: Ölçekleme Süreci ve Kod Kriterlerinin Kontrol Edilmesi

3.7. KOBE DEPREMİ (1995) - BÜYÜK HANSHIN-AWAJİ DEPREMİ

Depremler, dünya üzerindeki en yıkıcı doğal afetlerden biridir. Özellikle yoğun nüfuslu ve sanayileşmiş bölgelerde meydana gelen depremler hem can kayıplarına hem de ciddi ekonomik zararlara yol açmaktadır. Bu çalışmada, 17 Ocak 1995 tarihinde Japonya'nın Hyōgo Eyaleti'nde meydana gelen ve kamuoyunda “Kobe Depremi” olarak bilinen Büyük Hanshin-Awaji Depremi detaylı bir şekilde ele alınacaktır.

3.7.1. Kobe Depremi Genel Özellikleri

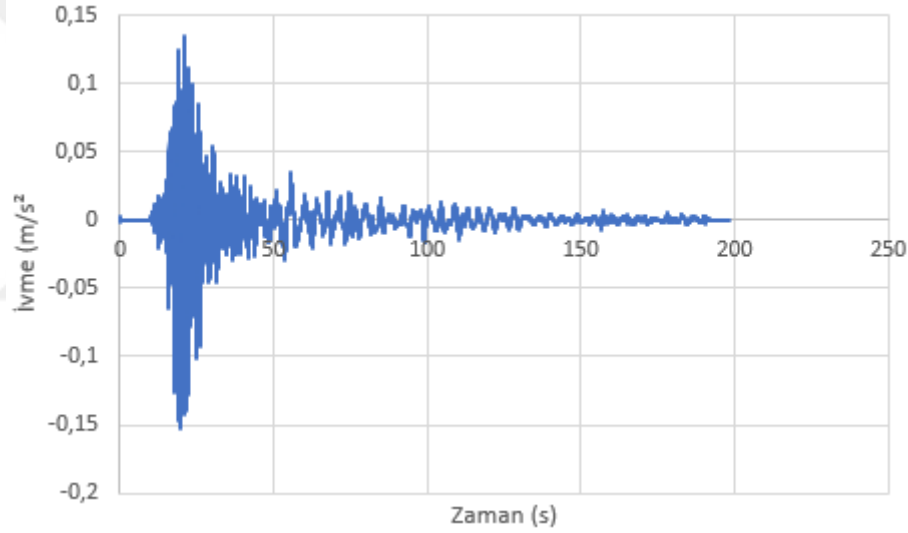
- **Tarih:** 17 Ocak 1995
- **Saat:** 05:46 (Japonya yerel saati)
- **Büyüklik:** 6,90 Mw (Moment magnitüd ölçeği)
- **Merkez üssü:** Awaji Adası'nın kuzeyi, Osaka Körfezi yakınları
- **Etki süresi:** Yaklaşık 20 saniye
- **Fay Hattı:** Nojima Fayı (aktif sağ yanal atımlı fay)

Deprem, Japonya'nın en büyük şehirlerinden biri olan Kobe'de çok ciddi hasara yol açmıştır. Hyōgo Eyaleti başta olmak üzere Osaka, Kyoto ve diğer çevre illerde de etkili olmuştur.

Deprem sonucunda yaklaşık 6.434 kişi yaşamını yitirmiş, 40.000'den fazla kişi yaralanmış, 300.000'den fazla kişi evsiz kalmıştır. Yaklaşık 250.000 bina tamamen ya da kısmen yıkılmıştır. Ayrıca otoyollar, limanlar, demiryolları ve köprüler gibi altyapı sistemlerinde de büyük çaplı yıkım yaşanmıştır.

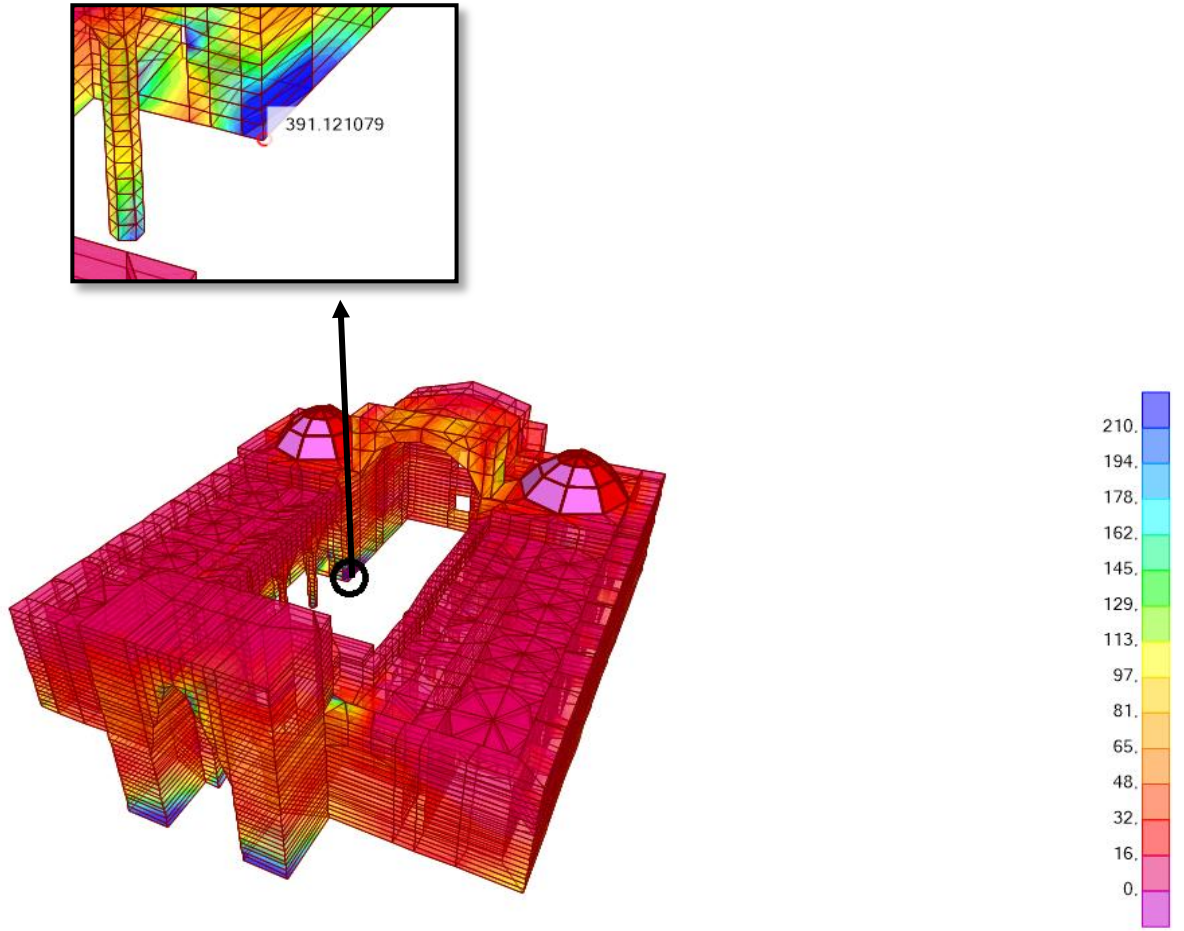
Toplam ekonomik kaybın yaklaşık 100 milyar dolar olduğu tahmin edilmektedir. Bu rakam, o döneme kadar Japonya'nın yaşadığı en yüksek maliyetli doğal afet olarak kayda geçmiştir. Kobe Limanı uzun süre kullanılamamış, ülkenin ihracat trafiği büyük ölçüde etkilenmiştir.

Çalışmanın bu kısmında Hatuniye Medresesi'ne Kobe depremi ivme kayıtları uygulanmıştır (Şekil 36). 19806 deprem kaydının alındığı çalışmada saniye aralığı enerji yoğunluğunun fazla olduğu 15-25 sn aralığı seçilmiştir. Yapılan analizler sonucunda maksimum çekme ve maksimum basınç normal gerilme değerleri incelenmiştir.



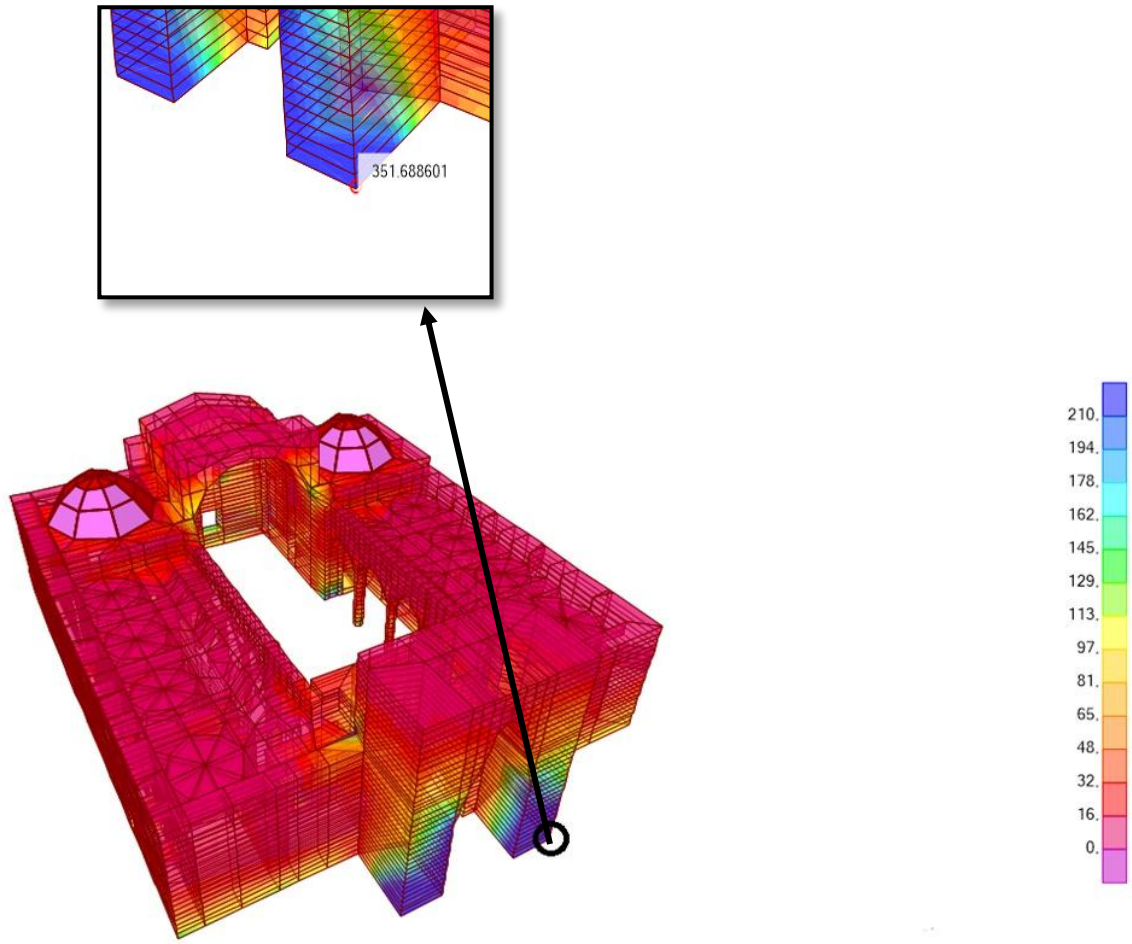
Şekil 36: Kobe Depreminin İvme Kayıtları

Kobe depremi etkisi altında S33 maksimum çekme gerilme değeri X yönünde 391,12 kN/m² olarak hesaplanmıştır. Bu gerilme değeri, yapının avlu kısmında bulunan üzeri kubbelerle örtülü odacıkların ayak diplerinde gözlemlenmiştir (Şekil 37). Yapımız da sınır değerimiz $391,12 \text{ (kN/m}^2\text{)} / 1490 \text{ (kN/m}^2\text{)} = \%26$ kapasiteye ulaşmıştır.



Şekil 37: Kobe Depremi Etkisinde S33 Maksimum Çekme Gerilmeleri (U1 Yönünde)

Kobe depremi etkisi altında S33 maksimum çekme gerilme değeri Y yönünde 351,68 kN/m^2 olarak hesaplanmıştır. Bu gerilme değeri yapının giriş kısmında bulunan taç mahal kapının sağ duvar dibinde gözlemlenmiştir (Şekil 38). Yapımız da sınır değerimiz 351,68 (kN/m^2) / 1490 (kN/m^2) = %23 kapasiteye ulaşmıştır.

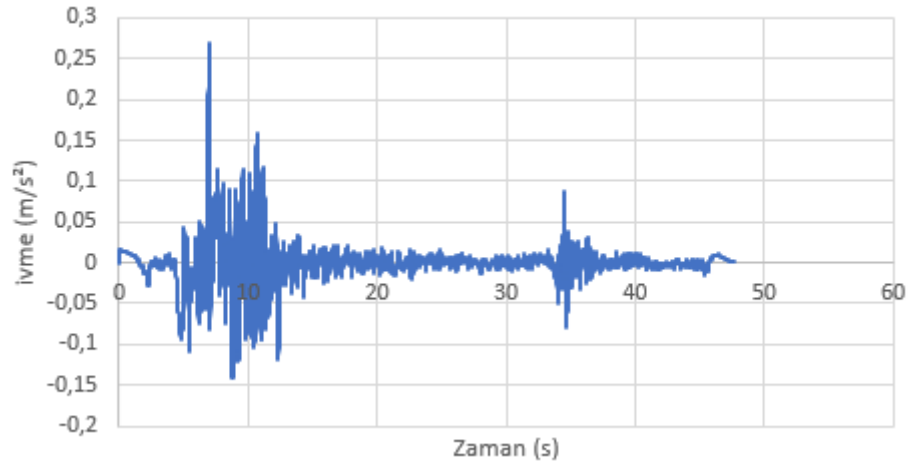


Şekil 38: Kobe Depremi Etkisinde S33 Maksimum Çekme Gerilmeleri (U2 Yönünde)

3.8. 17 AĞUSTOS 1999 KOCAELİ DEPREMİ

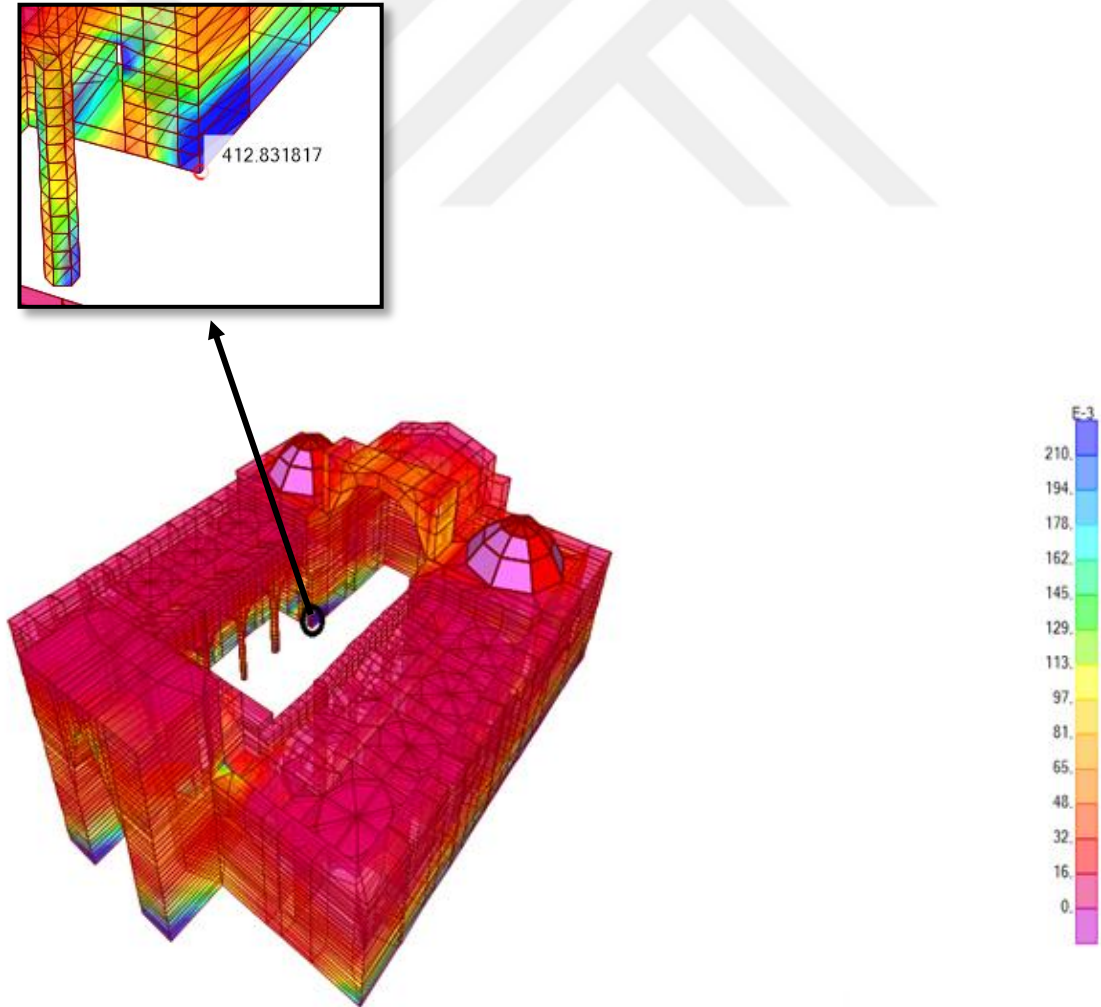
17 Ağustos 1999 tarihinde Türkiye'nin Marmara Bölgesi'nde meydana gelen ve merkez üssü Kocaeli'nin Gölcük ilçesi olan deprem, Cumhuriyet tarihinin en yıkıcı doğal afetlerinden biri olarak kabul edilmektedir. Richter ölçeğine göre 7.41 büyüklüğünde olan bu deprem, yalnızca fiziksel yapılar üzerinde değil, aynı zamanda toplumsal ve bireysel düzeyde de derin yaralar bırakmıştır. Resmî kaynaklara göre yaklaşık 18.000 kişi hayatını kaybetmiş, 50.000'e yakın kişi yaralanmış ve yüzbinlerce insan evsiz kalmıştır. Depremi ekonomik maliyeti ise milyarlarca doları bulmuştur.

Çalışmanın bu kısmında Hatuniye Medresesi'ne 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi ivme kayıtları uygulanmıştır (Şekil 39). 4764 deprem kaydının alındığı çalışmada saniye aralığı enerji yoğunluğunun fazla olduğu 0-15 sn aralığı seçilmiştir. Yapılan analizler sonucunda maksimum çekme ve maksimum basınç normal gerilme değerleri incelenmiştir.



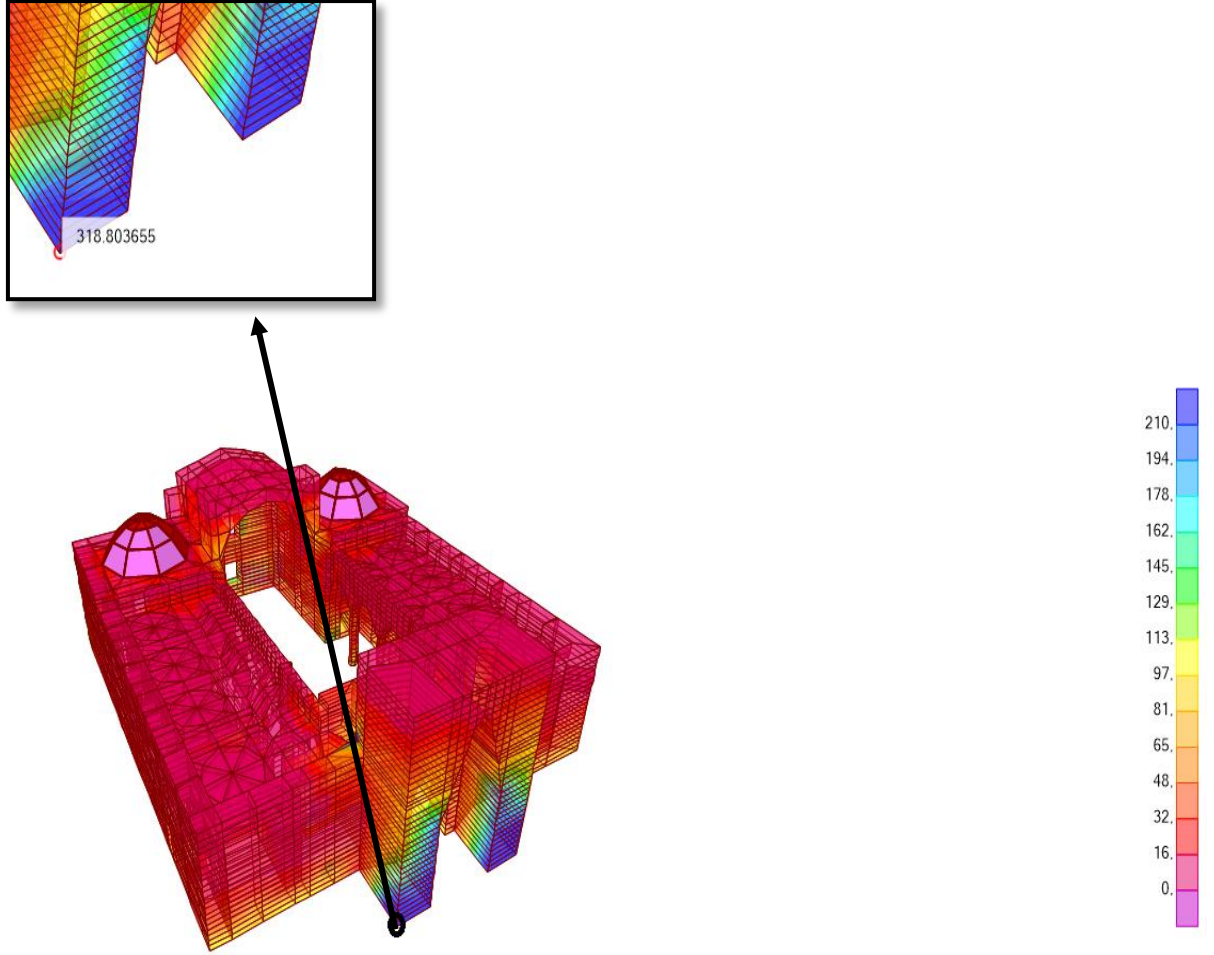
Şekil 39: 17 Ağustos 1999 Depreminin İvme Kayıtları

17 Ağustos 1999 depremi etkisi altında S33 maksimum çekme gerilme değeri X yönünde 412,83 kN/m² olarak hesaplanmıştır. Bu gerilme değeri, yapının avlu kısmında bulunan üzeri kubbelerle örtülü odacıkların ayak diplerinde gözlemlenmiştir (Şekil 40). Yapımız da sınır değerimiz 412,83 (kN/m²) /1490 (kN/m²) = %27 kapasiteye ulaşmıştır.



Şekil 40: 17 Ağustos 1999 Depremi Etkisinde S33 Maksimum Çekme Gerilmeleri (U1 Yönünde)

17 Ağustos 1999 depremi etkisi altında S33 maksimum çekme gerilme değeri Y yönünde 318,80 kN/m² olarak hesaplanmıştır. Bu gerilme değeri yapının giriş kısmında bulunan taç mahal kapının sol duvar dibinde gözlemlenmiştir (Şekil 41). Yapımız da sınır değerimiz 318,80 (kN/m²) /1490 (kN/m²) = %21 kapasiteye ulaşmıştır.



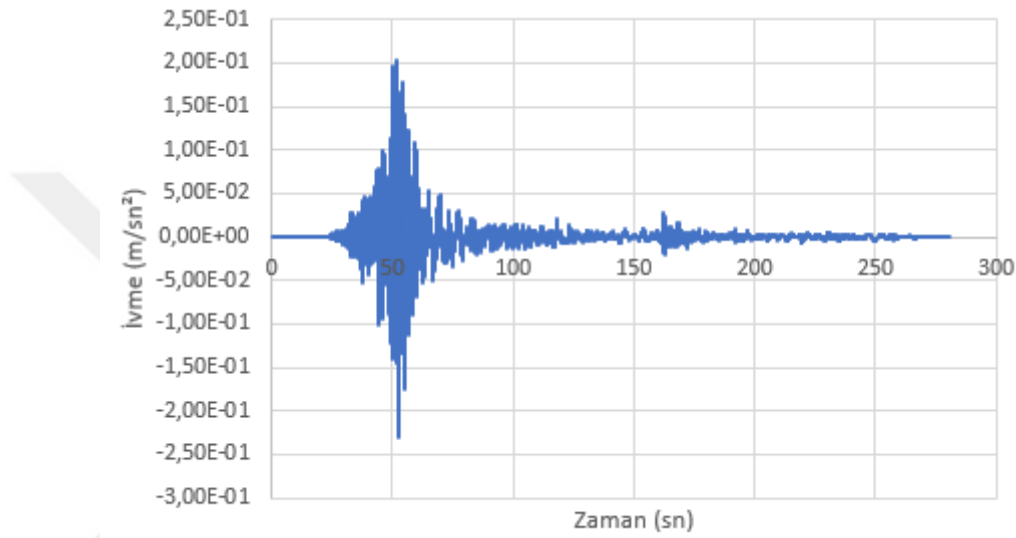
Şekil 41: 17 Ağustos 1999 Depremi Etkisinde S33 Maksimum Çekme Gerilmeleri (U2 Yönünde)

3.9. EL MAYOR- CUCAPAH DEPREMİ

El Mayor–Cucapah Depremi, 4 Nisan 2010 tarihinde Meksika’nın Baja California bölgesinde meydana gelmiş ve yerel saatle 15.40 sularında hissedilmiştir. Depremin moment büyüklüğü Mw 7,2 olarak ölçülmüş olup, yanal atımlı (strike-slip) bir fay üzerinde gerçekleşmiştir. Deprem, Laguna Salada Fayı boyunca yüzeyde 120 kilometreyi aşkın bir kırılmaya neden olmuş ve yer yüzeyinde yaklaşık 3 metreye varan yatay yer değiştirmeler gözlemlenmiştir. Başta Mexicali kenti olmak üzere, Baja California eyaletinin birçok bölgesinde ciddi hasar meydana gelmiştir. Bunun yanı sıra, ABD’nin Kaliforniya eyaletinde de deprem şiddetli şekilde hissedilmiş, özellikle San Diego ve çevresinde geçici tahliyeler yapılmıştır. Deprem sonucunda en az dört kişi hayatını kaybetmiş, 100’den fazla kişi ise

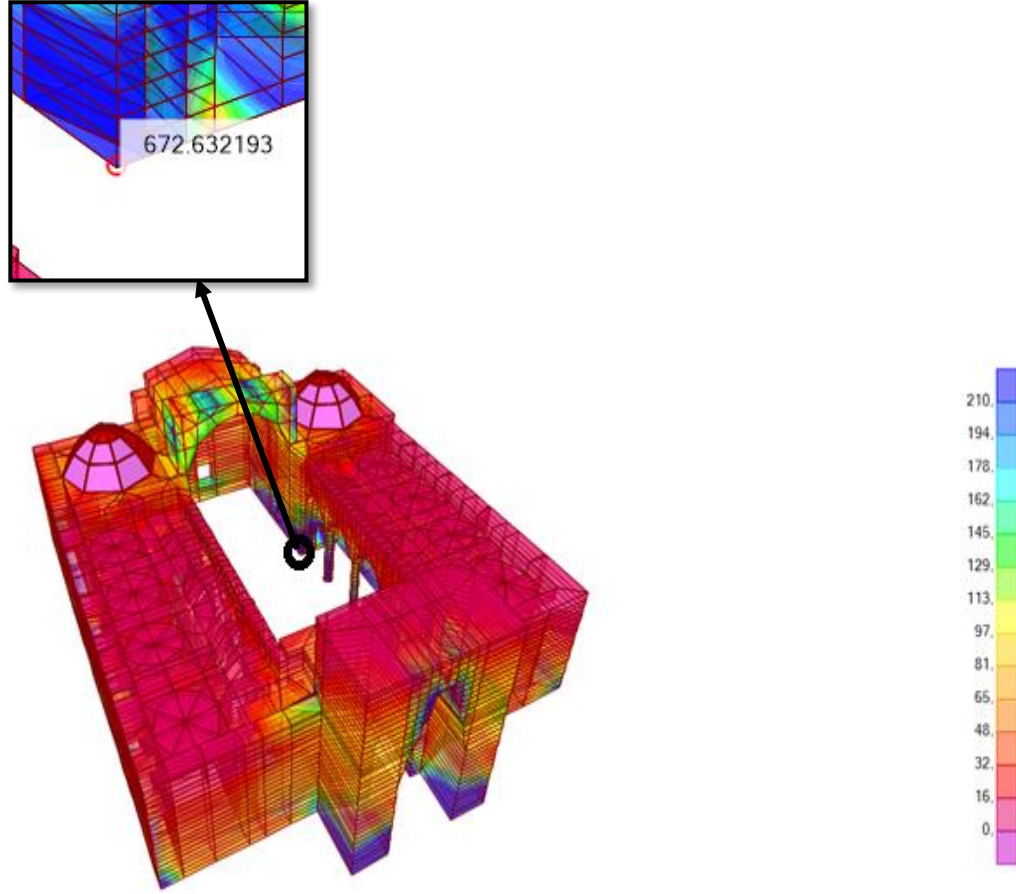
yaralanmıştır. Ayrıca, su şebekeleri, yollar, tarım sulama sistemleri ve birçok yapı zarar görmüş; tahmini ekonomik kayıpların 100 milyon Amerikan dolarını aştığı bildirilmiştir. Bu deprem hem Meksika’da hem de ABD’de afet yönetimi ve kentsel planlama açısından önemli bir uyarı niteliği taşımaktadır.

Çalışmanın bu kısmında Hatuniye Medresesi’ne El Mayor-Cucapah depremi ivme kayıtları uygulanmıştır (Şekil 42). 56200 deprem kaydının alındığı çalışmada saniye aralığı enerji yoğunluğunun fazla olduğu 30-70 sn aralığı seçilmiştir. Yapılan analizler sonucunda maksimum çekme ve maksimum basınç normal gerilme değerleri incelenmiştir.



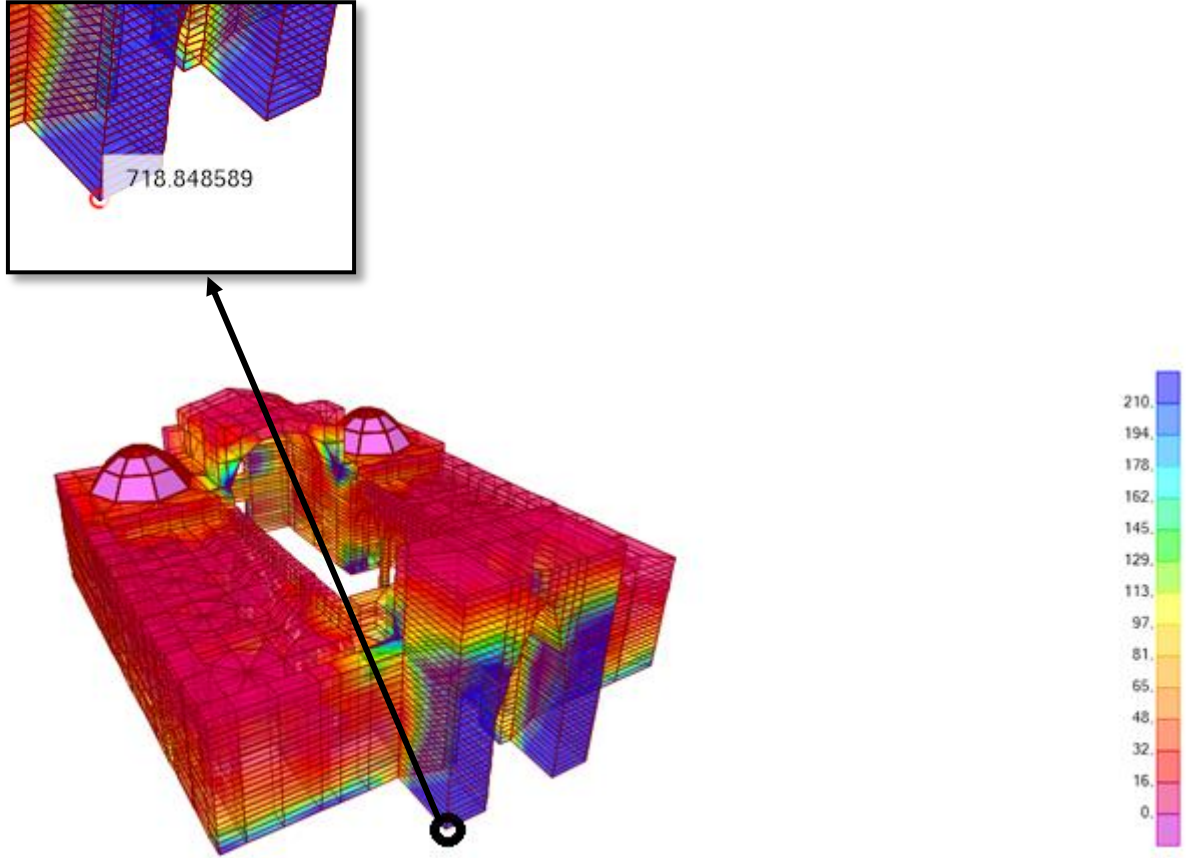
Şekil 42: El Mayor-Cucapah Depremi İvme Kayıtları

El Mayor-Cucapah depremi etkisi altında S33 maksimum çekme gerilme değeri X yönünde $672,63 \text{ kN/m}^2$ olarak hesaplanmıştır. Bu gerilme değeri, yapının avlu kısmında bulunan üzeri kubbelerle örtülü odacıkların ayak diplerinde gözlemlenmiştir (Şekil 43). Yapımız da sınır değerimiz $672,63 \text{ (kN/m}^2) / 1490 \text{ (kN/m}^2) = \%45$ kapasiteye ulaşmıştır.



Şekil 43: El Mayor-Cucapah Depremi Etkisinde S33 Maksimum Çekme Gerilmeleri (U1 Yönünde)

El Mayor-Cucapah depremi etkisi altında S33 maksimum çekme gerilme değeri Y yönünde $718,84 \text{ kN/m}^2$ olarak hesaplanmıştır. Bu gerilme değeri yapının giriş kısmında bulunan kapının sol duvar dibinde gözlemlenmiştir (Şekil 44). Yapımız da sınır değerimiz $718,84 \text{ (kN/m}^2) / 1490 \text{ (kN/m}^2) = \%48$ kapasiteye ulaşmıştır.



Şekil 44: El Mayor-Cucapah Depremi Etkisinde S33 Maksimum Çekme Gerilmeleri (U2 Yönünde)

3.10. MANAGUA DEPREMİ

1972 Managua Depremi, 23 Aralık 1972 tarihinde, Nikaragua'nın başkenti Managua'da meydana gelen ve ülkenin tarihindeki en yıkıcı doğal afetlerden biri olarak kabul edilen büyük bir sismik olaydır.

3.10.1. Depremi Özellikleri

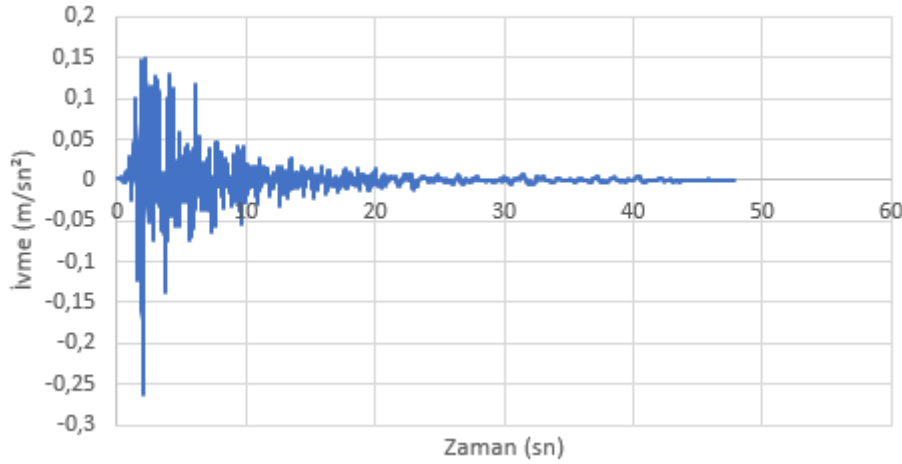
- **Tarih ve Saat:** 23 Aralık 1972, 00:29 (yerel saat)
- **Büyüklik:** 6.24 (moment büyüklüğü)
- **Derinlik:** Yaklaşık 10 km
- **Fay Tipi:** Sol yanal doğrultu atımlı (left-lateral strike-slip)
- **Etkilenen Alan:** Managua şehir merkezinin yaklaşık 27 km²'lik bir alanı
- **Maksimum Şiddet:** MSK IX (Yıkıcı)

3.10.2. Zarar ve Etkiler

Deprem, Managua'nın şehir merkezinde büyük yıkıma yol açmıştır:

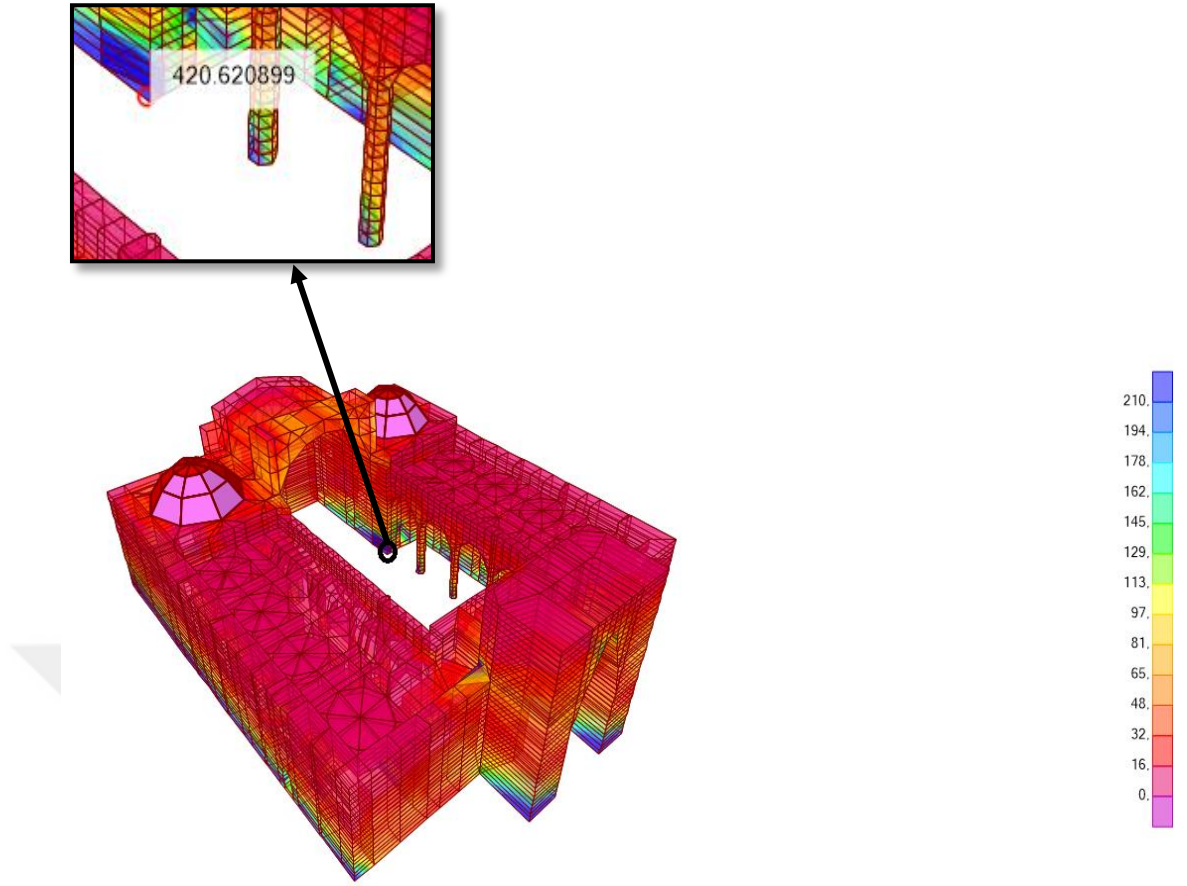
- **Ölü Sayısı:** 4.000 ila 11.000 arasında tahmin edilmektedir.
- **Yaralı Sayısı:** 20.000 kişi civarında.
- **Evlerini Kaybedenler:** 300.000'den fazla kişi evsiz kalmıştır.
- **Yapısal Zarar:** Şehirdeki 80.000 binanın yaklaşık %75'i ya tamamen yıkılmış ya da kullanılamaz hale gelmiştir.
- **Altyapı Hasarı:** Su ve elektrik şebekeleri büyük oranda tahrip olmuş, depremin üzerinden bir hafta geçtikten sonra şehrin yalnızca %10'unda su servisi yeniden sağlanabilmiştir.
- **Ticaret ve Sanayi:** 300'den fazla mağaza tamamen tahrip olmuş, 100'den fazla mağaza ise ciddi şekilde hasar görmüştür.

Çalışmanın bu kısmında Hatuniye Medresesi'ne Managua depremi 90° olacak şekilde ivme kayıtları uygulanmıştır (Şekil 45). 19154 deprem kaydının alındığı çalışmada saniye aralığı enerji yoğunluğunun fazla olduğu 0-10 sn aralığı seçilmiştir. Yapılan analizler sonucunda maksimum çekme ve maksimum basınç normal gerilme değerleri incelenmiştir.



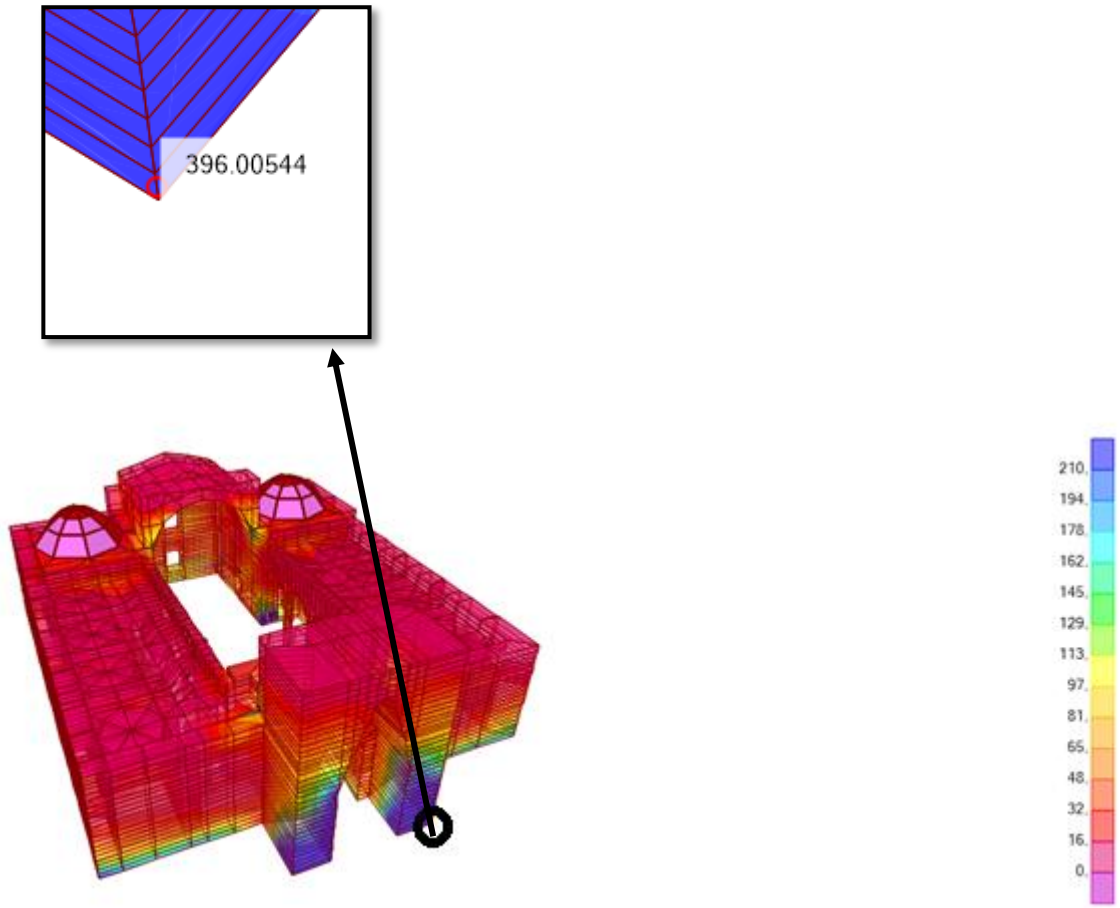
Şekil 45: Managua Depremi İvme Kayıtları

Managua depremi etkisi altında S33 maksimum çekme gerilme değeri X yönünde 420,62 kN/m² olarak hesaplanmıştır. Bu gerilme değeri, yapının avlu kısmında bulunan üzeri kubbelerle örtülü odacıkların ayak diplerinde gözlemlenmiştir (Şekil 46). Yapımız da sınır değerimiz $420,62 \text{ (kN/m}^2\text{)} / 1490 \text{ (kN/m}^2\text{)} = \%28$ kapasiteye ulaşmıştır.



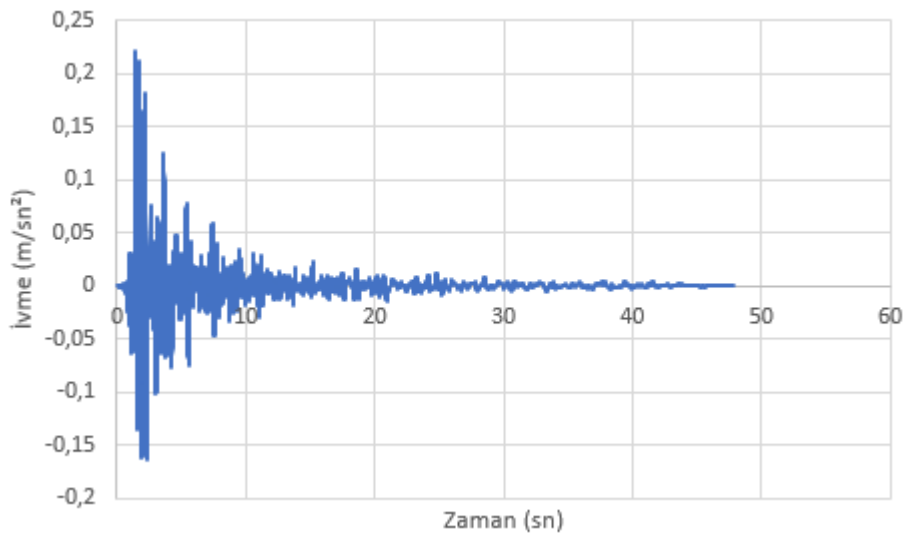
Şekil 46: Managua Depremi Etkisinde S33 Maksimum Çekme Gerilmeleri (U1 Yönünde)

Managua depremi etkisi altında S33 maksimum çekme gerilme değeri Y yönünde $396,01 \text{ kN/m}^2$ olarak hesaplanmıştır. Bu gerilme değeri yapının giriş kısmında bulunan kapının sağ duvar dibinde gözlemlenmiştir (Şekil 47). Yapımız da sınır değerimiz $396,01 \text{ (kN/m}^2\text{) / } 1490 \text{ (kN/m}^2\text{) = \%26}$ kapasiteye ulaşmıştır.



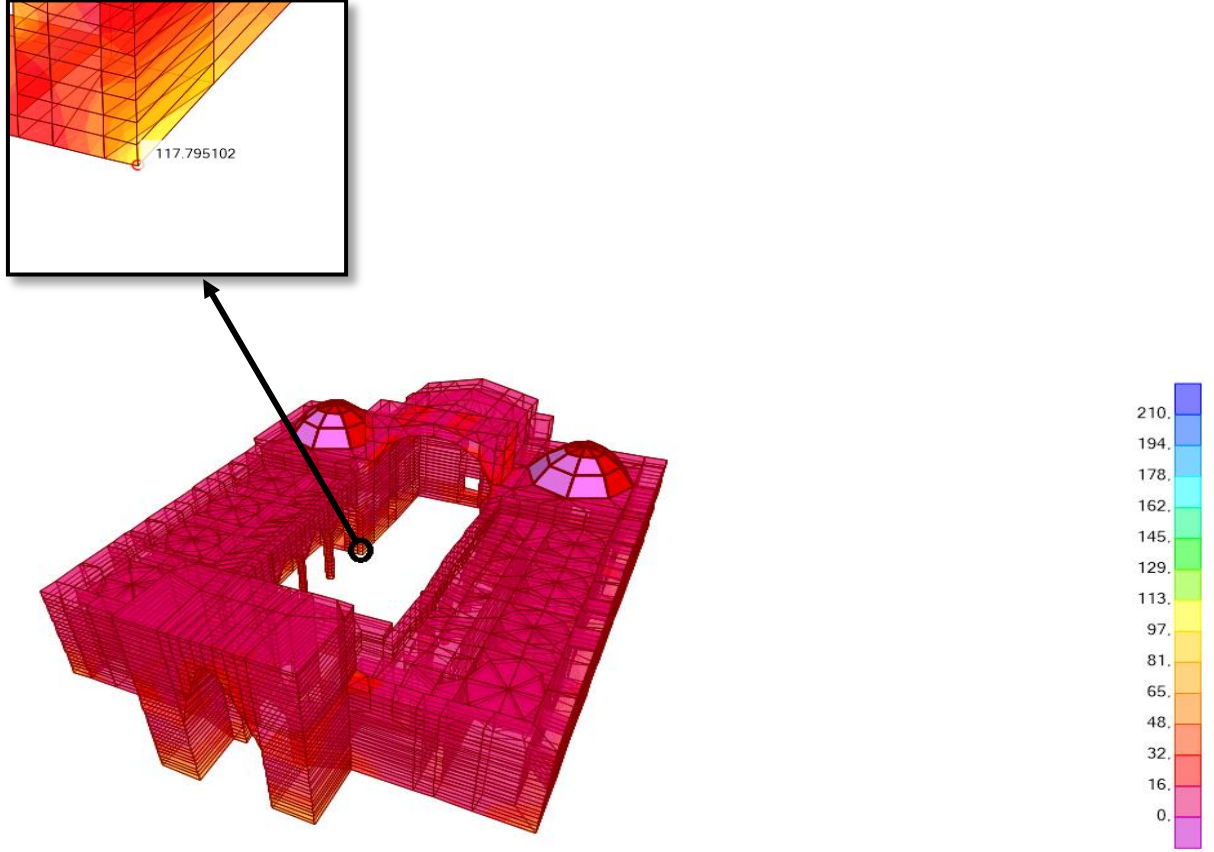
Şekil 47: Managua Depremi Etkisinde S33 Maksimum Çekme Gerilmeleri (U2 Yönünde)

Tez çalışmasının bu kısmında, Hatuniye Medresesi'ne Managua depremi 180° olacak şekilde ivme kayıtları uygulanmıştır (Şekil 48). 19156 deprem kaydının alındığı çalışmada saniye aralığı enerji yoğunluğunun fazla olduğu 0-10 sn aralığı seçilmiştir. Yapılan analizler sonucunda maksimum çekme ve maksimum basınç normal gerilme değerleri incelenmiştir.



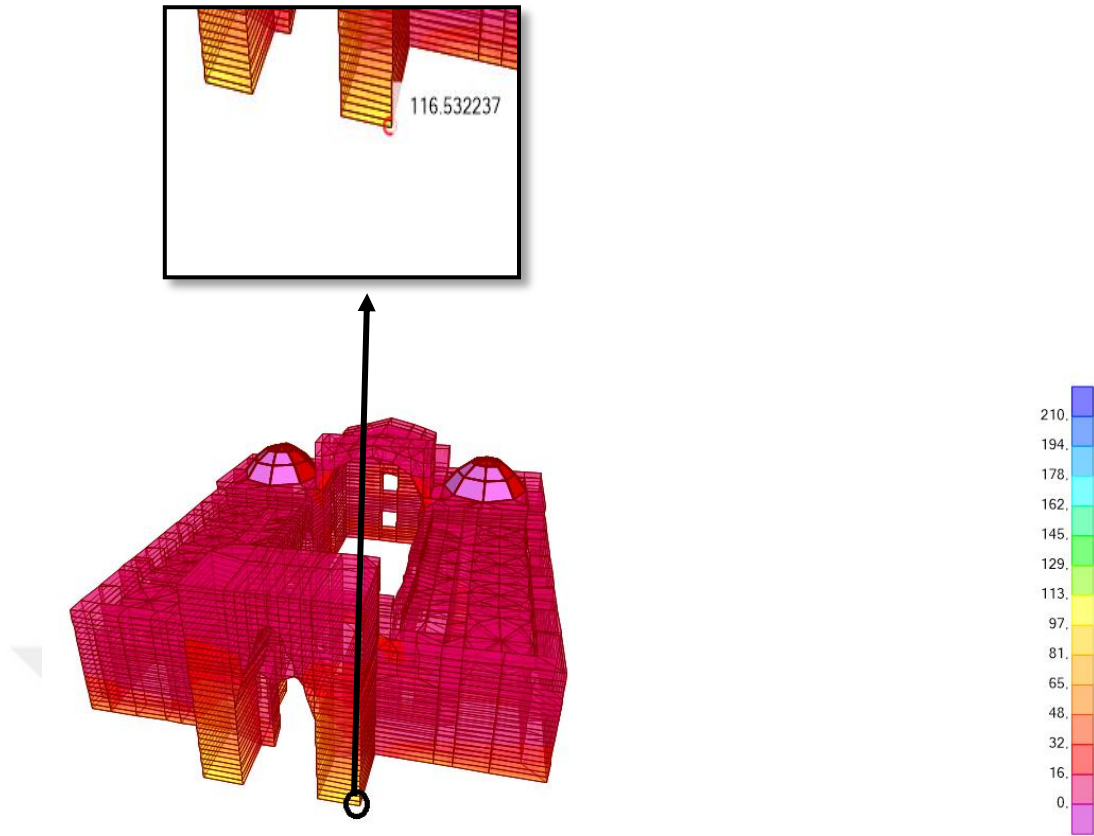
Şekil 48: Managua Depremi-2 İvme Kayıtları

Managua depremi etkisi altında S33 maksimum çekme gerilme değeri X yönünde 117,79 kN/m² olarak hesaplanmıştır. Bu gerilme değeri, yapının avlu kısmında bulunan üzeri kubbelerle örtülü odacıkların ayak diplerinde gözlemlenmiştir (Şekil 49). Yapımız da sınır değerimiz $117,79 \text{ (kN/m}^2\text{)} / 1490 \text{ (kN/m}^2\text{)} = \%7$ kapasiteye ulaşmıştır.



Şekil 49: Managua Depremi Etkisinde S33 Maksimum Çekme Gerilmeleri (U1 Yönünde)

Managua depremi etkisi altında S33 maksimum çekme gerilme değeri Y yönünde 116,53 kN/m² olarak hesaplanmıştır. Bu gerilme değeri yapının giriş kısmında bulunan kapının sağ duvar dibinde gözlemlenmiştir (Şekil 50). Yapımız da sınır değerimiz $116,53 \text{ (kN/m}^2\text{)} / 1490 \text{ (kN/m}^2\text{)} = \%7$ kapasiteye ulaşmıştır.



Şekil 50: Managua Depremi Etkisinde S33 Maksimum Çekme Gerilmeleri (U2 Yönünde)

3.11. COYOTAKE LAKE DEPREMİ

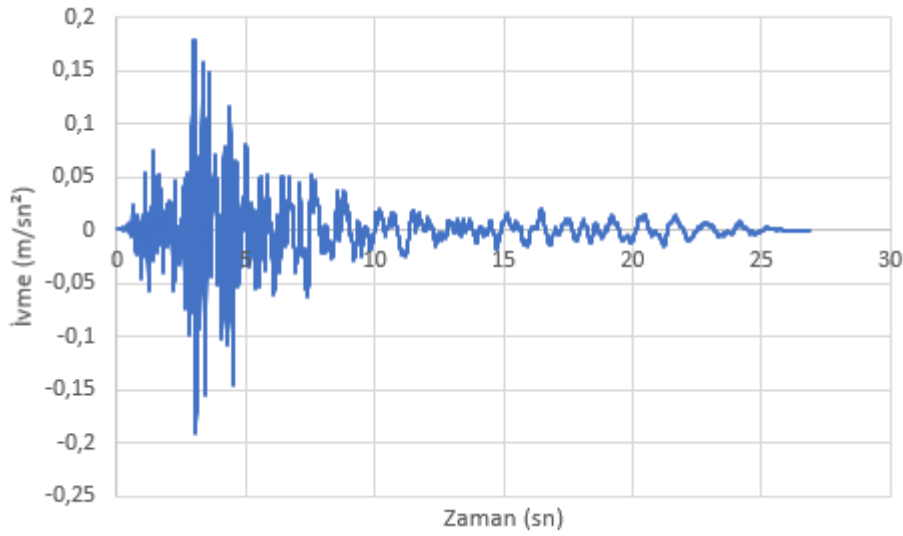
1979 Coyote Lake Depremi, 6 Ağustos 1979 tarihinde Kaliforniya'nın Santa Clara County bölgesinde, Calaveras Fay Hattı üzerinde meydana gelen ve büyüklüğü 5.74 olan önemli bir sismik olaydır.

3.11.1. Depremi Özellikleri

- **Tarih ve Saat:** 6 Ağustos 1979, 10:05 (PDT)
- **Büyüklük:** 5.74
- **Derinlik:** 10 km
- **Fay Tipi:** Sağ yanal (right-lateral) doğrultu atımlı (strike-slip)
- **Maksimum Mercalli Şiddeti:** VII (Çok Şiddetli)
- **Maksimum Yer Hızlanması (PGA):** 0.44 g
- **Etkilenen Bölgeler:** Gilroy ve Hollister şehirleri
- **Zarar:** Yaklaşık 500.000 Amerikan doları
- **Yaralı Sayısı:** 16 kişi

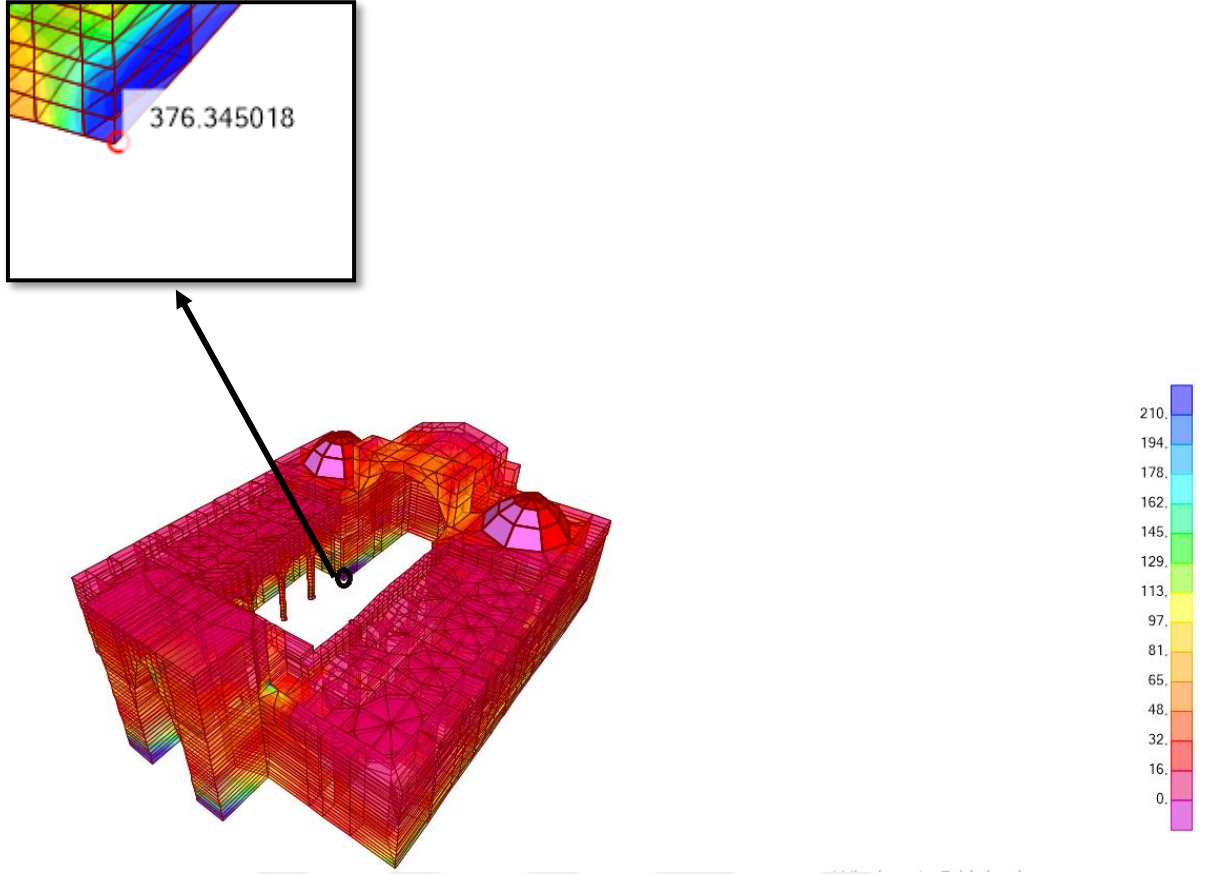
Deprem, özellikle Gilroy ve Hollister şehirlerinde yapısal olmayan hasarlara yol açmıştır. Gilroy’da eski binalarda tuğla duvarlar yıkılmış, camlar kırılmış ve beş bina yapısal hasar görmüştür. Hollister’da ise bir hukuk bürosunun parapeti çökmüş ve bir mağazanın tavanında çatlaklar oluşmuştur.

Çalışmanın bu kısmında Hatuniye Medresesi’ne Coyote Lake depremi Gillor Aray-2 istasyonu ivme kayıtları uygulanmıştır (Şekil 51). 10752 deprem kaydının alındığı çalışmada saniye aralığı enerji yoğunluğunun fazla olduğu 0-10 sn aralığı seçilmiştir. Yapılan analizler sonucunda maksimum çekme ve maksimum basınç normal gerilme değerleri incelenmiştir.



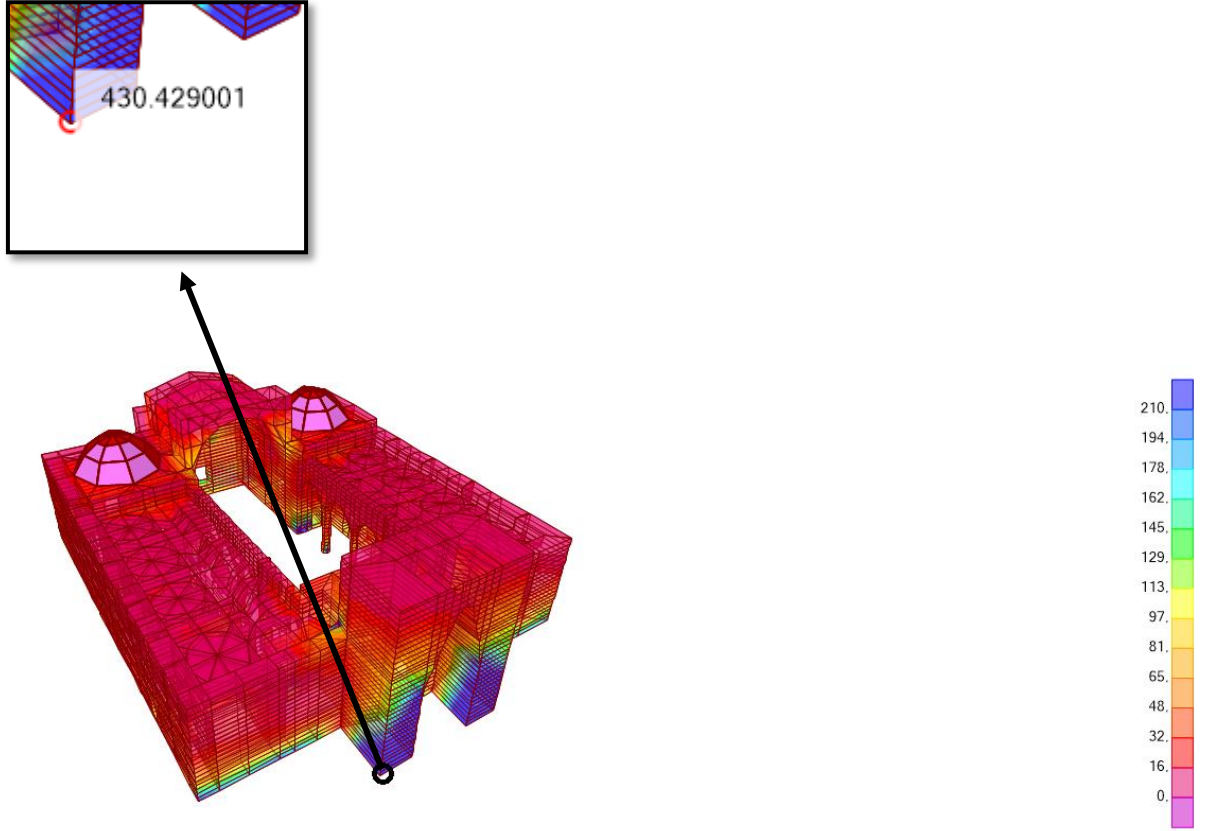
Şekil 51: Coyote Lake Depremi İvme Kayıtları

Coyote Lake depremi etkisi altında S33 maksimum çekme gerilme değeri X yönünde 376,34 kN/m² olarak hesaplanmıştır. Bu gerilme değeri, yapının avlu kısmında bulunan üzeri kubbelerle örtülü odacıkların ayak diplerinde gözlemlenmiştir (Şekil 52). Yapımız da sınır değerimiz $376,34 \text{ (kN/m}^2\text{)} / 1490 \text{ (kN/m}^2\text{)} = \%25$ kapasiteye ulaşmıştır.



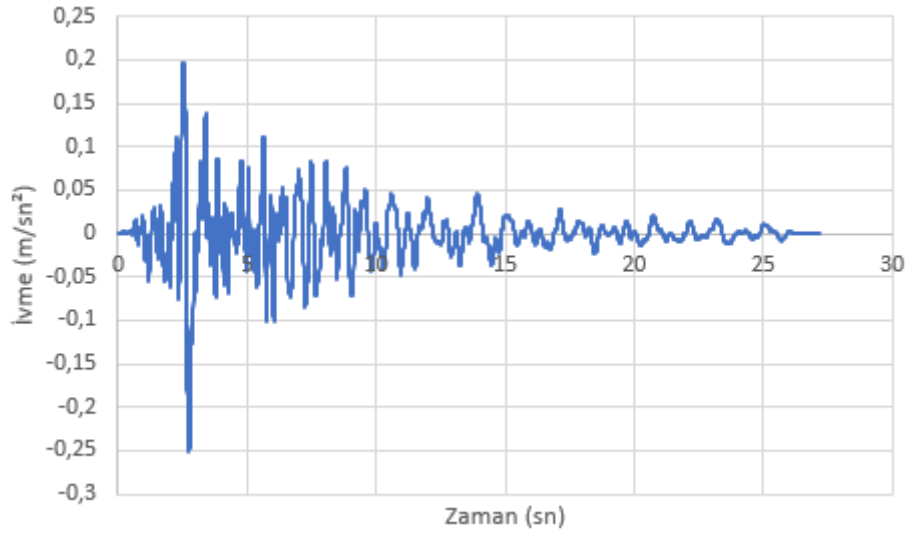
Şekil 52: Coyote Lake Depremi Etkisinde S33 Maksimum Çekme Gerilmeleri (U1 Yönünde)

Coyote Lake depremi etkisi altında S33 maksimum çekme gerilme değeri Y yönünde 430,43 kN/m² olarak hesaplanmıştır. Bu gerilme değeri yapının giriş kısmında bulunan kapının sol duvar dibinde gözlemlenmiştir (Şekil 53). Yapımız da sınır değerimiz 430,43 (kN/m²) /1490 (kN/m²) = %29 kapasiteye ulaşmıştır.



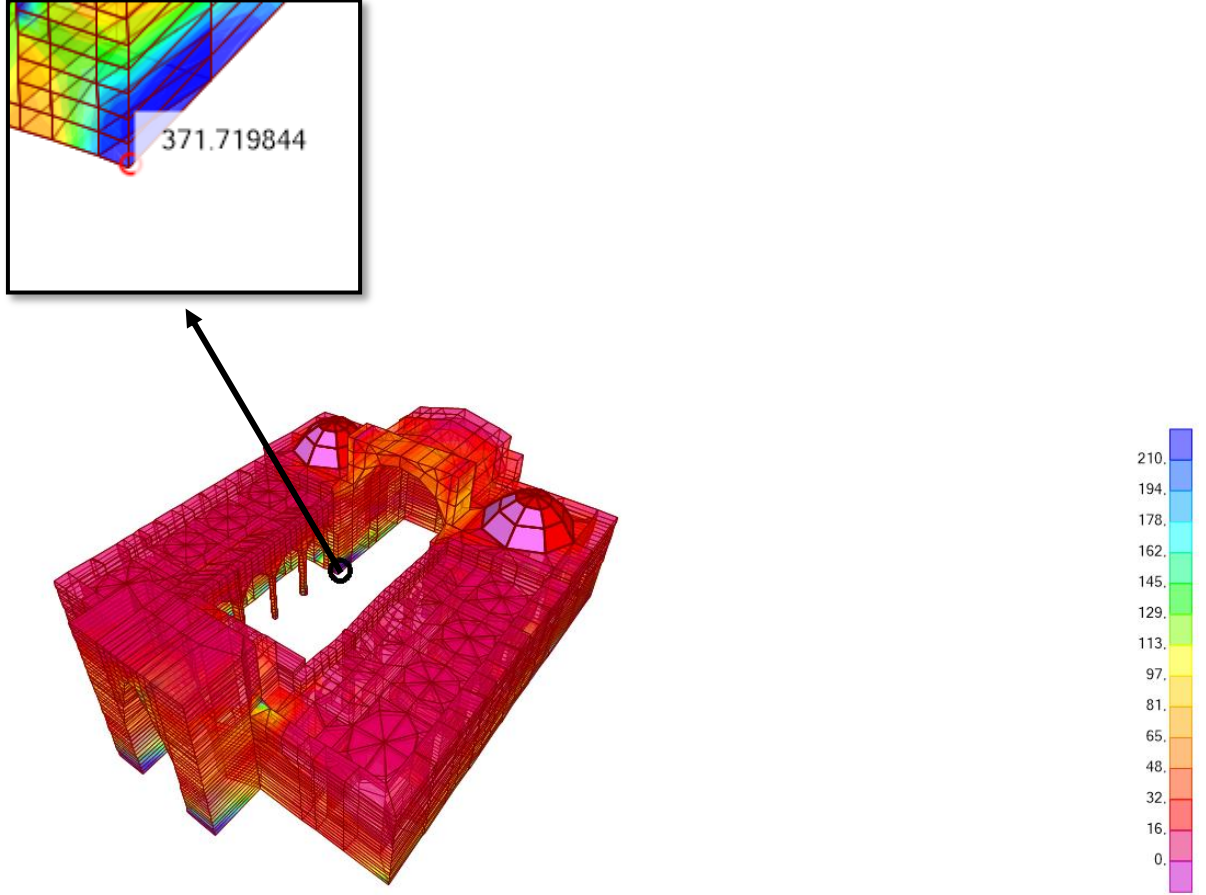
Şekil 53: Coyote Lake Depremi Etkisinde S33 Maksimum Çekme Gerilmeleri (U2 Yönünde)

Çalışmanın bu kısmında Hatuniye Medresesi'ne Coyote Lake depremi Gillor Aray-4 istasyonu ivme kayıtları uygulanmıştır (Şekil 54). 10884 deprem kaydının alındığı çalışmada saniye aralığı enerji yoğunluğunun fazla olduğu 0-10 sn aralığı seçilmiştir. Yapılan analizler sonucunda maksimum çekme ve maksimum basınç normal gerilme değerleri incelenmiştir.



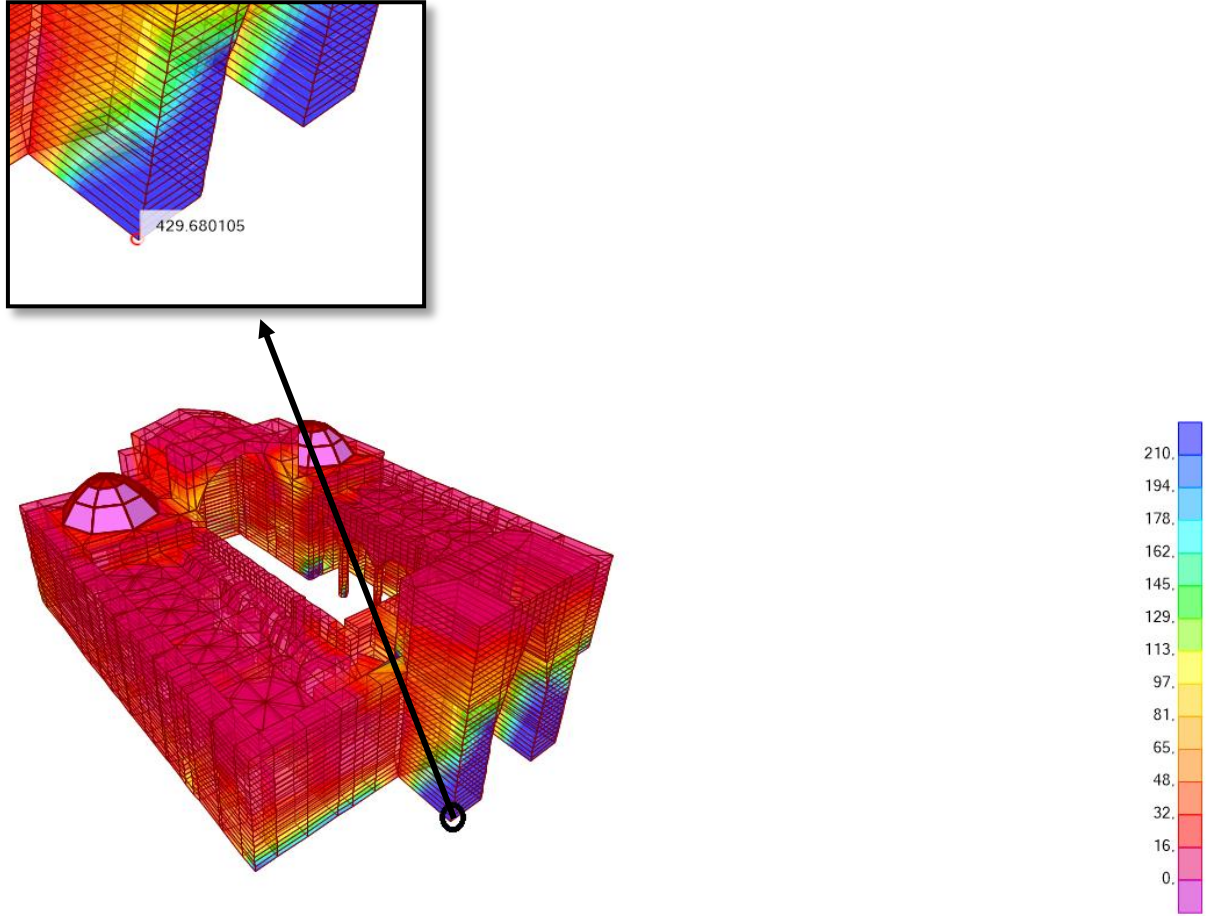
Şekil 54: Gillor Aray-4 İstasyonu Coyote Lake Depremi İvme Kayıtları

Coyote Lake depremi etkisi altında S33 maksimum çekme gerilme değeri X yönünde 371,72 kN/m² olarak hesaplanmıştır. Bu gerilme değeri, yapının avlu kısmında bulunan üzeri kubbelerle örtülü odacıkların ayak diplerinde gözlemlenmiştir (Şekil 55). Yapımız da sınır değerimiz $371,72 \text{ (kN/m}^2\text{)} / 1490 \text{ (kN/m}^2\text{)} = \%25$ kapasiteye ulaşmıştır.



Şekil 55: Coyote Lake Depremi Etkisinde S33 Maksimum Çekme Gerilmeleri (U1 Yönünde)

Coyote Lake depremi etkisi altında S33 maksimum çekme gerilme değeri Y yönünde 429,68 kN/m² olarak hesaplanmıştır. Bu gerilme değeri yapının giriş kısmında bulunan kapının sol duvar dibinde gözlemlenmiştir (Şekil 56). Yapımız da sınır değerimiz $429,68 \text{ (kN/m}^2\text{)} / 1490 \text{ (kN/m}^2\text{)} = \%29$ kapasiteye ulaşmıştır.



Şekil 56: Coyote Lake Depremi Etkisinde S33 Maksimum Çekme Gerilmeleri (U2 Yönünde)

3.12. IMPERIAL VALLEY DEPREMİ

1979 Imperial Valley Depremi, 15 Ekim 1979'da Kaliforniya'nın güneydoğusunda, ABD-Meksika sınırına yakın bir bölgede meydana gelen önemli bir sismik olaydır. Bu deprem, Kaliforniya'da 1971 San Fernando Depremi'nden sonra gerçekleşen en büyük sismik olay olarak kaydedilmiştir.

3.12.1. Depremin Özellikleri

- **Tarih ve Saat:** 15 Ekim 1979, 16:16 PDT (23:16 UTC)
- **Büyüklik:** 6.53 (moment büyüklüğü)
- **Derinlik:** 11,6 km
- **Fay Tipi:** Sağ yanal doğrultu atımlı (right-lateral strike-slip)
- **Etkilenen Bölgeler:** Imperial Vadisi (ABD), Mexicali Vadisi (Meksika)
- **Zarar:** Yaklaşık 30 milyon Amerikan doları
- **Yaralı Sayısı:** 91 kişi
- **Can Kaybı:** Yok

3.12.2. Zarar ve Etkiler

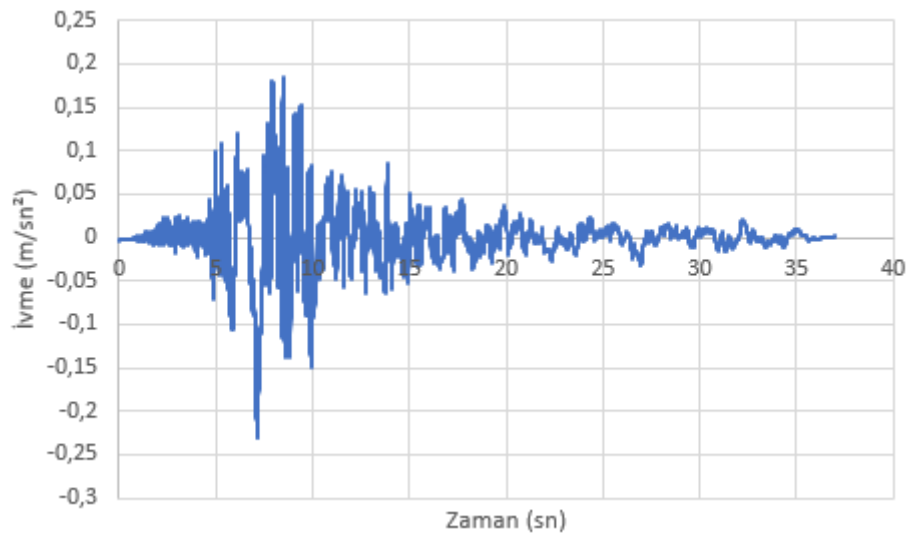
Deprem, özellikle El Centro ve Brawley şehirlerinde yapısal hasara yol açmıştır. El Centro'daki Imperial County Services binası, depreme en fazla maruz kalan yapıdır ve bu bina, sismik hareketleri kaydetmek için donatılmıştı. Bina, depreme dayanamayarak ciddi şekilde hasar görmüş ve sonunda yıkılmıştır. Bu olay, sismik mühendislik ve yapı tasarımı alanında önemli dersler çıkarılmasına neden olmuştur.

Deprem ayrıca, All-American Kanalı gibi sulama altyapısına da zarar vermiştir. Kanalın 13 km'lik bir bölümü yer değiştirmiş ve su akışı geçici olarak kesilmiştir. Ancak, hasar hızla onarılmış ve sulama sistemi kısa süre içinde tekrar faaliyete geçmiştir.

3.12.3. Bilimsel Önemi

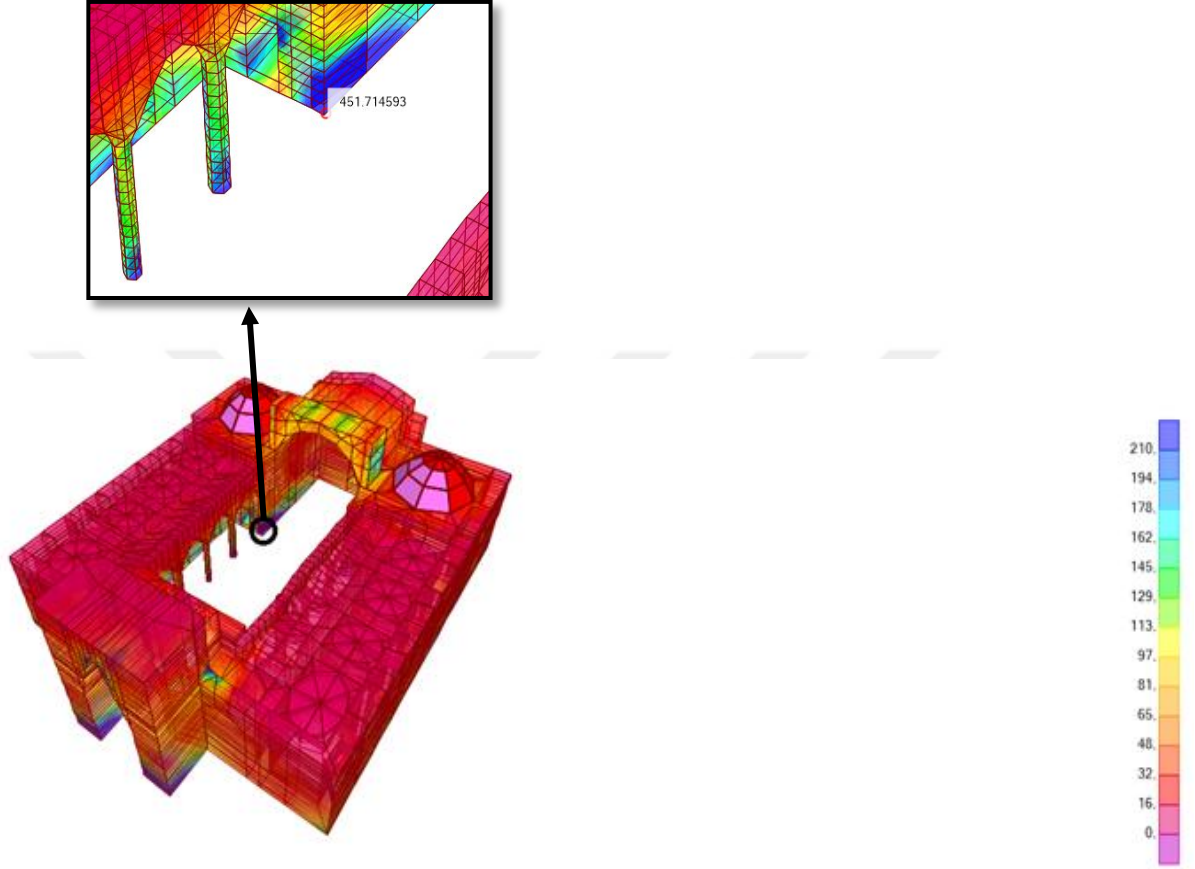
Deprem, sismologlar için önemli bir araştırma konusu olmuştur. Depremi merkez üssü, Imperial Fay Hattı üzerinde yer almakta olup, bu bölge sık sık sismik aktivite göstermektedir. Deprem, ayrıca, sismik dalgaların yerel jeolojik yapılar tarafından nasıl odaklandığını incelemek için bir fırsat sunmuştur. Özellikle, USGS Station 6'da kaydedilen 1.74 g'lik dikey ivme, o zamana kadar bir deprem sonucu kaydedilen en yüksek ivme olarak dikkat çekmiştir. Bu anomali, yerel jeolojik yapıların sismik dalgaları nasıl odakladığını anlamak için yapılan araştırmalara ilham vermiştir.

Çalışmanın bu kısmında Hatuniye Medresesi'ne Imperial Valley depremi El Centro Array İstasyonundan alınan ivme kayıtları uygulanmıştır (Şekil 57). 14806 deprem kaydının alındığı çalışmada saniye aralığı enerji yoğunluğunun fazla olduğu 4-14 sn aralığı seçilmiştir. Yapılan analizler sonucunda maksimum çekme ve maksimum basınç normal gerilme değerleri incelenmiştir.



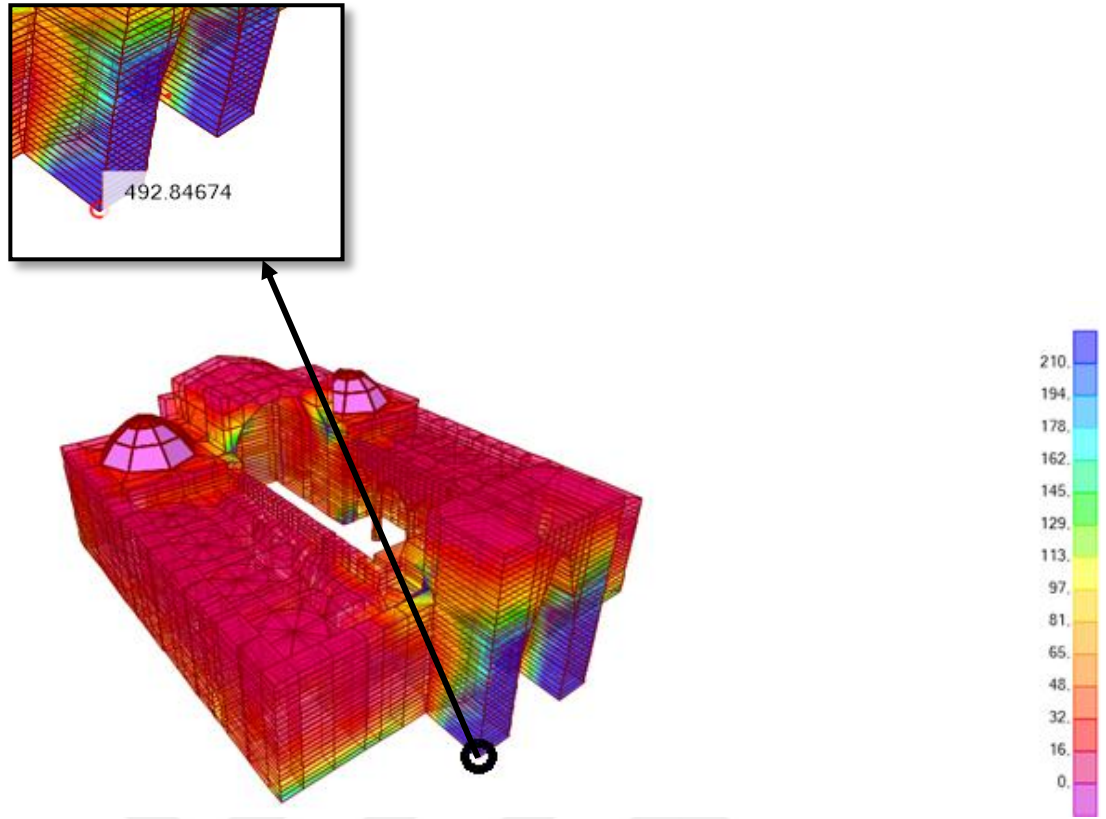
Şekil 57: Imperial Depremi İvme Kayıtları

Imperial depremi etkisi altında S33 maksimum çekme gerilme değeri X yönünde 451,71 kN/m² olarak hesaplanmıştır. Bu gerilme değeri, yapının avlu kısmında bulunan üzeri kubbelilerle örtülü odacıkların ayak diplerinde gözlemlenmiştir (Şekil 58). Yapımız da sınır değerimiz 451,71 (kN/m²) /1490 (kN/m²) = %30 kapasiteye ulaşmıştır.



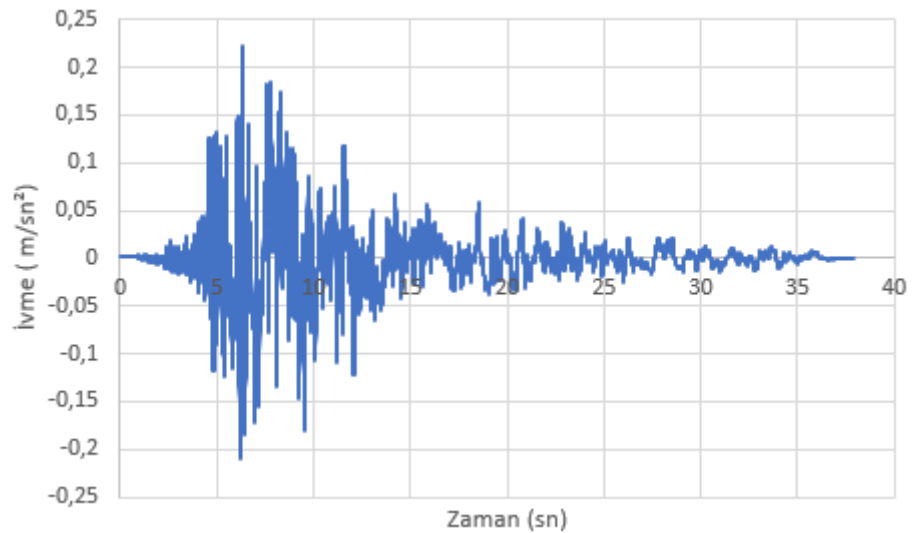
Şekil 58: Imperial Depremi Etkisinde S33 Maksimum Çekme Gerilmeleri (U1 Yönünde)

Imperial Valley depremi etkisi altında S33 maksimum çekme gerilme değeri Y yönünde 492,84 kN/m² olarak hesaplanmıştır. Bu gerilme değeri yapının giriş kısmında bulunan kapının sol duvar dibinde gözlemlenmiştir (Şekil 59). Yapımız da sınır değerimiz 492,84 (kN/m²) /1490 (kN/m²) = %33 kapasiteye ulaşmıştır.



Şekil 59: Imperial Depremi Etkisinde S33 Maksimum Çekme Gerilmeleri (U2 Yönünde)

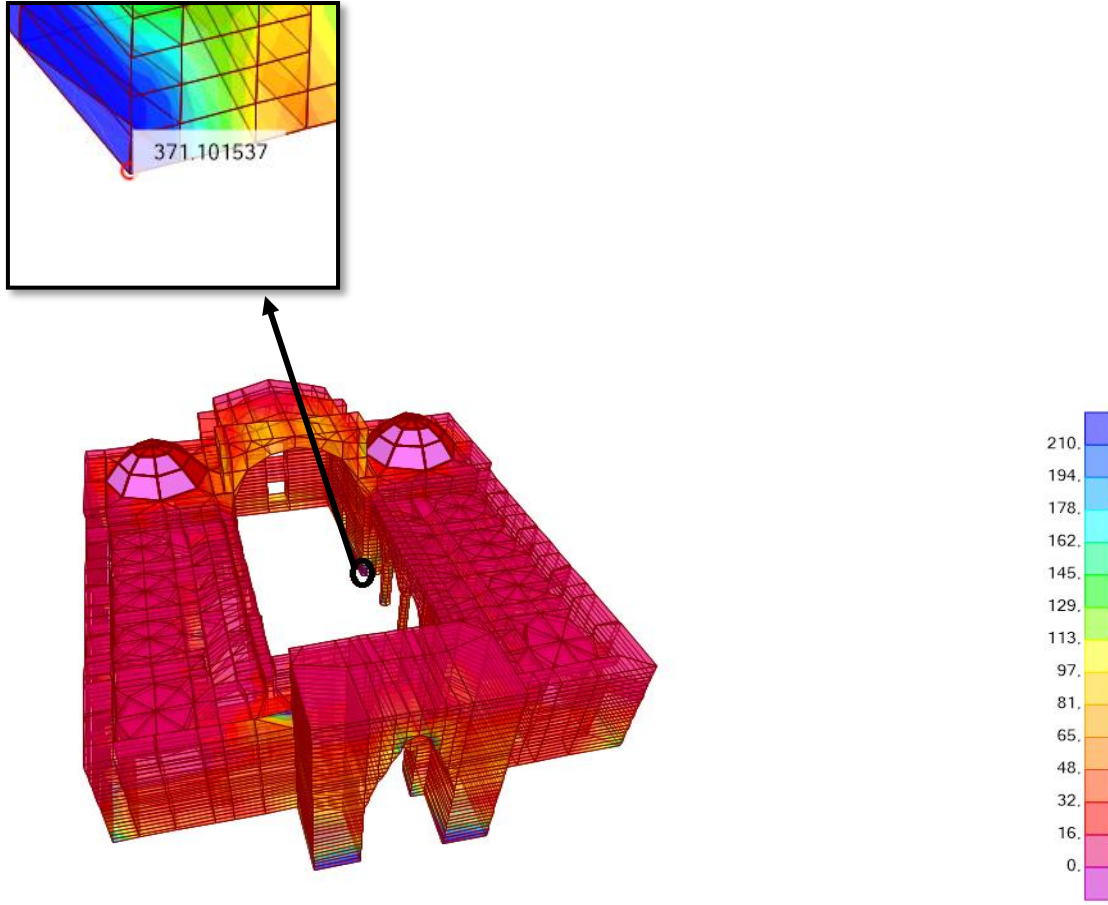
Çalışmanın bu kısmında Hatuniye Medresesi'ne Imperial Valley depremi Holtville Post Office istasyonundan alınan ivme kayıtları uygulanmıştır (Şekil 60). 15152 deprem kaydının alındığı çalışmada saniye aralığı enerji yoğunluğunun fazla olduğu 4-14 sn aralığı seçilmiştir. Yapılan analizler sonucunda maksimum çekme ve maksimum basınç normal gerilme değerleri incelenmiştir.



Şekil 60: Imperial Depremi Holtville Office İstasyon İvme Kayıtları

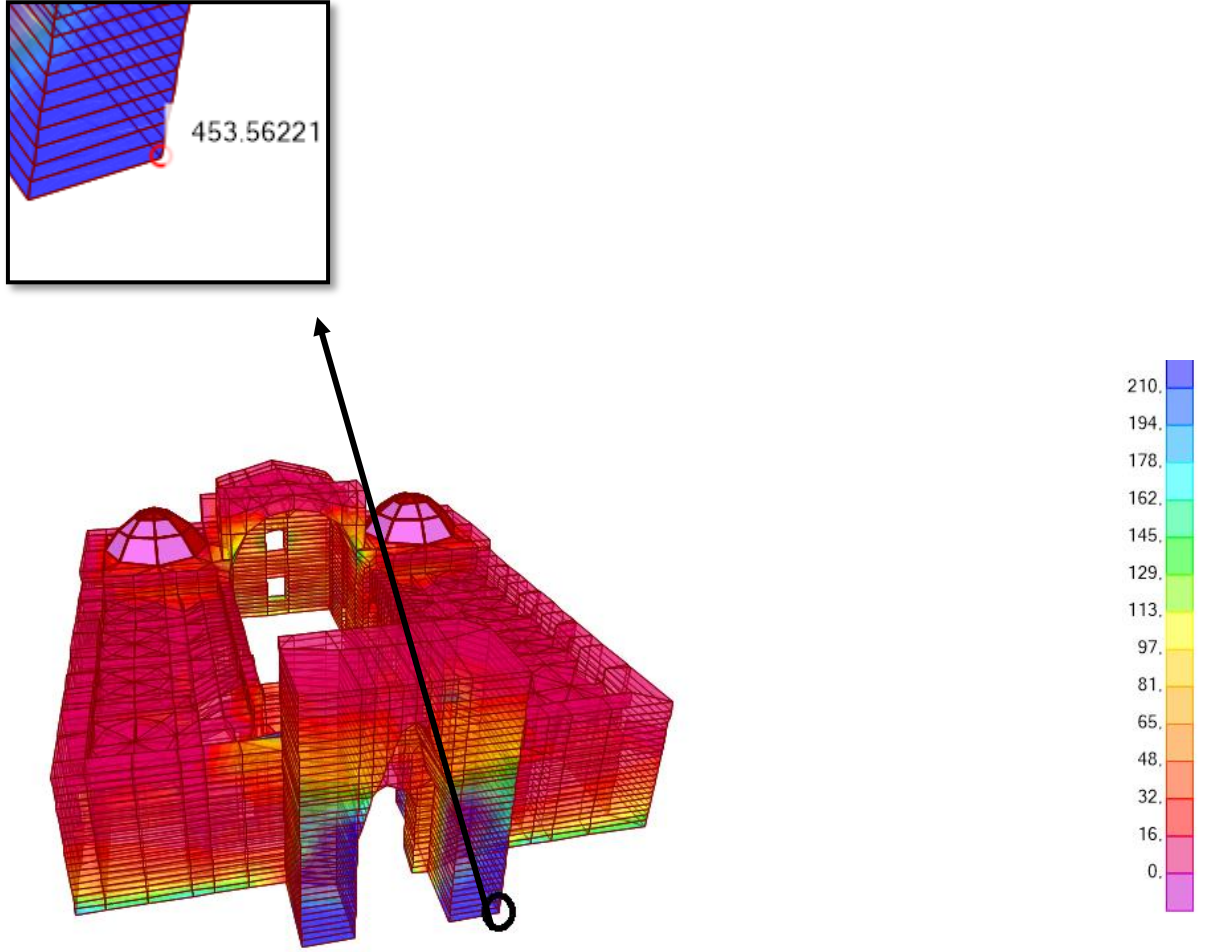
Imperial depremi etkisi altında S33 maksimum çekme gerilme değeri X yönünde 371,10 kN/m² olarak hesaplanmıştır. Bu gerilme değeri, yapının avlu kısmında bulunan üzeri

kubbelerle örtülü odacıkların ayak diplerinde gözlemlenmiştir (Şekil 61). Yapımız da sınır değerimiz $371,10 \text{ (kN/m}^2\text{)} / 1490 \text{ (kN/m}^2\text{)} = \%25$ kapasiteye ulaşmıştır.



Şekil 61: Imperial Depremi Etkisinde S33 Maksimum Çekme Gerilmeleri (U1 Yönünde)

Imperial Valley depremi etkisi altında S33 maksimum çekme gerilme değeri Y yönünde $453,56 \text{ kN/m}^2$ olarak hesaplanmıştır. Bu gerilme değeri yapının giriş kısmında bulunan kapının sağ duvar dibinde gözlemlenmiştir (Şekil 62). Yapımız da sınır değerimiz $453,56 \text{ (kN/m}^2\text{)} / 1490 \text{ (kN/m}^2\text{)} = \%30$ kapasiteye ulaşmıştır.



Şekil 62: Imperial Depremi Etkisinde S33 Maksimum Çekme Gerilmeleri (U2 Yönünde)

3.13. SUPERSTITION HILLS DEPREMİ

1987 Superstition Hills Depremi, 23–24 Kasım 1987 tarihlerinde Kaliforniya'nın Imperial Vadisi ve Meksika'nın Baja California bölgesinde meydana gelen ve bölge tarihindeki önemli sismik olaylardan biri olarak kaydedilen bir dizi depremdir.

3.13.1. Depremin Özellikleri

Tarih ve Saat:

- Elmore Ranch (öncü deprem): 23 Kasım 1987, 17:54 PST (24 Kasım 1987, 01:54 UTC)
- Superstition Hills (ana deprem): 24 Kasım 1987, 05:15 PST (13:15 UTC)

Büyüklik:

- Elmore Ranch: M6.2
- Superstition Hills: M6.54

Fay Tipi:

- Elmore Ranch: Sol yanal doğrultu atımlı (left-lateral strike-slip)
- Superstition Hills: Sağ yanal doğrultu atımlı (right-lateral strike-slip)

Etkilenen Bölgeler:

- ABD: Imperial, El Centro, Westmorland, Calexico, Calipatria, Heber, Holtville, Imperial County
- Meksika: Mexicali

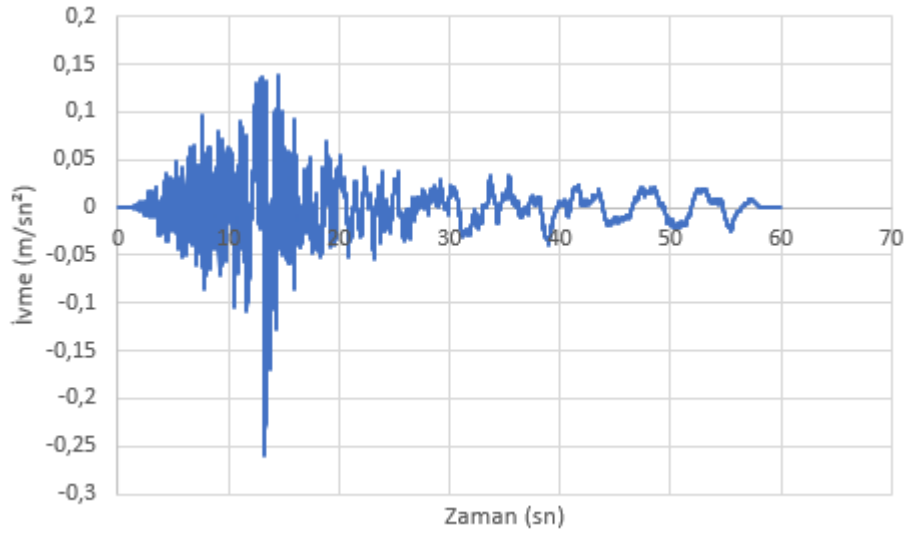
3.13.2. Zarar ve Etkiler**Can ve Mal Kaybı:**

- Ölü Sayısı: 2 (Mexicali’de bir anne ve çocuğu, tahliye sırasında bir araca çarptı)
- Yaralı Sayısı: 94 (50 Mexicali, 44 Imperial County)

Yapısal Zararlar:

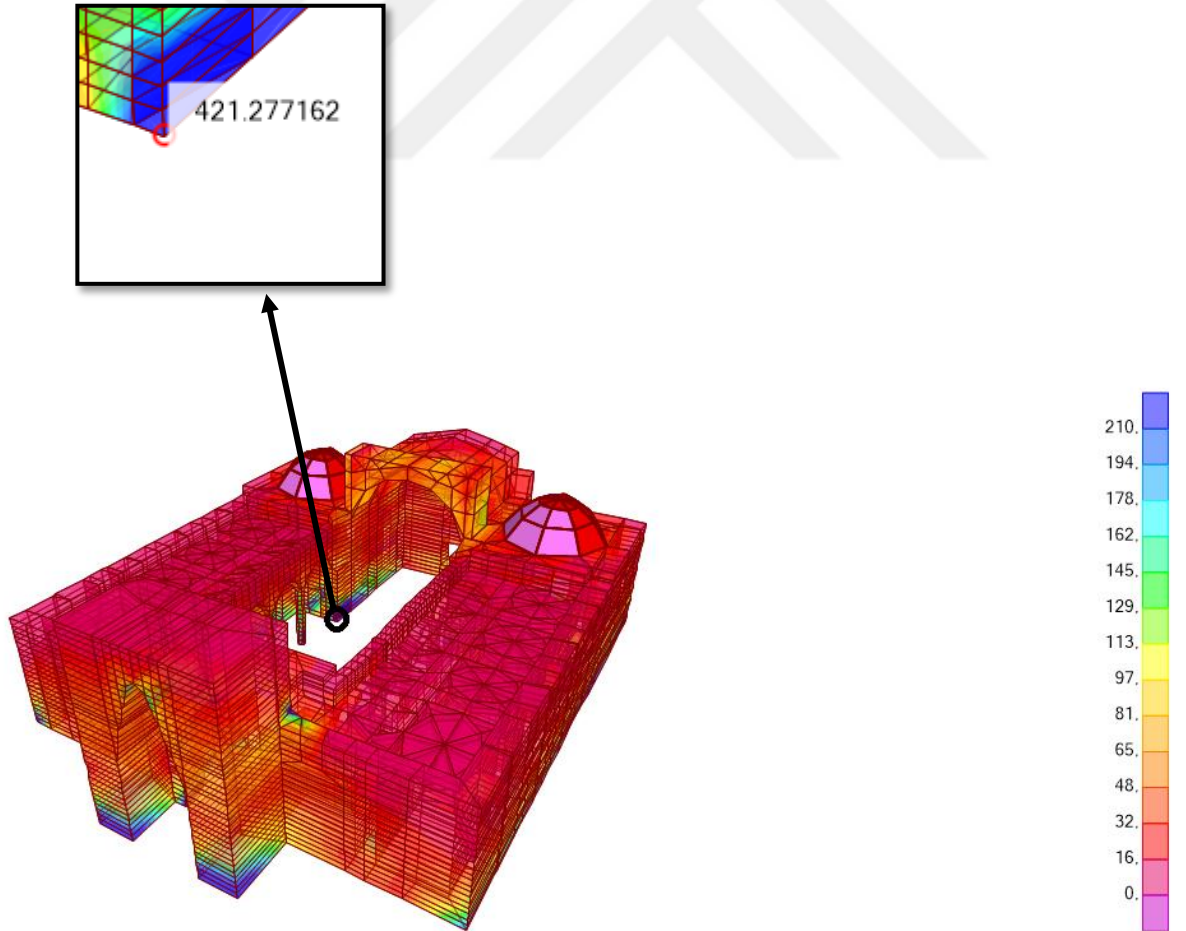
- El Centro, Imperial ve Westmorland şehirlerinde: Çöken bacalar, kırılan pencereler, su ve gaz borularının patlaması, çatlayan yollar.
- Calexico’da: Bir tuğla duvarın araçların üzerine devrilmesi.
- Imperial County hizmet binası: Yapısal olarak sağlam kaldı.
- Desert Test Range Control Center: Su tanklarının devrilmesi nedeniyle faaliyetler birkaç gün süreyle askıya alındı.

Çalışmanın bu kısmında Hatuniye Medresesi’ne Superstition Hills depremi Calipatria Fire Station istasyonundan alınan ivme kayıtları uygulanmıştır (Şekil 63). 23998 deprem kaydının alındığı çalışmada saniye aralığı enerji yoğunluğunun fazla olduğu 5-20 sn aralığı seçilmiştir. Yapılan analizler sonucunda maksimum çekme ve maksimum basınç normal gerilme değerleri incelenmiştir.



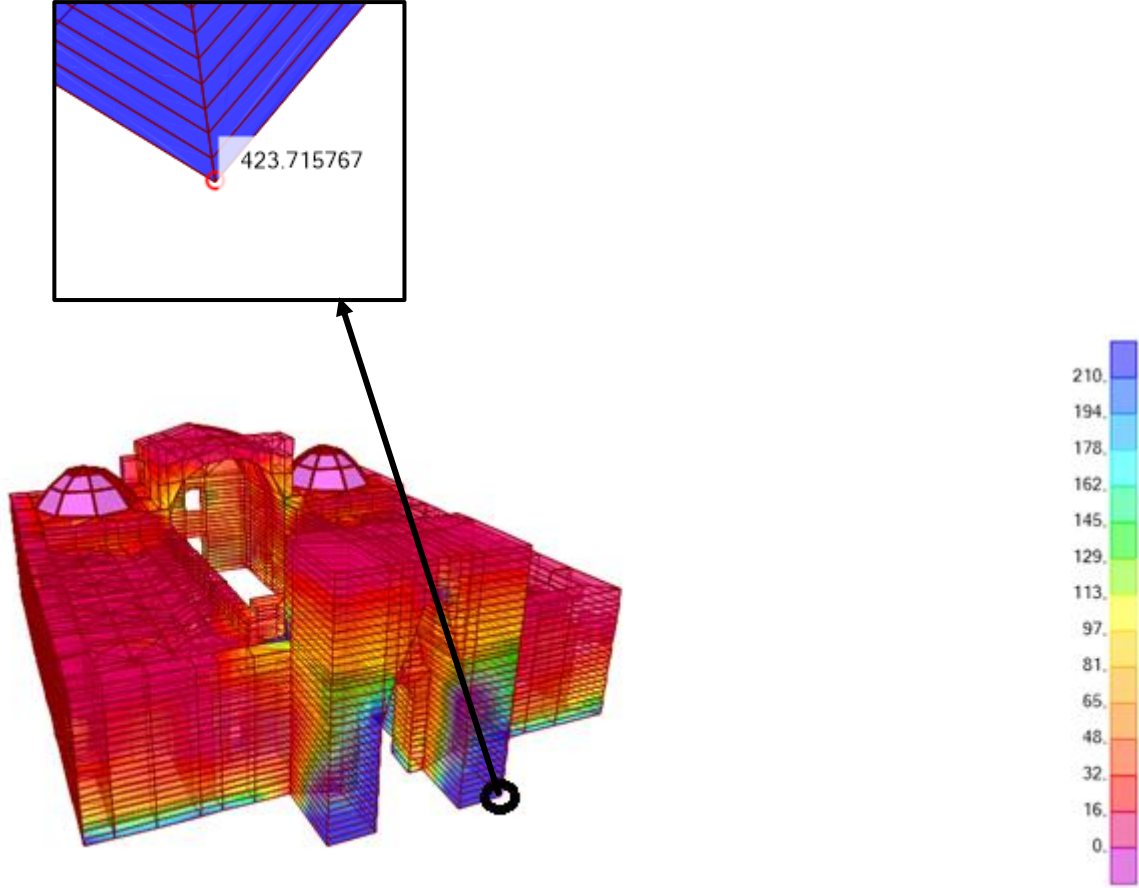
Şekil 63: Calipatria Fire Station İstasyonundan Alınan İvme Kayıtları

Superstition Hills Depremi depremi etkisi altında S33 maksimum çekme gerilme değeri X yönünde 421,27 kN/m² olarak hesaplanmıştır. Bu gerilme değeri, yapının avlu kısmında bulunan üzeri kubbelerle örtülü odacıkların ayak diplerinde gözlemlenmiştir (Şekil 64). Yapımız da sınır değerimiz 421,27 (kN/m²) / 1490 (kN/m²) = %28 kapasiteye ulaşmıştır.



Şekil 64: Superstition Hills Depremi Etkisinde S33 Maksimum Çekme Gerilmeleri (U1 Yönünde)

Superstition Hills depremi etkisi altında S33 maksimum çekme gerilme değeri Y yönünde 423,71 kN/m² olarak hesaplanmıştır. Bu gerilme değeri yapının giriş kısmında bulunan kapının sol duvar dibinde gözlemlenmiştir (Şekil 65). Yapımız da sınır değerimiz 423,71 (kN/m²) /1490 (kN/m²) = %28 kapasiteye ulaşmıştır.



Şekil 65: Superstition Hills Depremi Etkisinde S33 Maksimum Çekme Gerilmeleri (U2 Yönünde)

3.14. JOSHUA TREE DEPREMİ

Joshua Tree, Kaliforniya'nın güneyinde, özellikle 1992'de meydana gelen büyük bir depremle tanınır. Bu deprem, Joshua Tree kasabasının yakınlarında, Little San Bernardino Dağları'nda, Eureka Peak Fay Hattı üzerinde gerçekleşmiştir.

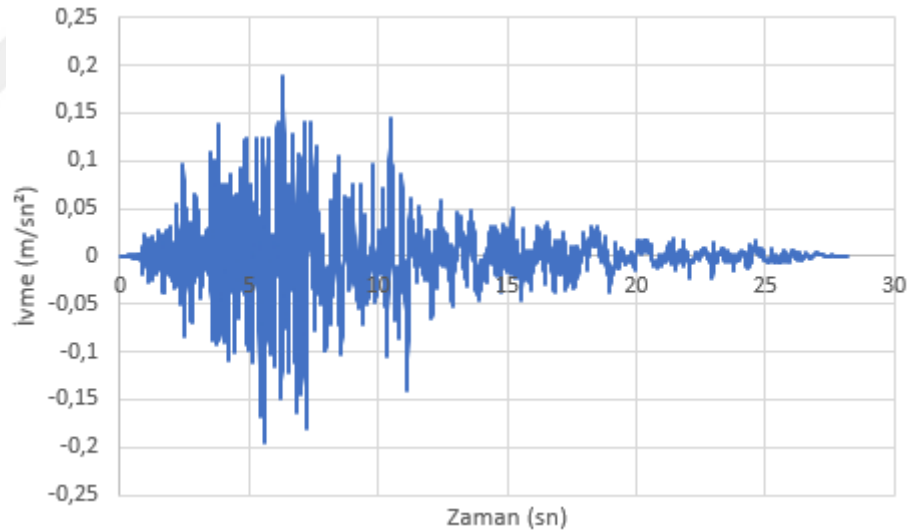
3.14.1. 1992 Joshua Tree Depremi

- **Tarih ve Saat:** 22 Nisan 1992, 21:50 PDT (23 Nisan 2025, TSİ 06:50)
- **Büyüklik:** 6.1 Mw
- **Derinlik:** 12.4 km
- **Fay Tipi:** Sağ-lateral (right-lateral) doğrultu atımlı

- **Etkilenen Bölgeler:** Joshua Tree, Yucca Valley, Desert Hot Springs, Palm Springs, Twentynine Palms ve çevresi
- **Zararlar:** 32 yaralı, hafif ila orta düzeyde yapısal hasar
- **Artçı Sarsıntılar:** 6.000'den fazla, en büyüğü 4.8 büyüklüğünde

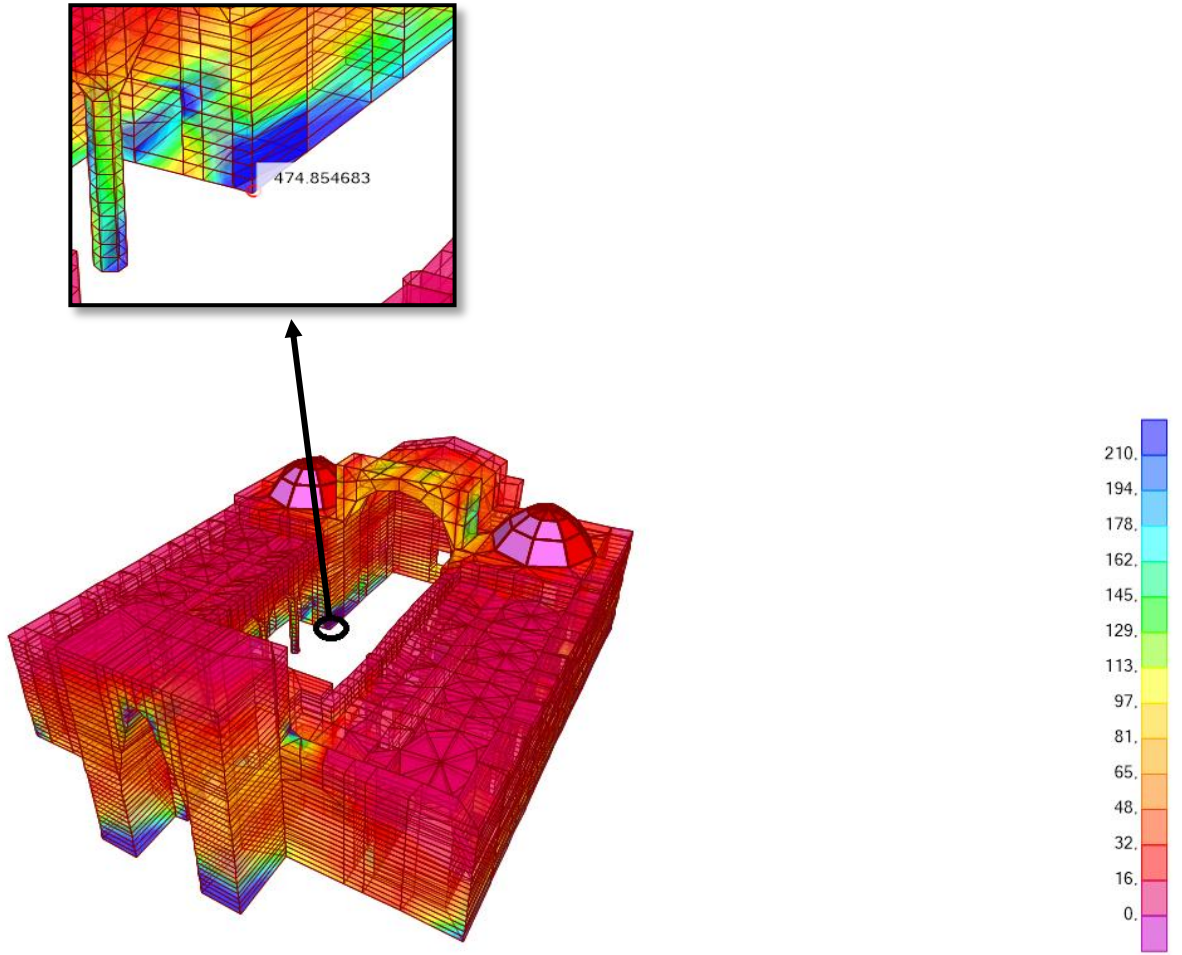
Bu deprem, özellikle San Andreas Fay Hattı'na yakınlığı nedeniyle büyük bir öneme sahiptir. Depremi ardından bölgede daha büyük bir sarsıntı olasılığına karşı alarm durumuna geçilmiş, ancak iki ay sonra 28 Haziran 1992'de gerçekleşen Landers Depremi (7.3 Mw) ve ardından Big Bear Depremi (6.3 Mw) bu endişeleri doğrulamıştır. Bu üç büyük sarsıntı, 1992 Joshua Tree-Landers-Big Bear Deprem Serisi olarak bilinir ve Kaliforniya'nın güneyinde önemli bir sismik etkinlik dönemini işaret eder.

Çalışmanın bu kısmında Hatuniye Medresesi'ne Joshua Tree Thousand Palms Post Office depremi istasyonundan alınan ivme kayıtları uygulanmıştır (Şekil 66). 11280 deprem kaydının alındığı çalışmada saniye aralığı enerji yoğunluğunun fazla olduğu 0-10 sn aralığı seçilmiştir. Yapılan analizler sonucunda maksimum çekme ve maksimum basınç normal gerilme değerleri incelenmiştir.



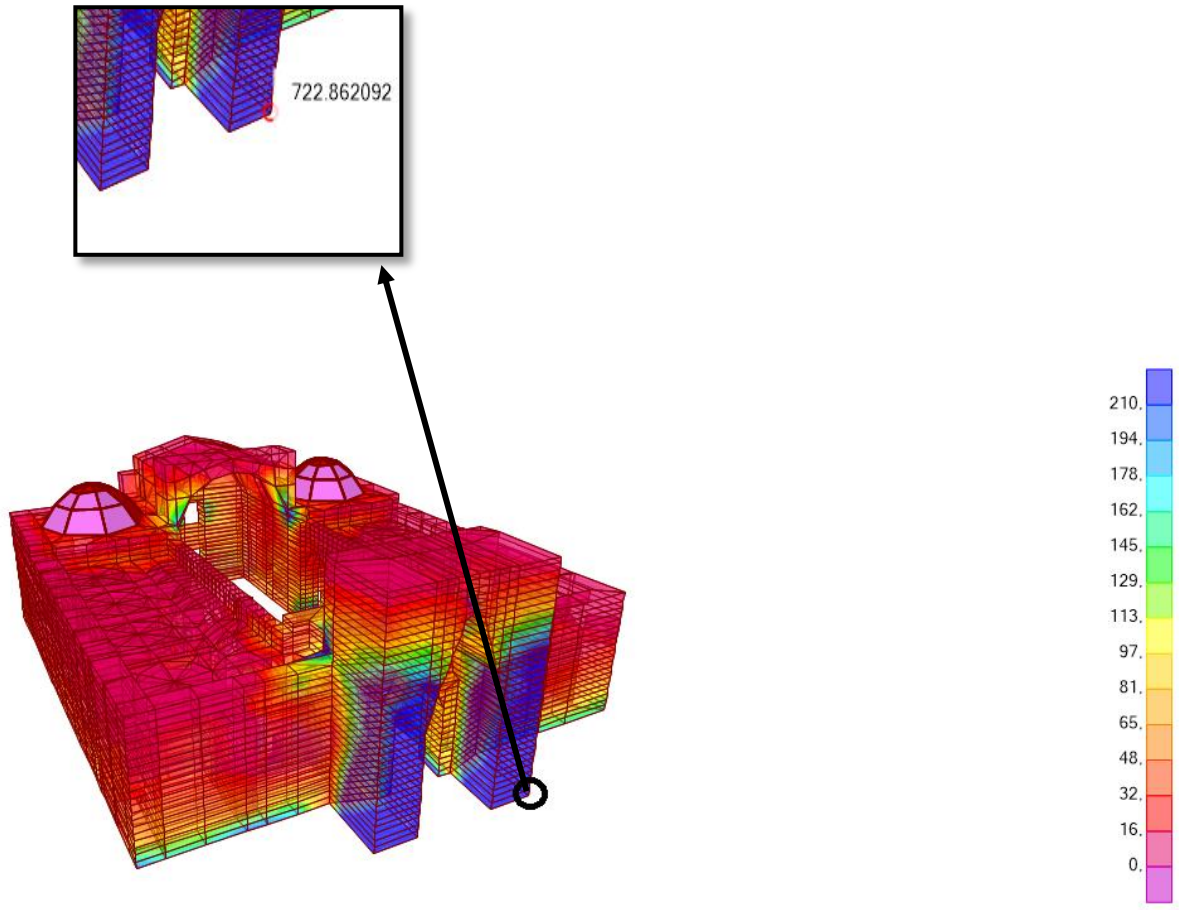
Şekil 66: Joshua Tree Depremi İvme Kayıtları

Joshua Tree Depremi depremi etkisi altında S33 maksimum çekme gerilme değeri X yönünde $474,85 \text{ kN/m}^2$ olarak hesaplanmıştır. Bu gerilme değeri, yapının avlu kısmında bulunan üzeri kubbelerle örtülü odacıkların ayak diplerinde gözlemlenmiştir (Şekil 67). Yapımız da sınır değerimiz $474,85 \text{ (kN/m}^2) / 1490 \text{ (kN/m}^2) = \%31$ kapasiteye ulaşmıştır.



Şekil 67: Joshua Tree Depremi Etkisinde S33 Maksimum Çekme Gerilmeleri (U1 Yönünde)

Joshua Tree depremi etkisi altında S33 maksimum çekme gerilme değeri Y yönünde $722,86 \text{ kN/m}^2$ olarak hesaplanmıştır. Bu gerilme değeri yapının giriş kısmında bulunan kapının sol duvar dibinde gözlemlenmiştir (Şekil 68). Yapımız da sınır değerimiz $722,86 \text{ (kN/m}^2) / 1490 \text{ (kN/m}^2) = \%49$ kapasiteye ulaşmıştır.



Şekil 68: Joshua Tree Depremi Etkisinde S33 Maksimum Çekme Gerilmeleri (U2 Yönünde)

Sonuç olarak PEER ve AFAD’tan alınan deprem verilerine ilişkin 11 adet deprem verisi ile elde edilen maksimum çekme gerilmeleri ile x ve y yönünde sınır değerlerimiz Tablo 7’de gösterilmiştir.

Tablo 7: Depremlerin Çekme Gerilme Değeri Bakımından Karşılaştırılması

DEPREM ADI	S33 X YÖNÜNDE MAKSİMUM ÇEKME GERİLME DEĞERİ	S33 Y YÖNÜNDE MAKSİMUM ÇEKME GERİLME DEĞERİ	X YÖNÜNDE SINIR DEĞERİMİZ	Y YÖNÜNDE SINIR DEĞERİMİZ
KOBE	391.12	351.68	26%	23%
KOCAELİ	412.83	318.8	27%	21%
EL MAYOR CUCAPAH	672.63	718.84	45%	48%
MANAGUA	420.62	396.01	28%	26%
MANAGUA	117.79	116.53	7%	7%
COYOTA LAKE	376.34	430.42	25%	29%
COYOTA LAKE	371.72	429.68	25%	29%
IMPREIAL VALLEY	451.71	492.84	30%	33%
IMPREIAL VALLEY	371.10	453.56	25%	30%
SUPERSTITION HILLS	421.83	423.71	28%	28%

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, Osmanlı dönemine ait önemli bir kültürel miras olan Karaman Hatuniye Medresesi'nin deprem etkisi altındaki yapısal davranışı, Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY) kullanılarak incelenmiştir. Üç boyutlu sayısal modelleme ile gerçekleştirilen doğrusal olmayan analizler sonucunda aşağıdaki bulgular elde edilmiştir:

- Yapının genel taşıyıcı sisteminin deprem etkilerine karşı yeterli düzeyde dayanım gösterdiği, özellikle kemer ve tonoz sistemlerinin yapısal rijitliği artırdığı belirlenmiştir.
- Ancak giriş kapısının alt bölgesinde ve avlu içerisinde yer alan odacıkların taban kısımlarında çekme gerilmelerinin arttığı ve bu bölgelerin potansiyel zayıf noktalar oluşturduğu görülmüştür.
- Söz konusu bölgelerdeki çekme gerilmelerinin nedenlerinden birinin, yapı tabanında gözlemlenen nem ve rutubet birikimi olduğu değerlendirilmiştir.
- Bu durum hem malzeme dayanımında yerel zayıflamalara hem de gerilme yığılmalarına yol açarak yapısal bütünlüğü uzun vadede tehdit edebilecek bir risk ortaya koymaktadır.

Analiz bulguları doğrultusunda yapının uzun ömürlü korunması ve deprem güvenliğinin artırılması için aşağıdaki öneriler sunulmuştur:

Nem ve Rutubet Kontrolü

- Yapının tabanında tespit edilen nem birikiminin giderilmesi için etkili bir drenaj sistemi kurulmalıdır.
- Temel altı veya zemin seviyesinde su yalıtımı yapılmalı, yer altı su hareketlerini kontrol altına alacak çözümler uygulanmalıdır.

Yapısal İzleme Sistemi Kurulması

- Giriş altı ve avlu odacıklarının taban bölgelerine çatlak izleme cihazları ve nem ölçer sensörler yerleştirilerek bu alanlarda düzenli yapı sağlığı izlemesi yapılmalıdır.

Lokal Güçlendirme Müdahaleleri

- Yapının genel taşıyıcı sisteminde güçlendirme gerekmemekle birlikte, çekme gerilmelerinin yoğunlaştığı bölgelerde mikro enjeksiyon, taş ve tuğla tamiri gibi lokal müdahale teknikleri kullanılabilir.

Malzeme Dayanımı ve Onarım Uygulamaları

- Zayıflamış tuğla ve taş bölgeler özgün malzeme dokusuna uygun olarak elden geçirilmeli; mümkün olduğunca geleneksel yöntem ve harçlarla onarım yapılmalıdır.

Koruma Odaklı Planlama

- Yapının bulunduğu çevrede yüzey suyu birikimi, yanlış eğimlendirme gibi dış etkenler ortadan kaldırılmalı; yapıya su temasını artırabilecek çevresel faktörler yeniden düzenlenmelidir.

Akademik ve Uygulamalı Çalışmaların Artırılması

- Bu tür tarihi yapıların korunmasında Sonlu Elemanlar Yöntemi gibi bilimsel tabanlı analiz yöntemlerinin kullanımı yaygınlaştırılmalı; disiplinler arası iş birliği ile hem koruma hem de restorasyon süreçleri daha güvenilir hale getirilmelidir.

Bu sonuç ve öneriler, yapının kültürel değerini koruyarak, deprem güvenliği açısından sürdürülebilir bir yapı performansı elde edilmesine katkı sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

- Akan, A. E. (2010). Tarihi ahşap sütunlu camilerin sonlu elemanlar analizi ile taşıyıcı sistem performansının belirlenmesi. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 2(1), 41-54.
- Akın, K. Sayın, E., & Özmen, A. (2022). Farklı sönüm tipleri altında tarihi yığma köprülerin sismik tepkilerinin değerlendirilmesi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 34(1), 45-59.
- Almaç, U. (2011). *Zeyrek Camii (Pantokrator Kilisesi) kuzey bölüm strüktür analizi ve sağlamlaştırma önerileri* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 310695)
- Alagöz, A. (2018). *Tarihi Obruk Hanın yapısal davranışının incelenmesi* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 492494)
- Alan, T., & İlki, A. (2024). Lefkoşa Selimiye Camii yapısal özellikleri ve iyileştirilmiş deprem performansı için bir ön çalışma. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 15(2), 541-557.
- Altunok, H. (2022). *Tarihi İshak Paşa Türbesi'nin deprem davranışının sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak incelenmesi* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 734843)
- Aslan, A. (2016). *Süleymaniye Camiinin yerel zemin koşullarına bağlı deprem performansının değerlendirilmesi* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 432014)
- Aşıkoğlu, A. (2018). *Numerical investigation on the effectiveness of seismic retrofitting of a historical masonry mosque* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 511838)
- Bağbancı, M. B. (2009). *Tarihi yapıların sonlu elemanlar yöntemiyle analizinin Bursa Ördekli Hamamı örneğinde incelenmesi* (Doktora tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 246418)
- Barbieri, G., Biolzi, L., Bocciarelli, M., Fregonese, L., & Frigeri, A. (2013). Assessing the seismic vulnerability of a historical building. *Engineering Structures*, 57, 523-535.
- Başgöl, M. (2020). *Tarihi Cacabey Medresesinin yapısal davranışının incelenmesi* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 641879)
- Ceci, A. M., Contento, A., Fanale, L., Galeota, D., Gattulli, V., Lepidi, M., & Potenza, F. (2010). Structural performance of the historic and modern buildings of the University of L'Aquila during the seismic events of April 2009. *Engineering Structures*, 32(7), 1899-1924.
- Çakır, F. (2021). Tarihi yapıların deprem performansının belirlenmesi için basitleştirilmiş bir yöntem: Kaya Çelebi Cami örneği. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 36(3), 1643-1656.
- Çaktı, E., Saygılı, Ö., Görk, S., Zengin, E., Oliveira, C. S., & Lemos, J. V. (2013). Edirnekapi Mihrimah Sultan Camii minaresinin deprem davranışı. *Vakıf Restorasyon Yıllığı*, 6, 34-40.
- Çal, G. (2015). *Ortaköy Büyük Mecidiye Camiinin deprem etkisi altında yapısal davranışının değerlendirilmesi* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 414198)

- Çarbaş, S. (2024). Mülkiyeti Vakıflar Genel Müdürlüğüne ait olan Konya Vakıflar Bölge Müdürlüğü Sorumluluk alanında yer alan tarihi yapıların sismik performanslarının belirlenmesi ve hasar riski olan yapısal kısımlarına tarihi orijinal dokuya uygun farklı yapısal güçlendirme alternatiflerinin önerilmesine yönelik Ar-Ge projesi.
- Carhoglu, A. İ., Zabin, P., & Korkmaz, K. A. (2014). Kars Kümbet Camisinin deprem davranışının incelenmesi. *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, 2(1), 189-196.
- Çavuş, M. (2013). Tarihi Niksar Kulak Kümbetinin deprem altındaki sismik davranışının değerlendirilmesi. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, (7), 80-90.
- Çavuş, M., & Dayı, M. (2013). Tarihi Niksar Kırk Kızlar Türbesinin sismik davranışı. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, 2, 25-34.
- Çoban, K. (2018). Tarihi Bayburt Yakutiye (Yeni) Camisinin dinamik performansının belirlenmesi (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 527948)
- Demircan, R. K., Kardoğan, P. S. Ö., Pınarlık, M., & Aytekin, O. (2017). Tarihi Şavşat Tbeti Manastırı'nın sonlu elemanlar yöntemi ile analizi. *2nd International Mediterranean Science and Engineering Congress, Adana*, 2049-2057.
- Döndüren, M. S., Demiröz, A., & Şişik, Ö. (2019). Tarihi yığma Tütünsüz Baba Türbesinin mekaniksel davranışının incelenmesi. *Selçuk Üniversitesi Sosyal ve Teknik Araştırmalar Dergisi*, 17, 24-29.
- Durgut, E., Ispir, M., Demir, C., Turan, Ö. T., Kuran, F., & Ilki, A. (2021, June). Bursa Hocaalızade Cami Minaresi'nin deprem performansının doğrusal ve doğrusal olmayan analiz yaklaşımları ile incelenmesi. *In 9th Turkish Conference on Earthquake Engineering*, 2-4.
- Durutürk, G. (2012). *Yalvaç Hamidiye Cami deprem analizi* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 324544)
- Erkek, H., Calayır, Y., Sayın, E., & Karaton, M. (2013). Tarihi Malatya Ulu Camisinin sismik davranışı. *2. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, 1-9.
- Erkul, B. (2018). *Tarihi yığma yapıların performans analizi: Geleneksel Bayburt evi örneği* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No.517910)
- Erdemir, M., & Başar, M. E. (2019). Tarihi Konya Hasbey Dar'ül Huffazı'nın (Mescit) sonlu elemanlar analizi yöntemiyle deprem davranışının incelenmesi. *Journal of Awareness*, 4(4), 419-432.
- Erdemir, M. (2022). *Tarihi yapıların sonlu elemanlar analizi yöntemiyle deprem davranışlarının incelenmesi: Konya Dursunoğlu (Tahir Paşa) Camii örneği* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 752540)
- Fırat, S. Işık, N., & Selçuk, E. (2020). Tarihi yapıların temel sistemlerinin güçlendirilmesi. *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 9(Özel Sayı), 182-189.
- Gani, E. (2017). *Tarihi Davutpaşa Kışlasının dinamik ölçüm destekli, yatay ve düşey yükler altında analizi* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 478543)
- Garofano, A., & Lestuzzi, P. (2016). Seismic assessment of a historical masonry building in Switzerland: The "Ancien Hôpital De Sion". *International Journal of Architectural Heritage*, 10(8), 975-992.

- Güllü, H., & Karabekmez, M. (2016). Gaziantep Kurtuluş Camisinin deprem davranışının incelenmesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 7(3), 455-470.
- Güllü, H. (2018). Tarihi yığma yapıli cendere köprüsünün deprem etkisinin incelenmesi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(1), 245-259.
- Hökelekli, E. (2015). *Manisa Hafsa Sultan Camii deprem davranışının orerasyonel modal analiz yöntemiyle incelenmesi* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 406368)
- İzgi, R. (2020). *Tarihi yapıların yapısal analizi: Diyarbakır Surları örneği* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 624046)
- Jaihoon, E. H. (2019). *TBDY 2018'e göre tarihi yığma yapıların analizi ve bir örnek Silile Ak Camii* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 589512)
- Karalar, M., & Çavuşli, M. (2020). Tarihi rombaki yığma yapısının performans değerlendirmesi. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 9(1), 226-247.
- Karaman Valiliği (2016). Hatuniye Medresesi. <http://www.karaman.gov.tr/hatuniye-medresesi>
- Kocaman, İ., Kazaz, İ., & Gürbüz, M. (2017). Tarihi yapıların sismik yük kapasitelerinin değerlendirilmesi: Lala Paşa Cami örneği. 4. *Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, 1-8.
- Kocaman, İ., Kazaz, İ., & Okuyucu, D. (2018). Tarihi Erzurum Yakutiye Medresesi'nin yapısal davranışının incelenmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 20(58), 36-51.
- Kocaman, İ., & Kazaz, İ. (2024). Tarihi bir caminin hasar sınırlarının irdelenmesi, Konya Sultan Selim Cami örneği. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 39(1), 51-64.
- Korkmaz, K. A., Çarhoğlu, A. I., Usta, P., & Gedik, Y. H. (2012). Tokat Yağlıbasan medrese yapısının deprem riskinin değerlendirilmesi-investigation of seismic risk of tokat yağlıbasan madrasah structure. *Celal Bayar University Journal of Science*, 8(2), 43-51.
- Korkmaz, K. A., Çarhoğlu, A. İ., Usta, P., & Toker, S. (2019). Tarihi kiliselerin deprem davranışının Van Akdamar Kilisesi örneğinde incelenmesi. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 5(2), 22-29.
- Korkmaz, K., Zabin, P., Çarhoğlu, A., & Nuhoglu, A. (2014). Rize Merkez Kurşunlu Camisi'nin deprem davranışının incelenmesi. *Sakarya University Journal of Science*, 18(3), 149-156.
- Kılıç, İ., Coşkun, H., & Uslu, H. (2013). Hatay Hükümet Konağının deprem yükleri etkisinde davranışının incelenmesi. 2. *Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, 1-8.
- Kılıç, İ., Bozdoğan, K. B., Aydın, S., Gök, S. G., & Gündoğan, S. (2019). Kule tipi yapıların dinamik davranışının belirlenmesi: Kırklareli Hızırbey Camii minaresi. *Politeknik Dergisi*, 23(1), 19-26.
- Kilinc, M., Vural, E., & Topkaraoğlu, N. (2023). Tarihi Miralay Şerif Bey Konağının malzeme özelliklerine bağlı dinamik davranışlarının karşılaştırılması. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 39(3), 485-496.
- Kültür Envanteri (2019). Hatuniye Medresesi Karaman Merkez.
- <https://www.turkiyenintarihieserleri.com/?oku=899>

- Mallardo, V., Malvezzi, R., Milani, E., & Milani, G. (2008). Seismic vulnerability of historical masonry buildings: A case study in Ferrara. *Engineering Structures*, 30(8), 2223-2241.
- Mutlu, Ö. (2015). *Bursa Ulu Camii ve Yeşil Camii'nin dinamik davranışlarının değerlendirilmesi* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 414217)
- Soyluk, A., & Tuna, M. E. (2011). Sismik taban izolasyonu uygulaması için tarihi Şehzade Mehmet Camii'nin dinamik analizi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 26(3), 667-675.
- Sözen, Ş., Çavuş, M., & Öztoprak, B. (2018). Tokat Garipler Camii'nin sismik davranışının sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak incelenmesi. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, 7(3), 27-37.
- Şeker, B. Ş., Doğançün, A., & Çakır, F. (2013). Merzifonlu Kara Mustafa Paşa Cami taşıyıcı sistemi üzerine irdeleme. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 5(1), 112-120.
- Şeker, B., Çakır, F., Doğançün, A., & Durmuş, A. (2015). Investigation of structural behaviour of historical Erzurum Lala Pasha Mosque using finite element method. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21(3), 82-87.
- Özcan, Z., & Kayınoğlu, I. (2009). Sapanca Rahime Sultan Camii'nin sonlu elemanlar yöntemi ile dinamik analizi. *Uluslararası Sakarya Deprem Sempozyumu*, 599-608.
- Özdemir, H. (2018). *Tarihi yapıların bilgisayar destekli analizi: Patara antik kent tiyatrosu sahne yapısı örneği* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 310695)
- Özkul, T. A., & Ergüneş, O. İ. (2010). Galatasaray Panagia Ton İsodion Kilisesinin davranışı. *Teorik ve Uygulamalı Mekani Türk Milli Komitesi*, 941-950.
- Uğuz, S. (2016). *Tarihi yapıların bir binanın deprem güvenlik analizi: Tarihi Konya-Gazi Lisesi (Darü'l Muallim örneği)* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 310695)
- Ural, A., & Çelik, T. (2021). Gaziantep Nizip Tahtani (Leylek) Cami yapısal analiz ve değerlendirmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 26(1), 79-96.
- Uray, A. (2018). *Tarihi yapıların sonlu elemanlar yöntemiyle analizinin İznik Yeşil Camii örneğinde incelenmesi* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 523458)
- Usta, P., & Bozdağ, Ö. (2021). Tarihi Başdurak Camisinin deprem analizi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 27(3), 244-250.
- Turer, A., & Boz, B. (2008). Computer modeling and seismic performance assessment of historic Aspendos theatre in Antalya, Turkey. *Engineering structures*, 30(8), 2127-2139.
- Türker, T., & Yanık, Y. (2020). İlyasbey Camisi'nin yapısal davranışının çevresel titreşim testi ve sonlu eleman yöntemleriyle incelenmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8(2), 1431-1453.
- Yazgan, İ. O., & Ünay, A. İ. (2019). Bursa, Yenişehir Sinan Paşa Külliyesi imaretinin sayısal modellenmesi ve yapısal analizi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8(2), 1193-1203.
- Yavuzer, M. N. (2016). *Zal Mahmut Paşa Camii yapısal davranışı ve geçmiş hasarların incelenmesi* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 441714)

- Yurdakul, M., Yılmaz, F., & Artar, M. (2020). Dynamic behaviour of historical Bayburt Grand Mosque. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 11(1), 1-11.
- Zabin, P., Çarhoğlu, A. I., & Korkmaz, K. A. (2013). Ermenek Tol Medresesinin deprem etkisi altındaki davranışının incelenmesi. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 5(3), 1-7.



EKLER

Ek 1: İlgili Çalışmaya Ait Literatürler

Yazar(lar)	Ülke	Tarihi Yapı	Yöntemler
Türer ve Boz (2007)	Türkiye	AntalyaAspendosTiyatrosu	Sonlu elemanlar analizi
Mallardo vd. (2008)	Fransa	Palazzo Renata di Francia	Sonlu elemanlar analizi
Bağbancı (2009)	Türkiye	Bursa Ördekli Hamamı	Sonlu elemanlar analizi
Özcan (2009)	Türkiye	Sakarya Rahime Sultan Cami	Sonlu elemanlar analizi
Akan (2010)	Türkiye	Ankara Ahi Elvan Camisi	Sonlu elemanlar analizi
Ceci vd. (2010)	İtalya	L'Aquila Üniversitesi	Sonlu elemanlar analizi
Özkul ve Ergüneş (2010)	Türkiye	İstanbul Panagia Ton İisodion Kilisesi	Sonlu elemanlar analizi
Almaç (2011)	Türkiye	İstanbul Zeyrek Camii (Pantokrator Kilisesi)	Sonlu elemanlar analizi
Soyluk vd. (2011)	Türkiye	İstanbul Fatih Şehzade Mehmet Cami	Sonlu elemanlar analizi
Durutürk (2012)	Türkiye	Isparta Yalvaç Hamidiye Cami	Sonlu elemanlar analizi
Korkmaz vd. (2012)	Türkiye	Tokat Yağıbasan medresesi	Zaman tanım alanı yöntemi
Çaktı vd. (2013)	Türkiye	Edirne Mihrimah Sultan Cami Minaresi	Ayrık elemanlar yöntemi
Çavuş (2013)	Türkiye	Niksar Kulak Kümbeti	Sonlu elemanlar analizi
Çavuş ve Dayı (2013)	Türkiye	Niksar Kırk Kızlar Türbesi	Sonlu elemanlar analizi
Barbieri vd. (2013)	İtalya	Palazzo del Capitano	Doğrusal olmayan analiz
Erkek vd.(2013)	Türkiye	Malatya Ulu Cami	Sonlu elemanlar analizi
Kılıç vd.(2013)	Türkiye	Hatay Hükümet Konağı	Sonlu elemanlar analizi
Korkmaz vd. (2013)	Türkiye	Van Akdamar Kilisesi	Sonlu elemanlar analizi

Şeker vd.(2013)	Türkiye	Amasya Kara Mustafa Paşa Camii	Sonlu elemanlar analizi
Zabin vd.(2013)	Türkiye	Karaman Ermenek Tol Zaman tanım alanı yöntemi	Medresesi
Korkmaz vd. (2014)	Türkiye	Rize Kurşunlu Camii	Sonlu elemanlar analizi
Çal (2015)	Türkiye	İstanbul Ortaköy Büyük Mecidiye Camii	Sonlu elemanlar analizi
Çarhoğlu vd. (2015)	Türkiye	Kars Kümbet Cami	Zaman tanım alanı yöntemi
Hökelekli (2015)	Türkiye	Manisa Hafsa Sultan Camii ve Minaresi	Sonlu elemanlar analizi
Mutlu (2015)	Türkiye	Bursa Ulu Camii ve Yeşil Camii	Sonlu elemanlar analizi
Şeker vd.(2015)	Türkiye	Erzurum Lala Paşa Cami	Sonlu elemanlar analizi
Aslan (2016)	Türkiye	İstanbul Süleymaniye Cami	Sonlu elemanlar analizi
Garofano ve Lestuzzi (2016)	İsviçre	Ancien Hôpital De Sion	Sonlu elemanlar analizi
Güllü vd. (2016)	Türkiye	Gaziantep Kurtuluş Camii	Sonlu elemanlar analizi
Uğuz (2016)	Türkiye	Konya Tarihi Gazi Lisesi	Sonlu elemanlar analizi
Yavuzer(2016)	Türkiye	İstanbul Zal Mahmut Paşa Külliyesi	Sonlu elemanlar analizi
Demircan vd.(2017)	Türkiye	Artvin Tbeti Manastırı	Sonlu elemanlar analizi
Gani (2017)	Türkiye	Tarihi Davupaşa Kışlası	Sonlu elemanlar analizi
Kocaman vd.(2017)	Türkiye	Erzurum Lala Paşa Camii	Sonlu elemanlar analizi
Alagöz (2018)	Türkiye	Konya Obruk Han	Sonlu elemanlar analizi
Aşıkoğlu (2018)	Türkiye	Kütahya Kurşunlu Camii	Sonlu elemanlar analizi
Erkul (2018)	Türkiye	Bayburt Geleneksel Bayburt Evi	Sonlu elemanlar analizi
Güllü (2018)	Türkiye	Adıyaman Cendere Köprüsü	Sonlu elemanlar analizi

Kocaman (2018)	vd.	Türkiye	Erzurum Medresesi	Yakutiye	Sonlu elemanlar analizi
Özdemir (2018)		Türkiye	Antalya Patara Antik Kent Tiyatrosu		Sonlu elemanlar analizi
Sözen vd.(2018)		Türkiye	Tokat Garipler Camii		Sonlu elemanlar analizi
Ural (2018)		Türkiye	Bursa İznik Yeşil Cami		Sonlu elemanlar analizi
Çoban (2019)		Türkiye	Bayburt Yakutiye (Yeni) Camii		Sonlu elemanlar analizi
Döndüren (2019)		Türkiye	Edirne Tütünsüz Baba Türbesi		Sonlu elemanlar analizi
Erdemir (2019)	vd.	Türkiye	Konya Hasbey Dar'ül Huffazı		Sonlu elemanlar analizi
Jaihoon (2019)		Türkiye	Konya Sille Ak Camii		Sonlu elemanlar analizi
Kılıç vd. (2019)		Türkiye	Kırklareli Hızırbey Cami Minaresi		Sonlu elemanlar analizi
Yazgan (2019)	vd.	Türkiye	Bursa Sinan Paşa Külliyesi		Sonlu elemanlar analizi
Başgül (2020)		Türkiye	Kırşehir Cacabey Medresesi		Sonlu elemanlar analizi
Fırat vd.(2020)		Türkiye	Gazi Mustafa Kemal Paşa Muallim Mektebi		Sonlu elemanlar analizi
Karalar vd.(2020)		Türkiye	Zonguldak Rombaki Tarihi Yığma Yapı		Sonlu elemanlar analizi
İzgi (2020)		Türkiye	Diyarbakır Yedikardeş Burcu		Sonlu elemanlar analizi
Türker ve Yanık (2020)		Türkiye	Aydın İlyas Bey Camii		Sonlu elemanlar analizi
Yurdakul (2020)	vd.	Türkiye	Bayburt Ulu Camii		Sonlu elemanlar analizi
Çakır (2021)		Türkiye	Van Kaya Çelebi Cami		Sonlu elemanlar analizi
Durgut (2021)	vd.	Türkiye	Bursa Hocaalızade Cami		Doğrusal ve doğrusal olmayan analiz
Öztoprak (2021)		Türkiye	Isparta Devlethan Camii		Sonlu elemanlar analizi
Usta vd. (2021)		Türkiye	Başdurak Cami		Sonlu elemanlar analizi

Ural ve Çelik (2021)	Türkiye	Gaziantep Nizip Tahtani (Leylek) Camii	Sonlu elemanlar analizi
Altunok (2022)	Türkiye	Konya İshak Paşa Türbesi	Sonlu elemanlar analizi
Akın vd. (2022)	Türkiye	Tunceli Tağar Köprüsü	Sonlu elemanlar analizi
Erdemir (2022)	Türkiye	Konya Dursunoğlu (Tahir) Paşa Cami	Sonlu elemanlar analizi
Kılınç vd. (2023)	Türkiye	Yozgat Tarihi Miralay Şerif Bey Konağı	Sonlu elemanlar analizi
Alan ve İlki (2024)	KKTC	Lefkoşa Selimiye Camii	Makro modelleme yaklaşımı ile tepki spektrumu analizi
Kocaman ve Kazaz (2024)	Türkiye	Konya Sultan Selim Cami	Sonlu elemanlar analizi

ÖZ GEÇMİŞ

Settar AYDIN ilk, orta ve lise öğrenimini Trabzon’da yaptı. 2011 yılında Erzurum Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliğine başlayıp 2015’te buradan mezun oldu. 2022 yılında Bayburt Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. 2015 yılında Yalova ve İstanbul İllerinde özel bir inşaat firmasında Şantiye Şefi olarak 2017 yılına kadar çalıştı. Erzurum’un Pazaryolu İlçesinde 2017 yılında Pazaryolu Belediyesi İmar ve Şehircilik Müdürlüğünde İnşaat Mühendisi olarak göreve başladı. 2023 Yılında Trabzon’un Araklı Belediye Başkanlığı İmar ve Şehircilik Müdürlüğü’ne tayini çıktı. Halen bu görevinde çalışmaya devam etmektedir. Evli ve bir erkek çocuğu babasıdır.

