



**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**TARİHİ YIĞMA YAPILARIN RESTORASYONUNA
YÖNELİK PERFORMANS ANALİZİ: AMASYA
BİMARHANESİ ÖRNEĞİ**

Yüksek Lisans Tezi

Lale YILMAZ

Danışman
Prof. Dr. Zeki KARACA

SAMSUN
2024

**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**



**TARİHİ YIĞMA YAPILARIN RESTORASYONUNA
YÖNELİK PERFORMANS ANALİZİ:AMASYA
BİMARHANESİ
ÖRNEĞİ**

Yüksek Lisans Tezi

Lale YILMAZ

Danışman

Prof.Dr. Zeki KARACA

SAMSUN
2024

TEZ KABUL VE ONAYI

Lale YILMAZ tarafından, Prof. Dr. Zeki KARACA danışmanlığında hazırlanan “TARİHİ YIĞMA YAPILARIN RESTORASYONUNA YÖNELİK PERFORMANS ANALİZİ:AMASYA BİMARHANESİ ÖRNEĞİ ” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından 26/06/2024 tarihinde yapılan sınav sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

	Unvanı Adı Soyadı Üniversitesi Ana Bilim/Ana Sanat Dalı	Sonuç
Başkan	Prof. Dr. Zeki KARACA Ondokuz Mayıs Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret
Üye	Doç. Dr. Sertaç Tuhta Ondokuz Mayıs Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret
Üye	Prof. Dr. Burçin Şenol ŞEKER Amasya Üniversitesi İnşaat Bölümü	☒ Kabul ☐ Ret

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen ve yukarıda adları yazılı jüri üyeleri tarafından uygun görülmüştür.

Prof. Dr. Ahmet TABAK
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Hazırladığım Yüksek Lisans tezinin bütün aşamalarında bilimsel etiğe ve akademik kurallara riayet ettiğimi, çalışmada doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin Kaynaklar'da gösterilenlerden oluştuğunu, her unsurun enstitü yazım kılavuzuna uygun yazıldığını ve TÜBİTAK Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu Yönetmeliği'nin 3. bölüm 9. maddesinde belirtilen durumlara aykırı davranılmadığını taahhüt ve beyan ederim.

Etik Kurul Gerekli mi ?

Evet ☐ (Gerekli ise ekler kısmına ekleyiniz)

Hayır ☒

26 /06/ 2024
Lale YILMAZ

TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI

Tez Başlığı : TARİHİ YIĞMA YAPILARIN RESTORASYONUNA
YÖNELİK PERFORMANS ANALİZİ: AMASYA BİMARHANESİ ÖRNEĞİ

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışması için şahsım tarafından 27/05/2024 tarihinde intihal tespit programından alınmış olan özgünlük raporu sonucunda;

Benzerlik oranı : % 14

Tek kaynak oranı : % 1 çıkmıştır.

26 /06 / 2024
Prof. Dr. Zeki KARACA

ÖZET

TARİHİ YIĞMA YAPILARIN RESTORASYONUNA YÖNELİK PERFORMANS ANALİZİ: AMASYA BİMARHANESİ ÖRNEĞİ

Lale YILMAZ

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Yüksek Lisans, Haziran/2024

Danışman: Prof. Dr. Zeki KARACA

Türkiye’de 06.02.2023 tarihinde Kahramanmaraş İli Pazarcık ve Elbistan İlçelerinde 7,7 ve 7,6 büyüklüklerinde depremler meydana gelmiştir. Meydana gelen depremler Kahramanmaraş ve çevresinde bulunan birçok ilde çok sayıda can kaybı ve yapı hasarlarına yol açmıştır. Hasar alan veya yıkılan yapılardan bazıları da tarihi açıdan büyük öneme sahip yapılardır. Kahramanmaraş depremine benzer büyüklükte bir depremin Amasya’da olması durumunda bu bölgede bulunan tarihi yapılarda oluşabilecek hasarları öngörmek ve gerekli tedbirleri almak amacıyla bu çalışmada uygulama örneği olarak Amasya ilinde tarihi önemi büyük olan İlhanlı dönemine ait yığma bir yapı olan Bimarhane (Darüşşifa)’nin deprem performansı değerlendirilmiştir. Bimarhanenin mimarisi, tarihçesi, yapı malzemeleri, restorasyon geçmişi ve mevcut durumu hakkında bilgi verilerek, yığma yapı hasarları ve onarım güçlendirme tekniklerinden bahsedilmiştir. Amasya Bimarhane yapısının üç boyutlu modeli oluşturularak, ANSYS Workbench sonlu elemanlar analiz programı kullanılarak statik ve dinamik analizleri yapılmıştır. Bimarhane’nin deprem performansını belirlemek için; zaman tanım alanı yöntemine göre yapılan doğrusal ve doğrusal olmayan analizlerde Kahramanmaraş ili Pazarcık ve Elbistan ilçelerinde 06.02.2023 tarihinde meydana gelen 7,7 ve 7,6 MW büyüklüğündeki depremler ile Erzincan depremi (1992) ivme kayıtları kullanılarak; yer değiştirme, eşdeğer gerilme, asal çekme gerilmeleri ve kayma gerilmeleri hesaplanmış ve bulgular yorumlanmıştır.

Yapılan analizlerin sonucunda üç farklı depremde oluşan ötelenme oranlarına göre Bimarhane’nin özellikle Kuzey-Güney doğrultusunda performansının daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Gerilme ve deformasyonların özellikle revakların orta açıklıklarında, revakları taşıyan orta sütunların alt ve üst uçlarında, revakların ön-arka duvarlarla mesnetlendikleri noktalarda, tonozların duvarlarla mesnetlendikleri noktalarda, taç kapının bulunduğu duvarın üst bölgelerinde, giriş kapısının üst kemerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Hasar alabileceği tespit edilen bu bölgelerin restorasyonuna yönelik onarım ve güçlendirme önerilerinde bulunulmuştur.

Anahtar Sözcükler: Yığma Yapı, Performans Analizi, ANSYS, Kahramanmaraş Depremi, Restorasyon

ABSTRACT

PERFORMANCE ANALYSIS FOR THE RESTORATION OF HISTORICAL MASONRY BUILDINGS: THE CASE OF AMASYA BİMARHANESİ

Lale YILMAZ

Ondokuz Mayıs University

Institute of Graduate Studies

Department of Civil Engineering

Master, June/2024

Supervisor: Prof. Dr. Zeki KARACA

Earthquakes with magnitudes of 7.7 and 7.6 occurred in Pazarcık and Elbistan Districts of Kahramanmaraş Province on 06.02.2023 in Turkey. The earthquakes that occurred caused many deaths and structural damage in Kahramanmaraş and many surrounding provinces. Some of the buildings that were damaged or destroyed were the largest buildings owned by some dates. In case an earthquake of similar magnitude to the Kahramanmaraş earthquake occurs in Amasya, the earthquake performance of Bimarhane (Darüşşifa), which is a masonry structure belonging to the Ilkhanid distribution, which has great historical importance in Amasya province, was evaluated as an example of this application in order to predict the damages and take the necessary actions by hiding them in these regional historical buildings. Detailed information about the architecture, history, building materials, repair history and current condition of the bimarhane, masonry building damages and repair-oriented techniques are mentioned. A three-dimensional model of the Amasya Bimarhane structure was created and static and dynamic analyzes were performed using the ANSYS Workbench finite element analysis program. To determine the earthquake in Bimarhane; In linear and non-linear analyzes made according to the time domain, the 7.7 and 7.6 MW earthquakes that occurred on 06.02.2023 in Pazarcık and Elbistan districts of Kahramanmaraş province and the Erzincan earthquake (1992) may be accelerated; displacement, displacement stresses, principal tensile stresses and shear stresses were calculated and the findings were interpreted.

As a result of the analysis, it was determined that Bimarhane was lower, especially in the North-South, according to the drift rates that occurred in three different earthquakes. It is seen that the stresses and deformations are concentrated especially in the middle openings of the cloisters, at the lower and upper ends of the middle columns containing the cloisters, at the points where the cloisters are supported by the front-back walls, at the points where the vaults are supported by the walls, in the upper parts of the wall where the crown door is located, and at the top of the entrance door. Maintenance and suggestions were made for the repair of these areas that were detected to be damaged.

Keywords: Masonry Structure, Performance Analysis, ANSYS, Kahramanmaraş Earthquake, Restoration

ÖN SÖZ VE TEŞEKKÜR

Türkiye’de 06.02.2023 tarihinde meydana gelen Kahramanmaraş merkezli depremler; birçok ilde çok sayıda can kaybı ve yapı hasarlarına yol açmıştır. Hasar alan veya yıkılan yapılardan bazıları da tarihi açıdan büyük öneme sahip yapılardır. Aktif iki deprem kuşağı arasında kalan Türkiye’de, tarihi yapıların korunması ve gelecek nesillere aktarılabilmesi için tarihi yapıların deprem performanslarının belirlenmesi ve gerekli önlemlerin alınması tez çalışmamın odak noktası olmuştur.

Bu tez kapsamında Amasya’da Mimarlık ve Tıp tarihi açısından önemi büyük olan Bimarhane’nin deprem etkisindeki dinamik davranışlarını üç boyutlu model üzerinde belirleyerek, hasar alacak bu bölgelerin restorasyonuna yönelik onarım ve güçlendirme önerileri sunulmuştur.

Öncelikle tez çalışmam sırasında ve tüm yüksek öğrenim hayatımda kıymetli bilgi, birikim ve tecrübeleri ile her zaman bana yol gösterici ve destek olan değerli danışman hocam Prof. Dr. Zeki KARACA’ ya sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Tez sürecinde bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan tez savunma jüri üyesi Prof. Dr. Şenol ŞEKER’ e ve tez çalışmama yaptıkları yorumlar ve katkılarından dolayı tez savunma jüri üyesi Doç. Dr. Sertaç TUHTA’ ya teşekkür ederim.

Bimarhane’de araştırma ve incelemelerime izin veren Amasya Belediyesi’ne, deneysel çalışmalarında bana rehberlik yapan Doç. Dr. Murat GÖKÇE’ ye teşekkürlerimi sunarım.

Tüm hayatım boyunca beni sabır ve şefkatle destekleyen en büyük güç kaynağım anneme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmanın “Tarihi Yapıların Depreme Karşı Güçlendirilmesi” konusunda faydalı olmasını temenni ediyorum.

Lale YILMAZ

İÇİNDEKİLER

TEZ KABUL VE ONAYI	i
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI	ii
TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	v
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
TABLolar DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Literatür Araştırması	3
2. YIĞMA YAPI HASAR TÜRLERİ	9
2.1. Düşey Yüklere Bağlı Oluşan Hasarlar	10
2.2. Zeminden Kaynaklanan Hasarlar	11
2.3. Taşıyıcı Sistem Tasarımındaki Hatalar	12
2.4. Deprem Yüklere Bağlı Hasarları	14
2.5. Hatalı Malzeme Kullanımı	16
2.6. Kötü İşçilikten Kaynaklanan Hasarlar	18
2.7. Kubbelerde Oluşan Hasarlar	19
2.8. Kemerlerde ve Tonozlarda Oluşan Hasarlar	21
2.9. Hasara Sebep Olan Diğer Etmenler	22
3. TARİHİ YIĞMA YAPILARIN ONARIM VE GÜÇLENDİRME TEKNİKLERİ	25
3.1. Sağlamaştırma	27
3.1.1. Yapı Malzemelerinin Sağlamaştırılması	27
3.1.2. Taşıyıcı sistemin onarım ve/veya güçlendirilmesi	29
3.1.3. Temel ve Zeminin güçlendirilmesi	46
3.2. Bütünleme (Reintegrasyon)	51
3.3. Yenileme - Yeni İşleve Uyarlama (Renovasyon)	51
3.4. Yeniden Yapım (Rekonstrüksiyon)	53
3.5. Temizleme ve Arındırma	54
3.6. Taşıma (Relocation)	56
4. MATERYAL VE YÖNTEM	58
4.1. Materyal	58
4.2. Bimarhane'nin Tarihi, Mimari ve Taşıyıcı Sistem Özellikleri	58
4.3. Yığma Yapılarda Kullanılan Modelleme Yöntemleri	62
4.4. Sonlu Elemanlar Yöntemi	63
4.5. Tarihi Yapılarda Analiz Yöntemleri	65
4.6. Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesi	67
4.6.1. Yapı Malzemeleri Üzerinde Yapılan Tahribatsız Deneyler	67
4.6.2. Yapı Malzemelerinin Parametrelerinin Belirlenmesi	70
4.7. Bölgenin Depremselliğinin İncelenmesi	73
5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	75
5.1. Statik Analiz	75
5.2. Modal Analiz	78
5.3. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Analizler	79
5.3.1. Kahramanmaraş-Pazarcık Depremine göre Zaman Tanım Alanında Analizler	80
5.3.2. Kahramanmaraş-Elbistan Depremine göre Zaman Tanım Alanında Analizler	88
5.3.3. Erzincan Depremine göre Zaman Tanım Alanında Analizler	93
5.4. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analizler	102
5.4.1. Kahramanmaraş-Elbistan Depremi Doğrusal Olmayan Analizler	103
5.4.2. Erzincan Depremi Doğrusal Olmayan Analizler	110

5.5. Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Analizlerin Değerlendirilmesi	117
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	123
KAYNAKLAR	128
ÖZ GEÇMİŞ.....	134



SİMGELER VE KISALTMALAR

σ	: Basınç Dayanım
σ_e	:Basınç Emniyet Gerilmelerini
F_c	:Basınç Dayanım
E_c	:Elastisite Modulu
E_{duv}	:Duvarın Elastisite Modulu
G_{duv}	:Duvarın Kayma Modulu
M_w	: Moment Magnitüdü
PGA	: Peak Ground Acceleration- En Büyük Yer İvmesi
TYDRYK	:Tarihi Yapılar İçin Deprem Risklerinin Yönetimi Kılavuzu
TBDY	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
SH	: Sınırlı Hasar
KH	: Kontrollü Hasar
GÖ	: Göçme Öncesi
N-S	: North-South (Kuzey-Güney)
E-W	: East-West (Doğu-Batı)
V.G.M	:Vakıflar Genel Müdürlüğü
TVBM	:Tokat Vakıflar Bölge Müdürlüğü
r_a	:Deprem yükü azaltma katsayısı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Yığma yapıda görülen çatlak tipleri (Holanda Júnior, 2002).....	9
Şekil 2.2. Statik durumda zati yüklerin sebep olduğu düşey çatlaklar (Oyguç, 2017)	11
Şekil 2.3. Zeminde farklı Oturma şekillerine göre oluşan eğik çatlaklar (Döndüren ve diğerleri, 2017).....	12
Şekil 2.4. Yığma yapı duvar planlarında ağırlık merkezi ile rijitlik merkezi farklı durumları (Özsaraç, 2008)	13
Şekil 2.5. 1975 Lice Depremi sonrası boşluk oranı fazla ve az olan komşu iki duvarın farklı hasar düzeyleri (Bayülke, 2011).....	14
Şekil 2.6. Donatısız yığma duvarların düzlem içi deprem yükleri etkisindeki davranışları: .	15
(a) Kesme göçmesi (b) Kayma göçmesi (c) Tümden devrilme (d) Uç ezilmesi (Macabuag, 2007)	15
Şekil 2.7. Deprem nedeniyle oluşan diyagonal çatlaklar (Capozucca, 2008).....	15
Şekil 2.8.(a) Düzlem dışı davranış: duvarların düşeyden ayrılması.....	16
(b) Düzlem içi davranış sonucunda görülen X çatlakları.....	16
Şekil 2.9.(a) Düzlem içi x çatlakları (b) Düzlem dışı göçme (Lin, 2013).....	16
Şekil 2.10. Moloz taş duvarın yıkılması (Batur, Kaplan, 2006)	17
Şekil 2.11. Taş ve harç arasında yetersiz aderans (Oyguç,2017).....	17
Şekil 2.12. Kerpiç duvarda görülen hasarlar (.....	18
Şekil 2.13. Köşe birleşimindeki hatalardan kaynaklı hasarlar	19
Şekil 2.14. Yığma yapıda köşe ayrılması köşe ayrışması (2011 Van depremi) (Alıcıoğlu, 2012)	19
Şekil 2.15.a Kubbede oluşan kuvvetler	b) Kubbede oluşan hasar 20
Şekil 2.16. Urla Helvacılar Camindeki eksenel kubbe hasarı (Güzel, 2019).....	20
Şekil 2.17.Yerçekimin etkisiyle kemerlerde oluşan çatlaklar (Döndüren ve diğerleri, 2017)	21
Şekil 2.18. Tonozlarda oluşan çatlak tipleri (Döndüren ve diğerleri, 2017).....	22
Şekil 2.19. Bimarhane ön cephedeki duvarlarda tuzlanmalar ve renk değişimleri	22
Şekil 2.20. Bimarhane'nin kuzey cephesinde oluşan siyah kabuk oluşumu.....	23
Şekil 2.21. Bimarhane duvar diplerinde zemindeki sudan kaynaklı görülen yosunlaşmalar.	24
Şekil 2.22. Bimarhane'nin kuzey cephesi duvar altlarındaki bitki oluşumları	24
Şekil 3.1. Duvardaki çatlakların metal dikiş yöntemi ile onarımı (Aköz, 2008)	30
Şekil 3.2. Hidrolik kireç enjeksiyonu uygulanması (http://www.starcephe.com/hidrolik_kirec_enjeksiyon.html)	31
Şekil 3.3. Duvar ayrılmalarının çelik ankraj plakalarıyla onarılması (Aköz,2008)	32
Şekil 3.4. Duvarda Kolon Oluşturulması için birleşim yerindeki hazırlık aşaması	33
Şekil 3.5. Duvarda Kolon Oluşturulması (Kara, 2009).....	33
Şekil 3.6. Sivas Divriği Ulu Camii minare kaidesinde genişletme- Görsel Sahibi: Sivas İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü.....	34

Şekil 3.7. İstanbul, Kabataş Erkek Lisesi duvarlara çelik hasır ve ankrajların yerleştirilmesi ve püskürtme betonunun tamamlanması (Saraç,2003).....	35
Şekil 3.8. Abide Hatun Cami'nin FRP çubuklarla güçlendirilmesi (Bayraktar, 2006).....	36
Şekil 3.9. Karbon ızgara ile donatılı harç uygulaması (Mezrea ve diğerleri, 2013)	36
Şekil 3.10. Üç Şerefeli Cami sütunları çemberleme uygulaması (https://www.kulturportali.gov.tr/turkiye/edirne/gezilecekyer/uc-serefeli-cami)	37
Şekil 3.11a. Ahşap döşemenin üzerine uygulanan ikinci ahşap katman örneği b. Ahşap döşeme örneği(Kara,2009).....	38
Şekil 3.12.Çelik çaprazlar ile döşemenin rijitleştirilmesi, (Sultan Abdülaziz Av Köşkü, İzmit) (Sesigür ve diğerleri, 2007).....	38
Şekil 3.13. Döşemelerde FRP şeritlerle güçlendirme (Akgül ve diğerleri 2009)	39
Şekil 3.14. Amasya Taşhan giriş tonozunun askıya alınma işlemi (Pergel,2013).	40
Şekil 3.15. Mihrimah Sultan camii son cemat yeri kemerlerde gergi uygulaması.....	40
https://www.uskudar.bel.tr/tr/main/pages/mihrimah-sultan-camii/39	41
Şekil 3.16. Kemerlerde gergi ve mesnetlerin sabitlenmesi (Sesigür ve diğ.,2007).....	41
Şekil 3.17. Tonoz derzlerine metal lama uygulanması (Pergel,2013).	42
Şekil 3.18. Tonozlara FRP uygulanması.....	42
Şekil 3.19. Mihrimah Sultan Camii Kubbede çekme çemberi uygulaması (Sav ve diğ,2010)	43
Şekil 3.20. Kosova Prizren Emin Paşa Camii kubbesine FRP uygulanması (Eren,2018)	43
Şekil 3.21. Kubbe çatlaklarına enjeksiyon uygulanması (Küçük, 2010).	44
Şekil 3.22. Kubbe çatlaklarında metal dikiş uygulanması (Çılı ve Yıldız, 2013).....	44
Şekil 3.23. Ahşap elemanların FRP ile güçlendirilmesi (Steiger, 2003)	45
Şekil 3.24a. Ahşap çatı söküldüğünde ortaya çıkan demir makaslar b. Statik olarak zayıflamış demir makaslara yapılan eklerle güçlendirme (Ceylan ve Ocakcan,2013).	46
Şekil 3.25. Jet-Grout Uygulaması (Durgunoğlu ve diğerleri, 1998).....	47
Şekil 3.26. Çakma Kazık ve kavrama kirişi ile temel takviyesi (Baş,2006).....	48
Şekil 3.27. Temelerde eski ve yeni temelin birlikte çalışması için uygulanan detaylar (Çamlıbel, 2000)	49
Şekil 3.28.Yığma yapı temellerinin daha derindeki beton ayaklarla güçlendirilmesi (Bayülke,1992).....	50
Şekil 3.29a.Taşhan Restorasyon öncesi b. Taşhan Restorasyon sonrası	51
Şekil 3.30. Amasya Sabuncuoğlu Tıp ve Cerrahi Tarihi Müzesi (Bimarhane).....	52
Şekil 3.31. Amasya Hazeranlar konağı (Fotoğraf: Amasya İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü Arşivi)	53
Şekil 3.32.a. Saraydüzü Kışla Binası Eski Hali b. Saraydüzü Kışla Binası Rekonstrüksiyonu (Vikipedia).....	54
Şekil 3.33. Ayasofya Müzesi taş temizliği uygulamaları.....	55
Şekil 3.34. Ayasofya Müzesi cephe taş temizliği öncesi ve sonrası	55
Şekil 3.35.Ahşap yüzeylerindeki boya sökümü işlemleri (Koroğlu ve Kudde, 2011).....	56
Şekil 3.36. Zeynel Bey Türbesi'nin taşınma işlemi (Anadolu ajansı, 2017).....	57

Şekil 4.1. Amasya Bimarhanesi'nin ön görünüşü.....	58
Şekil 4.2.Bimarhane avlu görünümü.....	59
Şekil 4.3. Bimarhane'nin Bimarhane'nin üç yönde yazılmış kitabesi	59
Şekil 4.4. Bimarhane'nin görünüşüne ait eski bir fotoğraf (Gabriel,1934).....	60
Şekil 4.5.Bimarhane'nin 1948-51 Yılları Onarımı Sonrası Görünümü (VGM Arşivi) (İnan Ocak ve Tanyeli, 2019).....	60
Şekil 4.6. Bimarhane Plan ve Kesitleri (TVBM)	61
Şekil 4.7. Bimarhane'nin ön cephesi kesme taş, diğer cepheleri ise kaba moloz taş duvar...	62
Şekil 4.8. Yığma yapılarda modelleme şekilleri a) Detaylı mikro modelleme, ...	63
b) Basitleştirilmiş mikro modelleme, c) Makro modelleme (Lourenço 1996)	63
Şekil 4.9. Sonlu eleman model çeşitleri (TYDRYK, 2017).....	64
Şekil 4.10. Bimarhane'nin 3D sonlu elemanlar modeli	65
Şekil 4.11. Bimarhane'nin üç boyutlu sonlu eleman modelinin kesiti.....	65
Şekil 4.12. Sütuna Schmidt çekici ile vuruş yapılması	68
Şekil 4.13. Ultrasonik hız devresi şeması (Tarun vd. 2004)	69
Şekil 4.14. Proceq ultrases cihazı kalibrasyon işlemi ve Ultrases cihazı ile yarı direkt okuma.....	70
Şekil 4.15. Drucker-Prager yaklaşımının asal gerilme uzayındaki akma yüzeyleri.....	72
Şekil 5.1. Bimarhane'nin 3D sonlu elemanlar modeli	75
Şekil 5.2. Statik analiz- yer değiştirmeler (mm).....	76
Şekil 5.3. Girişte soldaki revakların orta bölgesindeki büyük yer değiştirmeler	76
Şekil 5.4. Statik analiz-maksimum asal çekme gerilmeleri	77
Şekil 5.5. Statik analiz-minimum asal basınç gerilmeleri.....	77
Şekil 5.6. Statik analiz-eş değer (von-mises) gerilme dağılımı	78
Şekil 5.7. Modal analize ait en etkili mod şekilleri.....	79
Şekil 5.8. Kahramanmaraş-Pazarcık depremi ivme kayıtları.....	80
Şekil 5.9. Yanal ötelenme oranlarına göre performans düzeyleri (TYDRYK,2017).....	81
Şekil 5.10. Kahramanmaraş-Pazarcık (E-W) depremi yer değiştirmeler.....	81
Şekil 5.11. Kahramanmaraş-Pazarcık (N-S) depremi yer değiştirmeler	82
Şekil 5.12. Kahramanmaraş-Pazarcık (E-W) depremi eşdeğer gerilme değerleri	83
Şekil 5.13. Kahramanmaraş-Pazarcık (N-S) depremi eşdeğer gerilme değerleri.....	83
Şekil 5.14. Kahramanmaraş-Pazarcık (N-S) depremi asal çekme gerilmeleri	84
Şekil 5.15. Kahramanmaraş-Pazarcık (E-W) depremi asal çekme gerilmeleri.....	85
Şekil 5.16. Kahramanmaraş-Pazarcık (N-S) depremi maksimum kayma gerilmeleri	86
Şekil 5.17. Kahramanmaraş-Pazarcık (E-W) depremi maksimum kayma gerilmeleri	86
Şekil 5.18. Kahramanmaraş-Pazarcık (E-W) depremi maksimum kayma gerilmeleri	87
Şekil 5.19. Kahramanmaraş-Elbistan depremi ivme kayıtları	88
Şekil 5.20. Kahramanmaraş-Elbistan(E-W) depremi yer değiştirmeler	88

Şekil 5.21. Kahramanmaraş-Elbistan (E-W) depremi yer değiştirmeler	89
Şekil 5.22. Kahramanmaraş-Elbistan (N-S) depremi yer değiştirmeler.....	89
Şekil 5.23. Kahramanmaraş-Elbistan (E-W) depremi eşdeğer gerilmeler	90
Şekil 5.24. Kahramanmaraş-Elbistan (N-S) depremi eşdeğer gerilmeler	90
Şekil 5.25. Kahramanmaraş-Elbistan (E-W) depremi maksimum asal gerilmeler	91
Şekil 5.26. Kahramanmaraş-Elbistan (N-S) depremi maksimum asal gerilmeler	91
Şekil 5.27. Kahramanmaraş-Elbistan (N-S) depremi maksimum kayma gerilmeleri.....	92
Şekil 5.28. Kahramanmaraş-Elbistan (N-S) depremi maksimum kayma gerilmeleri.....	93
Şekil 5.29. Kahramanmaraş-Elbistan (E-W) depremi maksimum kayma gerilmeleri.....	93
Şekil 5.30. 1992 Erzincan depremi ivme kayıtları.....	94
Şekil 5.31. Erzincan (E-W) depremi yer değiştirmeler.....	95
Şekil 5.32. Erzincan (N-S) depremi yer değiştirmeler.....	96
Şekil 5.33. Erzincan (E-W) depremi eşdeğer gerilmeler	96
Şekil 5.34. Erzincan (N-S) depremi eşdeğer gerilmeler	97
Şekil 5.35. Erzincan (E-W) depremi maksimum asal çekme gerilmeleri	98
Şekil 5.36. Erzincan (N-S) depremi maksimum asal çekme gerilmeleri	98
Şekil 5.37. Erzincan (N-S) depremi maksimum asal çekme gerilmeleri	99
Şekil 5.38. Erzincan (E-W) depremi maksimum kayma gerilmeleri	99
Şekil 5.39. Erzincan (E-W) depremi maksimum kayma gerilmeleri	100
Şekil 5.40. Erzincan (N-S) depremi maksimum kayma gerilmeleri	100
Şekil 5.41. Kahramanmaraş-Elbistan Depremi (E-W) doğrusal olmayan analiz yer değiştirmeler	103
Şekil 5.42. Kahramanmaraş-Elbistan Depremi (N-S) doğrusal olmayan analiz yer değiştirmeler	104
Şekil 5.43. Kahramanmaraş-Elbistan Depremi (E-W) doğrusal olmayan analiz eşdeğer gerilmeler	105
Şekil 5.44. Kahramanmaraş-Elbistan Depremi (N-S) doğrusal olmayan analiz eşdeğer gerilmeler	105
Şekil 5.45. Kahramanmaraş-Elbistan (E-W) Depremi Maksimum Asal gerilmeler.....	106
Şekil 5.46. Kahramanmaraş-Elbistan (N-S) Depremi Maksimum Asal gerilmeler.....	107
Şekil 5.47. Kahramanmaraş-Elbistan Depremi (E-W) plastik deformasyonların	108
Şekil 5.48. Kahramanmaraş-Elbistan Depremi (N-S) plastik deformasyonlar	109
Şekil 5.49. Erzincan Depremi (E-W) doğrusal olmayan analiz-yer değiştirmeler.....	110
Şekil 5.50. Erzincan Depremi (N-S) doğrusal olmayan analiz-yer değiştirmeler.....	111
Şekil 5.51. Erzincan Depremi (E-W) doğrusal olmayan analiz-eşdeğer gerilmeler	111
Şekil 5.52. Erzincan Depremi (E-W) doğrusal olmayan analiz-eşdeğer gerilmeler	112
Şekil 5.53. Erzincan Depremi (N-S) doğrusal olmayan analiz-eşdeğer gerilmeler	112
Şekil 5.54. Erzincan Depremi (E-W) doğrusal olmayan analiz asal çekme gerilmeleri	113
Şekil 5.55. Erzincan Depremi (E-W) doğrusal olmayan analiz plastik deformasyonların ..	115

Şekil 5.56. Erzincan Depremi (N-S) doğrusal olmayan analiz plastik deformasyonların ...	116
Şekil 5.57. Revağın orta sütununda oluşan gerilme ve deformasyonların gerçekte örtüşmesi.....	118
Şekil 5.58. Revaklardaki sütun, sütun başlarının ve revak duvarındaki taşların farklı olması.....	119
Şekil 5.59.Revakların orta bölümlerinde görülen deformasyonlar	119
Şekil 5.60. Sağdaki revağın ortasındaki sütunun alt ucunda görülen deformasyonlar ve sağdaki revak duvarlarının üst bölümünde farklı dönemlere ait onarımlar	120
Şekil 5.61. Analizlerde bulunan taç kapının üst bölümündeki deformasyonlar ve Bimarhane'nin taç kapısının üst bölümündeki farklı dönemlere ait onarımlar.....	121
Şekil 5.62. Giriş kapısının kemerinde ve üzerindeki kitabede görülen çatlaklar	122
Şekil 5.63. Giriş cephesi ile güney duvarının birleşim bölgelerindeki ayrışmalar.....	122
Şekil 5.64. Revakların duvarlarla birleşim bölgelerindeki ayrışmalar.....	122



TABLÖLER DİZİNİ

Tablo 2.1. Yığma yapılarda çatlak genişliğine göre hasar düzeyleri (Bayülke, 1999).	10
Tablo 4.1. Taş Çeşitlerinin sertlik değeri ve sertlik değerinden elde edilen basınç dayanımları ve Elastisite Modülleri.....	68
Tablo 4.2. Ultrasonik Test Cihazı İle Elde Edilen Sonuçlar	70
Tablo 4.3.Yığma duvar malzemesinin mekanik özellikleri (Magenes, Penna, 2009) (TYDRYK 2017).....	71
Tablo 4.4. Amasya Bimarhanesi analizlerinde kullanılacak malzeme özellikleri	73
Tablo 5.1. Performans düzeyleri ile ilgili hesap yöntemleri ve sınır durumları (TYDRYK, 2017).....	101
Tablo 5.2. Doğrusal analiz sonuçlarına göre Bimarhane'nin deprem performans düzeyleri	102
Tablo 5.3. Doğrusal olmayan analiz sonuçlarına göre Bimarhane'nin deprem performans düzeyleri	117

1. GİRİŞ

Tarih boyunca insanlar korunma, barınma, savunma, ulaşım, ibadet gibi amaçlarla bulundukları topraklarda han, hamam, kale, köprü, baraj, kilise, cami vb yapılar inşa etmişlerdir. Bu yapılar bir medeniyetin geleceğe bıraktığı en önemli izlerden biridir. Günümüze kadar ayakta kalabilen birçok yapı yapıldığı dönemin yaşam tarzını, kültürünü, dinini, eğitim seviyesini vb. özelliklerini yansıtarak geçmişten günümüze ışık tutmaktadır.

Tarihi yapılar, taşınmaz kültür varlıklarımızın en somut örneğidir. Tarihi yapılar, tarihi ve kültürel önemlerinin yanında bulundukları coğrafyada kültürel turizm merkezleri olarak şehirlerin ve ülkelerin ekonomisine büyük ölçüde kazanç sağlamaktadır. Bu değerli yapıların gelecek nesillere güvenle aktarılabilmesi uzun yıllar ömürlerini sürdürebilmeleri için doğal etkilere karşı korumak ve afet ve dış etkilere karşı daha mukavemetli hale getirmek için hasarların onarımı gerekmektedir.

İlk yığma yapılar doğal taşların üst üste yerleştirilmesiyle oluşturulmuştur. İnsanlık tarihi boyunca en önemli ve görkemli yapılar taştan yapılmıştır. Taş inşaat malzemesi olarak her yörede bulunabildiği ve ekonomik olduğu için yaygın olarak yığma yapıda duvarlarda kullanılmıştır. Tarihi yığma yapılara örnek olarak Mısır'daki Piramitler verilebilir. Günümüzde halen ayakta kalabilmiş olan bu yapıların çoğu yığma kargir yapılardır. Taş doğada ulaşılabilir bir malzeme olduğu için tarih boyunca yaygın olarak duvar malzemesi olarak kullanılmıştır. Kullanılan taşın çeşidine göre değişmekle birlikte taşın basınç dayanımı oldukça yüksektir.

Taşların çok ağır ve işçiliğinin zor olması, yapı malzemelerinin geliştirmesi veya değiştirmesi gerekliliğini ortaya koymuştur. Bu nedenle kil bloklar pişirilerek tuğla yapımına başlanmıştır. İlk zamanlarda yığma yapılar sadece kendi ağırlıklarının oluşturduğu sürtünme ve yer çekimi nedeniyle harçsız ayakta kalabiliyorken, daha sonraki dönemlerde harç olarak, ilerleyen çağlarda çamur kili harç olarak kullanılmaya başlanmıştır. Daha sonraları ise yığma yapılar çeşitli harçlar kullanılarak daha mukavemetli oluşturulmuştur. (Ercan,2010).

Taşıyıcı strüktürü olmayan, yapı elemanları doğal taş, kerpiç ve tuğla gibi blokların üst üste yerleştirilerek harç ile bağlanması ve döşemenin de bu yığma duvarlara bindirilmesiyle oluşturulan, duvardaki her bir bloğa gelen düşey yükün alt birimlere aktarıldığı sistemlere yığma yapı denilmektedir. (Ertekin,2020)

Bilinen en eski zamanlardan bu yana doğada bulunan taşlara çeşitli yöntemlerle şekiller verilmiş ve bir araya getirilerek örülmesi ile yığma yapılar elde edilmiştir. Yığma yapıda kullanılacak elemanların seçiminde malzemelerin mekanik ve kimyasal özellikleri belirleyicidir. Yığma yapılar, basınç dayanımı yüksek olmasına rağmen çekme dayanımı düşük malzemelerden oluştuğu için büyük basınç kuvvetlerine dayanabilen bu elemanlar eğilme ve kayma etkilerine karşı daha dayanıksızdırlar. Yığma yapıda kullanılan birim eleman ve bağlayıcı (harç vb.) malzemenin özellikleri ve birim elemanların bağlayıcı ile birlikte davranışları incelenmeli ve yığma yapının mekanik davranışı bu özelliklere bağlı olarak değerlendirilmelidir (Kara, 2009).

Yığma yapı malzemeleri olan taş, tuğla, kerpiç ve harcın basınç dayanımı yüksek iken çekme dayanımı düşük olup, gevrek oldukları için basınç ve çekme kuvvetlerine maruz kaldıklarında ani deformasyona uğrarlar. Deprem kuvvetleri ve zemindeki çökme ve oturmalardan dolayı ortaya çıkan çekme gerilmelerini karşılayamayarak taşıyıcı elemanlarda çekme çatlakları ortaya çıkmaktadır. Deprem hareketinin yönü ve şiddetine göre bu çatlakların da yönleri ve çatlak şekilleri değişiklik göstermektedir. Ayrıca yapının işçiliği, yapıda kullanılan malzemelerin özellikleri ve duvarlardaki boşluk oranlarına göre bu çatlakların görülme şekli değişebilir. Çatlaklar genellikle kapı ve pencere boşluklarının çevresinde, duvar ve döşeme birleşim bölgelerinde, duvarların kesişim bölgelerinde oluşmaktadır. (Hökelekli, 2015).

Tarihi yığma yapıların büyük ve ağır kütlelerinin uzun yıllar ayakta kalabilmesini etkileyen faktörleri şu şekilde sıralayabiliriz; zemin sorunları, deprem kuvvetleri, çevresel ve doğal şartlar, insanların neden olduğu olumsuz etkiler olarak. Bu faktörlerden en tehlikelisi olan depremlerin geçmişte birçok tarihi yapıya büyük hasar verdiği veya yıktığı bilinmektedir.

Türkiye’de 06.02.2023 tarihinde Kahramanmaraş İlinin Pazarcık ve Elbistan İlçelerinde 7,7 ve 7,6 büyüklüklerinde depremler meydana gelmiştir. Meydana gelen bu depremler Kahramanmaraş ve çevre illerinde çok sayıda can kaybına ve yapı hasarlarına yol açmıştır. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı’nın yayınladığı (2023) Kahramanmaraş ve Hatay Depremleri Raporuna göre; “Depremden etkilenen 11 ildeki acil yıkılacak, yıkık veya ağır hasarlı konut sayısı 518.009, orta hasarlı konut sayısı 131.577, az hasarlı konut sayısı 1.279.727 olmak

üzere” toplam 1.929.313 konut hasarı belirlenmiştir. Hasar gören yapılar arasında tarihi eser niteliğindeki köprüler, camiler, kiliseler, konaklar, kaleler ve diğer tarihi ve kültürel yapılar da mevcuttur. Tarihi yapılar, taşınmaz kültür varlıklarımızın en somut örneğidir. Tarihi yığma yapıların büyük ve ağır kütlelerinin uzun yıllar ayakta kalmasının önündeki en büyük engel ise maruz kaldıkları deprem kuvvetleridir. Tarihi yapılarımızın depreme karşı dayanıklı olması ve gelecek nesillere güvenle aktarılması amacıyla depremin yaratacağı hasarları en aza indirmek için deprem performanslarının önceden belirlenmesi ve gerekli önlemlerin alınması önem arz etmektedir.

Kahramanmaraş depremine benzer büyüklükte bir depremin Amasya’da olması durumunda bu bölgede bulunan tarihi yapılarda oluşabilecek hasarları öngörmek ve gerekli tedbirleri almak amacıyla bu çalışmada uygulama örneği olarak Amasya ilinde tarihi önemi büyük olan İlhanlı dönemine ait yığma bir yapı olan Bimarhane (Darüşşifa)’nin deprem performansı değerlendirilmiştir.

1.1. Literatür Araştırması

Tarihi yığma yapıların sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak üç boyutlu modellerinin performans analizlerinin yapılması ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalardan bir kısmı aşağıda özetlenmiştir:

Timur (2001), Edirnekapı Mihrimah Sultan Cami örneğinde; tarihi yığma yapılarda hasar türleri ve nedenleri ve bu yapıların onarım ve güçlendirme yöntemlerini irdelemiş, özellikle sismik yalıtım tekniği üzerinde durmuştur. Yapının sonlu eleman modelini oluşturarak, SAP90 ve SAP2000 programlarını kullanarak yapının taşıyıcı sisteminin sismik yalıtımlı ve yalıtımsız hallerinin titreşim analizi yapmış ve sonuçları karşılaştırmış ve sonuç olarak sismik yalıtım sisteminin uygulanması önerilmiştir.

Akan ve Özen (2005), Bursa’da bulunan Yeşil Türbe’nin SAP2000 programı ile strüktürel analizini yapmışlar ve analiz sonuçlarının değerlendirilmesi için yer değiştirme, moment, kesme kuvveti ve eksenel kuvvetleri gösteren grafiklerden faydalanmışlardır. Çalışma lineer elastik malzeme özelliklerine göre yapıldığından gerçek malzeme davranışı açısından tatmin edici sonuçlar elde etmek zor olmuş ve daha gerçekçi sonuçlar için doğrusal olmayan analiz yöntemlerinin kullanılması gerektiğini belirtmişlerdir.

Ural, 2005 Trabzon'un Maça ilçesindeki Coşandere (Kınalı) Köprüsü sonlu elemanlar metoduyla analizlerini yapmıştır. Köprü SAP2000 programında modellenerek statik analizinde gerilme ve şekil değiştirmeler bulunmuş ve modelin doğrusal elastik deprem davranışı incelenmiştir. Dinamik analizler için modele 1940-Elcentro depreminin ivme kayıtları etkilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre kemer yüksekliğinin orta bölgesinde maksimum gerilmelerin meydana geldiği gözlemlenmiştir.

Yılmaz (2006) Sakarya ilinin Sapanca ilçesindeki Rahime Sultan Cami'nin deprem güvenliğinin belirlenmesi amacıyla yapının SAP2000 yazılımı aracılığıyla sonlu elemanlar modeli oluşturularak sayısal çözümlemeler yapmıştır. Sayısal çözümler sonucunda bulunan gerilmelerin, mesnet bölgelerinde, kubbe kasnak birleşim yerlerinde ve kapı, pencere boşluklarının kenarlarında olduğu gözlenmiş, çekme ve basınç gerilmelerinin sınırın altında kaldığından caminin güvenli olduğu sonucuna varılmıştır.

Dabanlı (2008)'nin İstanbul'da bulunan Hırka-i Şerif Camii'nin deprem performansını değerlendirmek için yaptığı tez çalışmasında; hazırlanan üç boyutlu sayısal analiz modeli kullanılarak; sırasıyla düşey yükler altında statik analiz, modal analiz ve davranış spektrumu analizleri yapılarak yapının sismik performansı, gerilmeler ve yer değiştirmeler ile belirlenmiştir.

Kara (2009)'nin sayısal çalışmasında; yığma kargir 5 adet yapının mevcut durumlarının 2007 Deprem yönetmeliğine göre güvenlik seviyeleri belirlenerek güçlendirme ihtiyacının olup olmadığı belirlenerek, kullanılan güçlendirme yöntemleri hakkında detaylı bilgi verilmiştir.

Akdeniz (2011), Malatya Ulu Cami'nin lineer ve lineer olmayan analizlerini Bingöl depremi ivme kayıtlarını kullanarak ANSYS programı ile yapmış, sonuçta çatlakların; çekme gerilmelerinin büyük değerler aldığı kemer-duvar birleşim bölgelerinde, duvar birleşim bölgelerinde ve duvar-temel birleşim arayüzeyinde yoğunlaştığını tespit etmiştir.

Özkaya (2013), tez çalışmasında Ordu ilinde bulunan tarihi Sarpdere Köprüsünün 3 boyutlu modelini ANSYS programı ile oluşturup tek açıklıklı yığma kemer köprülerin çeşitli yükler altında oluşabilecek hasarları öngörmek için doğrusal olmayan analizler yaparak değerlendirmiştir. Doğrusal olmayan analizler esnasında maksimum yüke yaklaşıldığında, ANSYS programının çözüme ulaşamadığı ve

analizin durduğu için yakınsama probleminden dolayı ANSYS programının yetersiz kaldığı sonucuna varmıştır.

Hökelekli (2015), doktora tezi kapsamında Manisa Hafsa Sultan Cami ve minaresinin sismik davranışları analitik ve deneysel yöntemler ile belirlenmiştir. Caminin üç boyutlu modeli oluşturularak doğrusal ve doğrusal olmayan analiz çalışmaları gerçekleştirilmiş ve netice olarak yapıların gerçeğe yakın deprem davranışını görebilmek için doğrusal olmayan analiz yöntemlerinin kullanılmasının daha doğru olacağı belirtilmiştir. Ayrıca tarihi yapıların dinamik karakteristiklerinin belirlenmesi için Operasyonel Modal Analiz yönteminin, sonlu elemanlar yönteminin doğruluğunu kontrol etmek için işlevsel olduğu görülmüştür.

Mutlu (2015) çalışmasında Bursa Ulu Cami ve Yeşil Cami'nin makro modelleme yöntemi ile üç boyutlu modellerini oluşturmuş ve Sap2000 programı ile modal analizlerini ve zaman tanım alanında doğrusal analizlerini yapmıştır. Analizler sonucunda Ulu Camii'nin deprem etkisi altında duvarlarının oldukça başarılı bir performans göstermesine rağmen, kubbelerde çökme olasılığı, minarelerde ise çekme gerilmeleri sonucu hasarların görülebileceği tespit edilmiştir.

Tetik (2015) İstanbul Tarihi Yarımadası'ndaki Şeyh Süleyman Mescidi örneğinde tarihi yapıların sonlu elemanlar yöntemiyle analizini ele almıştır. Oluşturulan üçboyutlu modelde, deprem durumunda statik, dinamik ve zaman tanım alanında dinamik analizleri yapılarak yapının mevcut durumu incelenmiş, çekme ve basınç dayanımları belirlenen yapı elemanlarının zayıf kesitlerinin görüldüğü yerlere güçlendirme önerisinde bulunulmuştur.

Anadut (2016), tez çalışması kapsamında Yozgat ilindeki Elekçi Köprüsü ve Yozgat Saat Kulesi'ni SAP2000 programı ile makro modelleme tekniğine göre modellemiş, 1992 tarihli Erzincan depreminin ivme kayıtları ile zaman tanım alanında deprem analizleri yapılmıştır. Her iki tarihi yığma yapıya aynı deprem kayıtları uygulanarak elde edilen analiz sonuçlarında, köprünün daha rijit, saat kulenin ise daha narin bir yapı davranışı gösterdiği, benzer bir depremin yaşanması durumunda kulenin daha büyük bir hasara uğrama ihtimali olduğu belirtilmiştir.

Şeker, (2017) çalışmasında, Alaca Minare Mescidinin üç boyutlu modeli, bilgisayar ortamında oluşturmuş, daha sonra bu model statik ve dinamik analizleri yapılmıştır. Statik analiz sonucunda, ana giriş kapısı üst bölümleri ve son cemaat mahalli taşıyıcı sütununda gerilmelerin yoğunlaştığı bölgeler olmuştur. Dinamik

analizler sonucunda, mescidin serbest titreşim ötelenmelerinin her iki yönde yüksek kütle katılım oranları ile gerçekleştiği belirlenmiş ve sonuç olarak, hasara uğraması muhtemel bölgeler için uygun tekniklerle restorasyon yapılması önerilmiştir.

Özdemir (2018), yaptığı tez çalışmasında Antik Kent Tiyatrosu'nun sahne yapısını SAP2000 programı ile sonlu elemanlar metodunu kullanarak makro modelleme tekniği ile performans analizlerini yapmıştır. Analizler sonucunda; gerilme ve şekli değiştirme yönünden değerlendirilmiş, yapının düşey yükler altında dayanımının yeterli olmasına rağmen duvarların düzlem dışı rijitliği yetersiz olduğu için deprem esnasında duvarların düzlem dışı hareketin önlenmesi için tedbirlerin alınması önerilmiştir.

Uray (2018), İznik Yeşil Camii malzeme özelliklerini belirlemek için yapıda tahribatsız deneyler ve kimyasal analizler yapmış, yapının zemin özelliklerinin belirlenmesi amacı ile çevrede yapılan zemin etüt çalışmalarını incelemiş, yapının üç boyutlu modeli ile sonlu eleman modelini oluşturarak, statik analiz, modal analiz ve davranış spektrum analizleri yapılmış ve gerilme değerleri, yer değiştirme değerleri ve yapının sismik performansını belirlemek için verileri elde ederek yapının hasarlı bölgeleri için değerlendirmeler yapmıştır.

Erkul (2018) çalışmasında, geleneksel yığma bir Bayburt evinin incelemiş, yapının StatiCAD-Yığma programında modelini oluşturarak 2007 DBYBHY ve 2013 Riskli Bina Tespit Yönetmeliğine göre deprem performansını belirlemek için analizlerini yapmış ve elde edilen sonuçları karşılaştırarak değerlendirmiştir.

Yıldızoğlu, (2019) çalışmasında; yığma bir yapı olan Bayburt Lisesi'nin SAP2000 programı ile; modal analiz, davranış spektrum analizi, zaman tanım alanında doğrusal analizleri yapmıştır. Yapılan analizler neticesinde yapının oldukça rijit davrandığını 2007 Deprem Yönetmeliği'ne göre, muhtemel bir deprem durumunda yapıda hasar olmayacağı ve zaman tanım aralığı analizindeki gerilme değerlerine göre benzer depremde yapının hasar alabileceği sonucuna varılmıştır.

Kumbasaroğlu ve Çelik (2019), eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanarak Tarihi Yanıkoğlu Camisi'nin sismik performans düzeyini belirlemek için Vakıflar Genel Müdürlüğü'nün yayımlandığı Tarihi Yapıların Deprem Risklerinin Yönetimi Kılavuzu kullanmış ve ötelenme oranı %0,3 hasar sınırını aşmadığı için yapının performans düzeyi Sınırlı Hasar olarak tanımlanmıştır.

Ertürk, 2020 çalışmasında Çorum Saat Kulesi'nin sismik tehlike analizi için

sonlu eleman modeli ANSYS yazılımında oluşturularak doğrusal dinamik analizleri gerçekleştirilmiştir. Basit ölçeklendirme yöntemi kullanılarak elde edilen kayıtların uygulandığı analizler neticesinde elde edilen maksimum yer değiştirmeler, asal çekme gerilmeleri ve şekil değiştirmeler ilgili yönetmeliklere göre irdelenerek saat kulesinin dinamik davranışı değerlendirilmiştir.

Uzdil,(2020) tez kapsamında İstanbul Üniversitesi Rektörlük Binası'nın deprem performansının belirlemek için sonlu elemanlar programı olan MidasGen kullanılarak , 3D model üzerinde doğrusal (lineer) analizleri yapmış, Kinematik limit analizleri için ProCINEM programını kullanılmıştır. Analizlerin sonucunda yapıya güçlendirme önerilerinde bulunulmuştur.

İzgi 2020, çalışmasında Diyarbakır Surlarındaki bazalt taşı ile inşa edilmiş yığma yapı olan Yedikardeş Burcunu incelemiştir. Yedikardeş burcunun sonlu eleman modeli, ANSYS programı yardımı ile statik ve dinamik analizleri yapılmıştır. Burcun duvarları üç farklı biçimde modellenerek, spektral analiz sonucu sismik performansları karşılaştırılmıştır. Yapılan analizler sonucunda yapının sınırlı hasar (SH) performans düzeyinde olduğu belirtilmiştir.

Özen (2021), çalışmasında Akseki'deki bir düğmeli evi seçerek, restorasyon öncesi malzeme seçimine yönelik olarak yapının uygun yerlerinden numuneler alarak, yapılan deneyler sonucunda basınç dayanımı, porozite, su emme yüzdesi, yoğunluk, kompasite değerleri elde edilmiştir. Deneyler ve statik analiz sonucunda elde edilen verilerle yapının SAP 2000 programı ile modeli oluşturulmuş ve analizler sonucunda, yapının statik açıdan güvenli olduğu sonucuna varılmıştır. Düğmeli evlerinde yapılacak restorasyon çalışmaları için malzeme seçimine yönelik yöntem önerilmiştir.

Şeker ve Büyükgüner (2021), tarafından yapılan çalışmada; Amasya II. Bayezid Camisi'nin statik ve dinamik yükler altındaki performansı değerlendirilmiştir. Sonlu elemanlar yöntemiyle hazırlanan üç boyutlu modelin analizleri ANSYS programı ile değerlendirilmiştir. Statik analizlerden elde edilen sonuçlara göre maksimum gerilmeler ana kubbenin altındaki taşıyıcı kemerin tepe noktalarında ortaya çıkıyor ve statik yükler altında bu noktalarda deformasyonlar meydana geldiği görülüyor. Dinamik analizler neticesinde, yapının gerilme ve deformasyonların büyük değerlere sahip olduğu bölümlerinin kubbeler, minareler, son cemaat yeri ve ana taşıyıcı birimdeki sütunların alt ve üst noktaları olduğu

görülmüştür.

Altunok, H. (2022) tez çalışmasında Konya-İshak Paşa Türbesi'nin deprem davranışını belirlemek için SAP 2000 programını kullanarak yaptığı analizler sonucunda, türbenin rijit bir yapıda olduğu ve yıkılma olasılığının neredeyse hiç olmadığını belirtmiştir.

Erkmen (2022), Erzurum- Üç Kümbetlerden Anonim 2 Kümbeti üzerinde tahribatlı ve tahribatsız deneysel incelemeler yaparak, yapının sonlu elemanlar modelini oluşturarak teorik modal analizler gerçekleştirmiş ve Operasyonel Modal Analiz yöntemiyle karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda; teorik modal analiz sonuçlarıyla operasyonel modal analiz sonuçları arasında maksimum %6 oranında fark olduğu görülmüştür.

Şeker ve Farsangi (2022)'nin çalışmalarında, Amasya Burmalı Minare Camii'nin sismik performans analizini yapmak için Erzincan depremi (1992) kayıtları kullanılmıştır. Yapılan statik ve dinamik analizler neticesinde, gerilmelerin, özellikle ortadaki kubbede, kubbeyi taşıyan kemerlerde, bu kubbeyi taşıyan sütunların mesnet noktalarında, kubbenin kasnak kısmında yoğunlaştığı görülmüştür.

Özkaya, S. G., ve Özdemir, M. A. (2023), Erzurum Muratpaşa Cami'nin Sismik performansını ANSYS Workbench programı kullanarak değerlendirmiş, Kahramanmaraş ili Pazarcık ilçesinde 06.02.2023 tarihinde meydana gelen depremin Kuzey-Güney yönündeki ivme kayıtları kullanılarak statik ve dinamik analizleri yapılmış ve benzer bir depremde caminin son cemaat bölgesinde taşıyıcı sütunları ve kubbelerinde ağır hasar meydana geleceği öngörülmüştür.

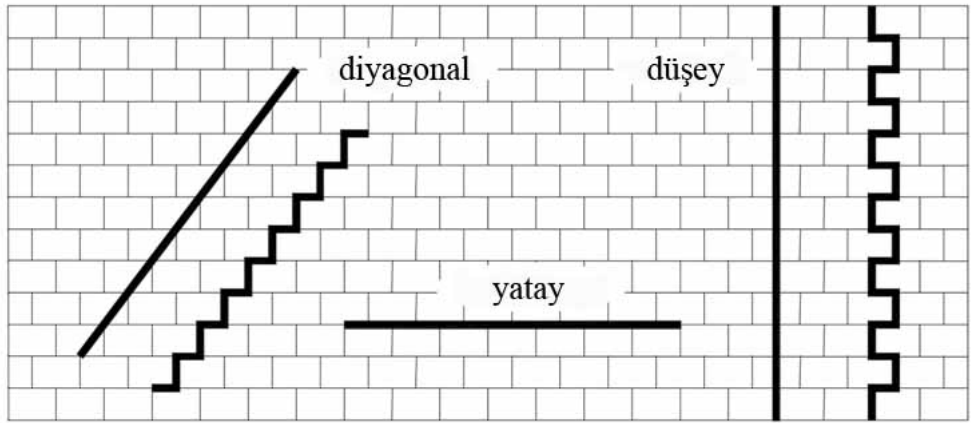
Kocaman ve Kazaz (2024)'ın çalışmalarında, Konya Karapınar Sultan Selim Caminin deprem performansını belirlemek için beş farklı deprem kaydı kullanılmış ve zaman tanım alanında dinamik analizleri yapılmış, elde edilen deplasman değerleri ile, deplasmana dayalı performans sınır değerleri belirlenip literatür ile karşılaştırılmış, belirlenen değerlerin yönetmeliklerde önerilen limitlerden düşük çıkmıştır. Literatürde yapılan çalışmalardan elde edilen hasar sınırlarının elde edilen hasar limitlerini desteklediği görülmektedir. Bu nedenle bahsedilen yönetmeliklerde önerilen hasar sınırlarının tarihi camiler için kullanılmasının riskli olacağı belirtilmiştir.

2. YIĞMA YAPI HASAR TÜRLERİ

Tarihi yığma yapılarda onarım ve güçlendirme yöntemine karar verebilmek ve hasarların tekrar oluşmasını önlemek için öncelikle yapısal hasara neden olan sorunların tespit edilmesi gerekmektedir.

Yığma yapıda hasara sebep olan faktörleri; düşey yükler, deprem kuvvetleri, yapı elemanlarının kesitinin daralması, zeminden kaynaklı sorunlar ve temel oturması, trafik titreşimleri, rüzgâr yükleri ve yanlış müdahaleler gibi doğal veya insan kaynaklı olumsuz etkiler olarak sınıflandırabiliriz. Bu hasarlar yapı elemanlarında çatlak, ezilme, parça kopması, düzlem içi-düzlem dışı hareketler ve malzeme bozulmaları şeklinde görülmektedir. Hasarların olduğu bölgeler yapı taşıyıcı sistemindeki zayıf bölgeler hakkında bilgi verir. Yığma yapıda duvarlar taşıyıcı olduğu için yapıda oluşan hasarlar doğrudan taşıyıcı sistemi etkileyerek, yapı elemanlarının yük taşıma ve şekil değiştirme kapasitelerini büyük ölçüde değiştirip, durabilite ve görünüşünü etkilemektedir. (Ertekin, 2020)

Perde duvar görevi gören takviyesiz yığma duvarlar esasen düzlem içi davranış gösterirler. Düzlemsel yükleme sonucunda kayma gerilmelerinin etkisi altında diyagonal çatlaklar ortaya çıkar. Çatlaklar, genellikle merdiven benzeri bir şekilde, tuğlalar arasındaki zayıf harç katmanlarının yolunu takip eder. (Şekil 2.1) (Erdoğan, 2008).



Şekil 2.1. Yığma yapıda görülen çatlak tipleri (Holanda Júnior, 2002)

Çatlak oluşumunda, çatlak şekline, yerine ve ölçüsüne göre yapıya müdahale yöntemi seçilmelidir. Yığma duvarlarda oluşan çatlak genişliğine göre hasar dereceleri Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1. Yığma yapılarda çatlak genişliğine göre hasar düzeyleri (Bayülke, 1999)

Çatlak genişliği	Hasar Derecesi	Açıklamalar
0.1'den az	Önemsiz	Yapıya ve kullanıma etkisi yoktur
0.1-0.3 mm	Önemsiz, az	Taşıyıcı sisteme ve yapının kullanımına bir etkisi yoktur
0.3-1.0 mm	Az	Taşıyıcı sisteme bir etkisi yoktur. Estetik açıdan sakıncalı olabilir.Dış cephe elemanlarının yıpranmasını hızlandırır.
Buraya kadar olan çatlaklar kılcal çatlaklardır. Çoğu zaman gözden kaçabilir. 1 mm yakın çatlarda duvar kağıtlarında buruşukluklar gözlenebilir.		
Çatlak genişliği	Hasar Derecesi	Açıklamalar
1.0-2.0 mm	Orta	Taşıyıcı sisteme bir etkisi yoktur. Estetik açıdan sakıncalı olabilir. Dış cephe elemanlarının yıpranmasını hızlandırır.Bu düzeydeki çatlaklar ve briketleri, pencere kapı lentolarını çatlatabilir.Birkaç metre uzaktan fark edilebilirler. Bu düzeyden daha ileri düzeydeki çatlaklar yapıda oturanları önlem alınması için harekete geçebilir.
2-5 mm	Orta	Taşıyıcı sistemi etkilemeye başlar.Dış duvarlardan içeriye hava akımları duyumsanmaya başlar, pencere ve kapılar sıkışır ve kapanmamaya başlar. Yapının kullanımı eklenmeye başlar.
5.0-15.0 mm	Orta-Ağır	Kapı ve pencereler sıkışabilir.Su ve kanal bağlantıları kırılabilir.Binaya su ve soğuk hava girer. Pencere camları çatlar ve kırılabilir, sıvılar dökülmeye başlar. Tuğla duvarlar parçalanır. Yığma kemerler çökebilir.Bu boyutlardaki çatlaklar kabul edilemez çatlak sınırı oluşturur.
15.0-25.0 mm	Ağır	Ciddi onarım ve güçlendirme gerektirir.Yapının stabilitesi çok büyük bir tehlike altındadır.
25.0mm'den çok	Çok ağır ve çok tehlikeli	Yapıda ağır hasar,ciddi onarım ya da yeniden yapım gerekir

2.1. Düşey Yüklere Bağlı Oluşan Hasarlar

Yığma yapılarda çatı, döşeme ve duvar yükleri düşey ve doğrusal hareket eden yüklerdir. Bu yüklerin duvar kesiti üzerindeki etkisi (σ) bir basınç gerilimi oluşturur. Normal durumlarda bu gerilmeler duvar basınç emniyet gerilmelerini (σ_e) aşmamalıdır. Buna göre duvar kalınlığı belirlenir (Wilson, 2018).

Tarihi yığma yapılarda düşey yükler, döşemelerden taşıyıcı duvarlara veya sütunlara oradan da temele aktarılır. Zaman içerisinde binanın statik ve zati yüklerin etkisiyle taşıyıcı elemanlarda basınç gerilmeleri meydana gelir. Düşey doğrultuda taşıyıcı elemana etkiyen basınç kuvveti malzeme dayanımını aştığında, ilk olarak basınç kuvvetine paralel yönde çatlaklar oluşur. Duvarlarda ise bu çatlaklar dik olarak görülmektedir (Chamaky, 2014).

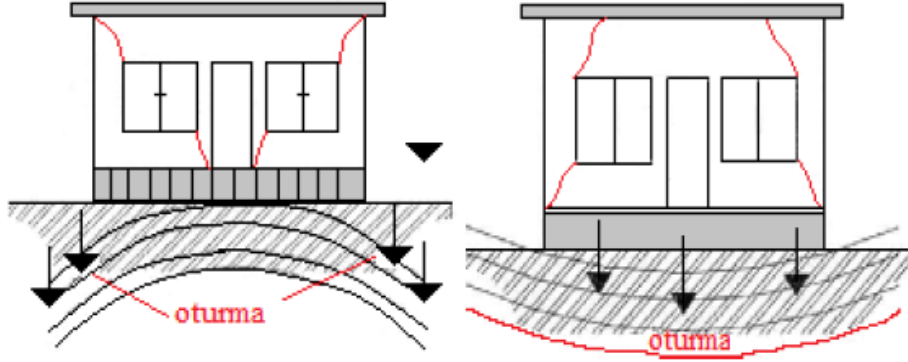


Şekil 2.2. Statik durumda zati yüklerin sebep olduğu düşey çatlaklar (Oyguç, 2017)

2.2. Zeminden Kaynaklanan Hasarlar

Zeminden kaynaklanan hasarlar; zemin sıvılaşması, killi zeminin depremlerle yoğrulması, temel derinliğinin yetersiz olması, yatay ötelenmeler, yüksek binaların narin olması ve taşıma gücü kaybı gibi sorunlardır. Yapının altındaki toprağın zayıf mukavemeti veya homojen olmaması, zamanla yapıda çatlamaya, dönmeye ve çeşitli türlerde çökmelere neden olabilir. Yapıdaki çatlakların yeri ve yönüne bakılarak hasarın zeminden mi kaynaklandığı hakkında kabaca fikir sahibi olunabilir. Binanın her iki ucu sağlam zemine oturuyor ancak orta zemin gevşek ise kapı ve pencere açıklıklarının köşelerinden başlayıp yanlara doğru 45 derecelik açıyla gelişen çatlaklar ortaya çıkar. Alt kısmı dar ve üste doğru açılan kama şeklindedir (Amman, 2012).

Bir cephenin orta bölümündeki oturma köşelerdekenden fazla ise oturma çatlakları temele yakın yerlerde daha genişken, eğer köşelerdeki oturma ortaya göre daha çoksa, eğik oturma çatlakları yukarıya doğru genişler. Şekil 2.3.'de farklı oturma durumlarındaki çatlaklar görülmektedir.



Şekil 2.3. Zeminde farklı Oturma şekillerine göre oluşan eğik çatlaklar (Döndüren ve diğerleri, 2017)

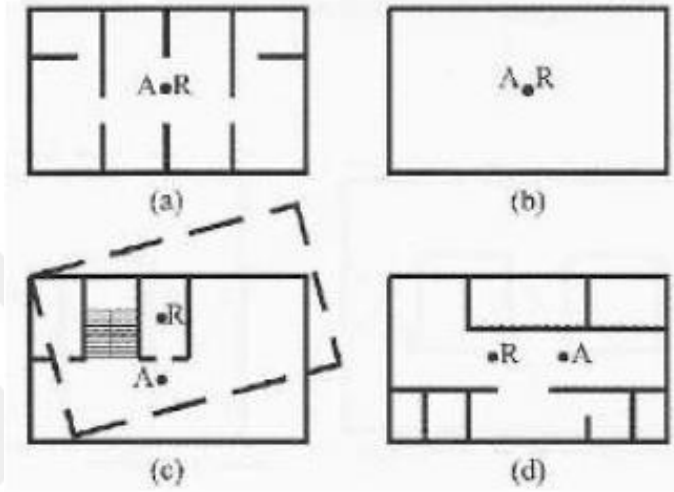
Yeraltı su miktarının fazla olduğu yumuşak zeminlere oturan yapılarda yeraltı suyunun yükselip alçalması yapıya zarar verebilmektedir. Yeraltı suyu azaldıkça suda yüzen zemin tanelerinin ağırlığı artar, bu da alt toprak katmanlarına binen ek yükü artırır. Bu ek yükün etkisi altında toprak katmanları yeniden oturmaya başlar ve bu oturmaların belli değerlere ulaşması durumunda yapı zarar görebilir. Yeraltı suyunun azalmasından dolayı rötre meydana gelir. Özellikle killi zeminlerde rötre sonucunda hacim çok azalmakta ve oturmalar eskisinden daha fazla olmaktadır. Yeraltı sularının yükselmesi sonucu topraktaki boşluklar tamamen suyla dolduğunda zemin doymun hale gelir. Bu durumda zemin yumuşar ve taşıma kapasitesi azalır, çünkü zeminin kayma direnci azalır, oturma meydana gelir ve bu da yapıya zarar verebilir (Aköz, 2008).

2.3. Taşıyıcı Sistem Tasarımındaki Hatalar

Binaların özgün tasarımında taşıyıcı sistemleriyle ilgili boyut hataları varsa; duvar, kolon, kiriş, payanda yapı elemanları yatay ve düşey yüklere dayanacak kesitte tasarlanmamışsa yapıda ciddi hasarlar meydana gelebilir. Kesitleri yetersiz olan bir duvar zamanla çöker, aynı durum payanda da meydana gelirse desteklediği kemer, tonoz ve kubbelerde ayrışmasına ve hatta yapının çökmesine neden olabilir (Mahrebel, 2006).

Simetrik planın uygulanmadığı yığma yapılarda, rijitlik merkezinin ağırlık merkezine yakın olmamasından dolayı yatay ve düşey yüklerin etkisinde yapıda hasarların oluşmasına sebebiyet verir. Şekil 2.4a ve Şekil 2.4b'deki duvar planları, ağırlık merkezi ve rijitlik merkezleri birbiriyle çakışacak şekilde tasarlanmıştır.

Böylece depremde hasar görmesi tasarım aşamasında önemli ölçüde önlenmeye çalışılmıştır. Şekil 2.4c’de ise yapının ağırlık merkezi ile rijitlik merkezi birbirlerine uzak oldukları için deprem kuvveti ağırlık merkezine etkileyeceğinden yapı, rijitlik merkezinin etrafında dönmeye zorlanır ve bu da yapıda burulma çatlaklarının oluşmasına sebep olur. Şekil 2.4d’ de ise deprem doğrultusuna dik yöndeki duvarın rijitliği yetersiz olduğu için deprem kuvvetleri etkisi ile duvarlarda büyük ötelenmeler oluşur ve yapıda çatlaklar görülebilir (Özsaraç, 2008).



Şekil 2.4. Yığma yapı duvar planlarında ağırlık merkezi ile rijitlik merkezi farklı durumları (Özsaraç, 2008)

Yığma yapılarda yapılan bir başka tasarım hatası ise, yapının dış cephesinde, büyük ölçüde kapı ve pencere açıklıklarının bırakılmasıdır. Yığma yapılarda taşıyıcı duvarlarda büyük boşluklar bırakıldığında depremde oluşan kesme kuvvetlerinin iletilmesi için yeterli alan olmayacağı için, yığma duvarlarda deprem hasarı daha çok görülmektedir. Deprem dayanımı açısından bir başka dikkat edilmesi gereken husus ise duvarlardaki kapı ve pencere boşlukları arasında yeterince dolu duvarların olmasıdır. Dolu duvarların varlığı yatay ve düşey yüklerin iletilmesi için gerekli alanları sağlamış olur. Bununla birlikte duvarların geniş olması duvarlarda oluşacak basınç ve kayma gerilmelerinin izin verilen emniyet sınırlarında kalmasıyla daha güvenli olmasını da sağlayabilir (Bayülke, 2011).



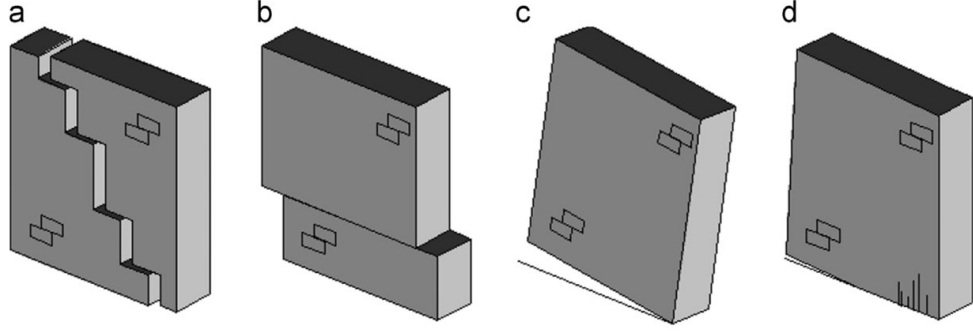
Şekil 2.5. 1975 Lice Depremi sonrası boşluk oranı fazla ve az olan komşu iki duvarın farklı hasar düzeyleri (Bayülke, 2011)

2.4. Deprem Yüklerine Bağlı Hasarları

Yığma duvarlarda yaygın olarak kullanılan duvar malzemelerinin çekme dayanımı, harcın ise kesme dayanımı düşüktür. Hasarın ana nedeni depremlerin neden olduğu kesme gerilmelerinin neden olduğu çekme gerilmeleri nedeniyle duvarlarda oluşan çatlaklar, derz ayrışmaları ve sonucunda dağılmalarıdır. Duvarlar çok kalın, ağır ve rijit olduğu için çok büyük deprem kuvvetleri üretirler. Yığma yapının sünek olmayan bu davranışı, çekme ve basınç kuvvetleri altında plastik deformasyon olmadan aniden göçmesine sebep olur (Celep ve Kumbasar, 2014).

Yığma yapıların küçük ve orta şiddetteki depremlerde dahi genellikle hasar gördüğü gözlemlenmiştir. Son zamanlarda literatürde sıklıkla gözlemlenen yığma yapıların çökme nedeni olarak mesnet bölgelerinin hasarları ve deprem yönüne dik olan duvarın düzlem dışı davranışı olarak belirtilmiştir (Nayak ve diğ., 2016).

Literatürdeki depremlerde hasar analiz sonuçlarına göre, donatısız yığma duvarlar düzlem içi kuvvetlere maruz kaldığında dört tip hasar durumu gözlenmektedir: kayma göçmesi, kesme göçmesi, tümenden devrilme ve uç ezilmesi (Şekil 2.6.). Bu hasarlar yalnızca duvarın oranlarına (yükseklik/genişlik oranı) ve malzeme kalitesine bağlı değil, aynı zamanda duvara etkiyen yatay ve düşey yüklere ve mesnet koşullarına göre de değişiklik göstermektedir (Tomažević, 1999).

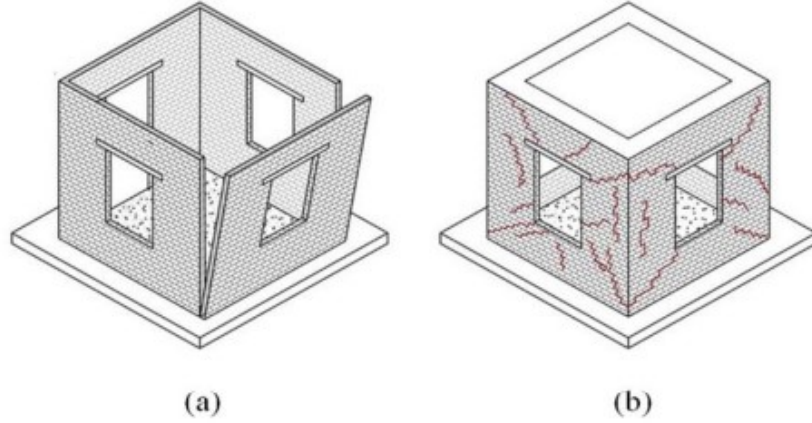


Şekil 2.6. Donatısız yığma duvarların düzlem içi deprem yükleri etkisindeki davranışları: (a) Kesme göçmesi (b) Kayma göçmesi (c) Tümenden devrilme (d) Uç ezilmesi (Macabuag, 2007)



Şekil 2.7. Deprem nedeniyle oluşan diyagonal çatlaklar (Capozucca, 2008)

Yığma yapılarda deprem hasarlarının sebeplerini; düzlem dışı davranış, düzlem içi davranış ve bu iki davranışın beraber görüldüğü durumlar olarak üç grupta sınıflandırılabilir. Düzlem dışı davranış, yığma duvarların dik doğrultusunda etkiyen deprem kuvvetlerinin sonucunda meydana gelirken, düzlem içi davranış ise yığma duvar doğrultusuna etki eden düzlemsel kuvvetlerin sonucunda görülmektedir. Şekil 2.8. ve Şekil 2.9.'da yığma yapılarda görülen düzlem dışı ve düzlem içi davranış gösterilmektedir (Oyguç ve Oyguç, 2011).



Şekil 2.8.(a) Düzlem dışı davranış: duvarların düşeyden ayrılması
(b) Düzlem içi davranış sonucunda görülen X çatlakları



Şekil 2.9.(a) Düzlem içi x çatlakları (b) Düzlem dışı göçme (Lin, 2013)

2.5. Hatalı Malzeme Kullanımı

Yığma yapılarda kalitesiz malzemelerin (taş, tuğla, kerpiç, ahşap) kullanılması yapısal hasarlara neden olabilir. Kullanılan yapı malzemelerinin mekanik özelliklerinin uygulanan yüklere dayanabilecek mukavemette olmalıdır. Yapının çekme dayanımının düşük olması kesme hasarına neden olabilir. Örnek olarak yığma bir duvarda kullanılan taşın atmosferik etkilere karşı daha dayanıklı olması gerekir aksi takdirde bozulan dış katmanlar cepheden ayrılarak düşecektir. Tuğla duvarlarda ise tuğlanın iyi pişmiş olması gerekir, yeterince pişmeyen tuğlalarda yüzey sertliği ve geçirimsizliği azalacağından hızlı aşınma, soyulma, parçalanma gibi hasarlar görülebilir (Özdemir,2018).

Yığma yapı duvarlarında yaygın olarak kullanılan çimentolu kireç harcında, kireç, bağlayıcı harcın sertleşmesini sağlarken su kaybını yavaşlatır, çimento ise

harcın dayanımını artırmaktadır. Yığma duvarların örülmesi uzun sürdüğü için harcın da yavaş sertleşmesi gerekmektedir. Harcın en önemli sorunu iyi pişmemiş tuğlanın harçtaki suyu emerek yeterince sertleşmesini önleyerek mukavemet kazanmasına engel olmasıdır (Bayülke, 2011).

Moloz taş duvarlarda kullanılan doğal taşların boyutları çok farklı olduğu için yatay ve düşey derzler gelişigüzel bir şekilde olduğundan bu duvarların dayanımı daha düşüktür. Killi harcın ıslak halde bir miktar bağlayıcı özelliği olmasına rağmen kuruduğu zaman bu özelliği kaybolarak, kurumuş harç taşların arasından kayıp gitmekte ve birbirlerine çok az noktada değen taşlar arasında sürtünme kuvveti az olduğu için deprem anında dayanımı yetersiz kalarak moloz taş duvarlar yıkılmaktadır. Kalın dış duvar örülürken iç ve dış yüzüne konulmuş ve birbirlerine yeterince kenetlenmemiş olan taşlar kolayca duvardan ayrılır ve genellikle dış duvarlar yıkılmaktadır (Bayülke, 2011).



Şekil 2.10. Moloz taş duvarın yıkılması (Batur, Kaplan, 2006)



Şekil 2.11. Taş ve harç arasında yetersiz aderans (Oyguç,2017)

Kerpiç malzemenin basınç dayanımı az olduğu için deprem etkisi altında artan gerilmelerin etkisiyle yapıda çatlaklara ve daha ileri boyutta hasarlara yol açabilmektedir(Ural vd. 2012). Geçmiş yıllarda yaşanan depremlerde bu hasarlara çokça rastlanılmış ve yığma yapı malzemeleri içerisinde depreme karşı dayanımı en düşük malzemenin kerpiç olduğu görülmüştür. Oyguç (2017), 2011 Van depremlerinden sonra bölgede yaptığı çalışmasında, kullanılan kerpiç malzemenin Türk Deprem Yönetmeliği'ndeki 5 MPa olan basınç dayanım sınır değerinden daha düşük olduğunu belirtmiştir.



Şekil 2.12. Kerpiç duvarda görülen hasarlar (Oyguç (2017))

2.6. Kötü İşçilikten Kaynaklanan Hasarlar

Yapı malzemelerinin dayanımı kadar uygulama esnasındaki duvar-taş işçiliği ve duvar- döşeme bağlantıları, sıva kalınlığı, derz kalınlığı, duvar örülürken taşların birbirleri ile uyumu, köşe birleşim yerlerinin iyi yapılmaması gibi işçilik hataları da duvar dayanımını olumsuz etkilemektedir.

Depremler yapılara her iki doğrultuda kuvvetler uygular, iki yönlü yükleme altında yığma duvarın köşe bölgesi farklı hareketler gösterir ve birbirini iterler. Bu durumda duvar köşe birleşimleri iyi bağlanmamışsa, duvarlar köşelerden birbirlerini düzlem dışına doğru iterek yapıda ayrışma şeklinde hasarlara neden olmaktadır (Koç,2016).



Şekil 2.13. Köşe birleşimindeki hatalardan kaynaklı hasarlar (Bayraktar vd, 2007).

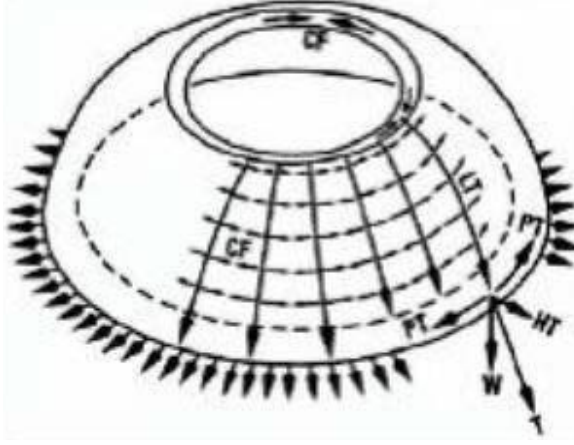


Şekil 2.14. Yığma yapıda köşe ayrılması köşe ayrışması (2011 Van depremi) (Alıcıoğlu, 2012)

2.7. Kubbelerde Oluşan Hasarlar

Kemerlerin kendi simetri eksenleri etrafında döndürülmesi ile kubbe şekli oluşmaktadır. Kubbeler, üzerlerine gelen kuvvetleri pozitif çift eğrilik özelliği ile yüzeylerinde taşıyabilen kabuk elemanlar olarak tanımlanmıştır (Küban 1998).

Kubbe taşlarına düşey olarak etki eden basınç kuvveti, yüzeye birleşke kuvvet olarak hem yatay hem de düşey olarak etkiler. Bundan dolayı kubbe tabanında yükün yatay ve düşey iki bileşeni de oluşmaktadır. Genellikle kubbe hasarlarına yatay kuvvetler neden olmaktadır. Kubbede oluşan bu kuvvetler şekil 2.7.1a'da gösterilmiştir. Kubbeler basınç ilkesine göre tasarlanmış kabuk elemanlardır. Kubbe kasnağının kubbeden gelen yükleri karşılayamaması sonucunda kubbede çekme gerilmeleri oluşur ve çekme kuvveti düşeyde çatlak oluşumuna sebep olur. Şekil 2.7.1.b'de kubbede oluşan çekme kuvvetlerinden dolayı oluşan merkezden tabana kadar uzanan çatlak görülmektedir. (Aköz, 2008).



Şekil 2.15.a Kubbede oluşan kuvvetler



b) Kubbede oluşan hasar

Tarihi yığma yapılarda kargir malzemenin çekmeye karşı zayıf performansı ve kubbe içinde bırakılan pencere boşluklarının sebep olduğu çekme gerilmeleri; kubbe pencerelerinin köşe noktalarında çatlakların oluşumuna sebep olmaktadır (Penelis ve diğ. 1984). Kubbenin taban bölgesinde oluşabilecek çekme gerilmelerine karşı alınabilecek en iyi önlem, bu bölgenin çekme gerilmelerine karşı dayanımı yüksek olan bir malzemeden yapılan çember kasnak ile kuşatılmasıdır. Büyük kubbeli yapılarda kasnaklar, masif ve ağır oluşuyla, tabanda oluşan çekme kuvvetlerini karşılayabilmektedirler (Ünay, 2002). Bir başka çözüm önerisi de kubbe tabanındaki yatay ötelenmeyi engellemek için kubbe etrafında payandaların inşa edilmesidir.



Şekil 2.16. Urla Helvacılar Camindeki eksenel kubbe hasarı (Güzel, 2019)

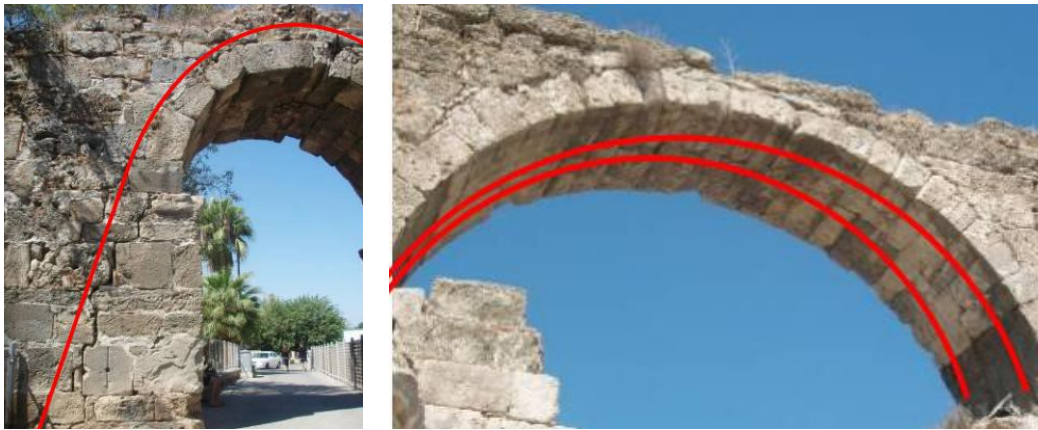
2.8. Kemerlerde ve Tonozlarda Oluşan Hasarlar

Kemerler, iki sütun veya paye arasındaki açıklığı eğri eksenli kirişlerle geçilmesi ile oluşan yapı elemanıdır. Kemer yapımında taş veya tuğla kullanılmaktadır (Ulkay,1978). Tonoz ise kemerin kendi düzlemine dik doğrultuda uzatılması ile oluşan; kemerlerin yük taşıma ilkesine göre yükleri taşıyan tek eğrilikli kabuk yapı elemanıdır (Ünay,2002).

Bir tonozun kesiti alınırsa aynı geometrideki bir kemerle eşdeğer görünecektir. Tonozların mesnet noktalarında oluşan yanal itki kuvvetleri, aşağıya doğru kalınlaştırılmış duvarlar ile veya kemerlerde olduğu gibi gergi ve payandaların desteği ile taşınması sağlanır. (Saraç, 2003).

Kemerlerde oluşan çekme kuvvetleri çekmeye karşı zaten zayıf olan taş veya tuğla örgüde çatlamalara neden olacaktır. Çatlakların oluşması kemerin stabilitesinin bozulmasına her zaman sebep olmayabilir, esas stabiliteyi bozan en büyük etken, mesnetlerin açıklık yönünde fazla açılmasıdır (Ünay, 2002). Bu problem yatay doğrultuda kemerin ötelenmesini engellemek için ahşap veya çelik gergi kirişleri kullanılmaktadır.

Kalın kemerlerde yer çekimi kuvvetlerinin etkisiyle iç yay ve dış yay arasında, duvar boşluğu çevresinde çatlaklar oluşturabilir. Kemer üzerine gelen aşırı yüklerin sonucunda kemer taşlarında oluşan itki kuvvetlerinin karşılanamaması durumunda ezilme veya parça kaybı meydana gelebilir. Şekil 2.17’de yerçekiminin kemerlerde oluşturduğu çatlak tipleri görülmektedir.



Şekil 2.17.Yerçekimin etkisiyle kemerlerde oluşan çatlaklar (Döndüren ve diğerleri, 2017).

Çekme gerilmelerine maruz kalan tonoz ve kubbelerde, çekme bölgesindeki kalınlık azalırsa çekme bölgesi zorlanarak mesnetleri dışa doğru itmeye çalışır, bu

İtkiden kaynaklı olarak tonozlarda mesnetlere paralel yönde, kubbelerde ise mesnetlere dikey doğrultuda çatlaklar meydana gelir. Şekil 2.18.'de bu çatlaklara örnekler verilmiştir (Döndüren ve diğerleri, 2017).



Şekil 2.18. Tonozlarda oluşan çatlak tipleri (Döndüren ve diğerleri, 2017).

2.9. Hasara Sebep Olan Diğer Etmenler

Tarihi yığma yapılar uzun ömürleri boyunca bulundukları iklime bağlı olarak yıllarca olumsuz atmosferik koşullara maruz kalmışlardır. Atmosfer etkileri, özellikle dış hava koşullarına maruz kalan binaların çatılarında, dış duvarlarında ve sövelerde, silmelerde, cephelerde kullanılan diğer malzemelerde önemli sorunlara yol açmaktadır. Bu olumsuz etkiler arasında zemin suyunun duvardaki yukarı yönlü hareketi, ıslanma-kuruma, donma-çözülme, sıcaklık dalgalanmaları, rüzgar, yağmur ve bunlarla birlikte taşınan çeşitli tuzlar yer alır. (Döndüren ve diğerleri, 2017).



Şekil 2.19. Bimarhane ön cepheindeki duvarlarda tuzlanmalar ve renk değişimleri

İklim koşulları yapıya ciddi zararlar verebilir. Özellikle karasal iklime sahip, gece-gündüz sıcaklık farklarının çok fazla olduğu bölgelerde, yığma yapı

elemanlarının içerisinde bulunan beton, ahşap veya metal parçaların(gergiler, kirişler, kilitler vb.) farklı termal genleşme katsayılarından dolayı yapıda çatlaklara neden olabilir.

Suyun kılcal hareket yoluyla bina içerisinde hareketi yapı malzemelerine zarar verir. Zeminden yukarıya doğru yükselen nem, hem taşıyıcı sistemi üzerindeki yükü artırmakta, hem de duvar yüzeyine uygulanan tuzların buharlaşmasıyla çiçeklenmeye neden olarak duvarın fiziksel ve kimyasal yapısını zayıflatabilmektedir. Arızalı bir çatı veya oluk nedeniyle yağmur suyunun bir binadan uzaklaştırılamaması, yosun ve yabani ot oluşumuna uygun bir ortam oluşturur. Hasarlı bölgenin çevresine yosun yerleşir ve ahşap tavan ve zeminlerde mantarlar oluşur (Mahrebel, 2006).

Endüstriyel yerleşim alanlarında trafik ve hava kirliliği sebebiyle atmosfere salınan gazların yanında endüstriyel yerleşim biriminin olmadığı yerlerde de uzun süren kış aylarına bağlı olarak artış gösteren yakıt tüketimi ve egzoz gazları hava kirliliğine yol açmaktadır. Aynı zamanda atmosferdeki azot, kükürt ve nitrat (NO₂) gibi gazlar ve partikül formundaki saf olmayan bileşikler de zamanla yüzeyde birikerek yüzeyde kabuk şeklinde bozulmalar oluşturur. Taş yüzeylerindeki bu kabuklar kar ve yağmur yağmasıyla nemli ortamda reaksiyona uğrayarak duvara asidik bir etki yaparak taşın bileşenlerinden olan kalsiyum karbonatı jipse dönüştürerek aşınma artırır (Eskici vd., 2006; Aslan, 2012).



Şekil 2.20. Bimarhane'nin kuzey cephesinde oluşan siyah kabuk oluşumu

Yosunlaşma, sabit nemde gelişen biyolojik bir çürümedir. Temelden yükselen suyun etkisiyle veya çevre şartlarından dolayı duvarların zemine yakın kısımlarında

bu duruma rastlanabilmektedir. Yosunlar, yağışlı mevsimde yumuşak ve yeşil, yaz mevsiminde ise sert ve sarı renkte görülmektedir. Bu yosunlar yüzeyi kaplayıp duvarın nefes almasını engelledikleri için duvara uzun vadede zarar verebilirler (Döndüren ve diğerleri, 2017).



Şekil 2.21. Bimarhane duvar diplerinde zemindeki sudan kaynaklı görülen yosunlaşmalar

Ağaçlar, bitkiler, mantarlar, yosunlar taş yüzeylerine ve derzlerin içine yerleşip yayılarak bozulmalara sebep olurlar. Şekil 2.21. ve Şekil 2.22.de Bimarhane'nin dış cephesinde zemindeki hatalı eğimden kaynaklı biriken suyun duvar altlarında ve sütun kaidelerinin yüzeylerinde yosunlaşmalar oluştuğu ve bitkilerin türediği görülmektedir.



Şekil 2.22. Bimarhane'nin kuzey cephesi duvar altlarındaki bitki oluşumları

Sel, yangın gibi doğal afetlerin yanında turizm hareketliliği, savaşların yarattığı tahribatlar, kötü kullanım, yıpranma, yorulma, hatalı onarımlar, terk edilme, bakımsızlık ve vandalizm (kasıtlı tahribat) de hasarlara sebep olan diğer etmenlerdir.

3. TARİHİ YIĞMA YAPILARIN ONARIM VE GÜÇLENDİRME TEKNİKLERİ

Tarihi yığma yapılarda sağlıklı onarım ve güçlendirme kararları verebilmek ve hasarların tekrar oluşmasını önlemek için öncelikle yapısal hasara neden olan hususların tespit edilmesi gerekmektedir.

Tarihi yapıları koruma düşüncesinde onarım, restorasyonun temellerinden birini oluşturur. Mimari eseri koruma amaçlı, sağlamlaştırma, güçlendirme, bütünlüme ve yenileme müdahalelerini kapsayan onarım kavramı, yapının özgünlük değerinin sürdürülmesinde önemli rol oynar (Zakar,2013).

Tarihi yapılardaki onarım ve güçlendirme çalışmalarının 1964 Venedik Tüzüğü'ne uygun olması gerekmektedir. Venedik Tüzüğü'ne göre “Onarım uzmanlık gerektiren bir iştir. Amacı, anıtın estetik ve tarihi değerini korumak ve ortaya çıkarmaktır.” Onarım orijinal malzemelere ve güvenilir belgelere uyularak yapılmalıdır. Geleneksel tekniklerin yeterli olmadığı yerlerde koruma ve onarım için deneylerle kanıtlanmış her türlü modern teknolojiyle sağlamlaştırma yapılabilir. Eksik parçalar bir araya getirilirken uyumlu bir şekilde bütünlümlenmelidir ancak bu onarım, sanatsal ve tarihi kanıtları bozmaması için, özgün malzemeden ayırt edici bir şekilde yapılmalıdır (Venedik Tüzüğü,1964).

Onarım, bir yapının yük taşıma kapasitesi ve bütünlüğünün hasar görmesi veya bozulması sonucunda bir kısmının veya taşıyıcı sisteminin sağlamlaştırılması ile yapının ilk halindeki taşıma gücüne ve stabilitesine erişilmesi için yapılan işlemdir (Eyüpgiller & Zakar, 2015).

Güçlendirme ise onarımdan farklı olarak yapının mevcut durumundan daha güçlü bir duruma getirilmesi işlemidir. Güçlendirme, deprem hasarına neden olan kusurların giderilmesi, deprem dayanımını artırmak için yeni elemanların eklenmesi, kütlelerin azaltılması, mevcut elemanların sismik davranışının iyileştirilmesi, kuvvetler altında sünekliğin sağlanması gibi yapıyı daha güçlü hale getirme işlemlerinin bütünüdür (Bayülke, 1995).

Tarihi bir yapıya onarım veya güçlendirme yapılmadan önce yapının tarihi değeri, mimari üslubu, yapı tekniği ve yapı malzemelerinin incelenmesi, rölöve paftalarının hazırlanması, bozulmaların analizi, dönem analizinin yapılması, yapının durumunu ayrıntılı olarak tanımlanması açısından önemlidir. Yapılan bu

araştırmalarla oluşan hasarlar ve hasarların nedenlerinin tespiti ve uygun koruma ve onarım tekniklerinin seçilmesi açısından önemlidir.

Restorasyon, koruma anlayışının en temel ve en kapsamlı birleşenlerinden birisidir. Amerikan İçişleri Bakanlığı Standartları (2004)'na göre restorasyon, bir anıtın formunu, detaylarını ve belli bir tarihte içinde var olduğu çevresini; sonradan yapılan eklerin kaldırılmasını ve önceki dönemdeki durumuna göre eksikliklerinin tamamlanması için hassasiyetle kurtarılma çalışmalarıdır (Burden,2004). Burra Kartası (1999)'na göre restorasyon, yapılan eklemelerin kaldırılarak ve yeni malzemeler eklemekten var olan elemanları tekrardan bir araya toplayıp bir yeri veya dokuyu bilinen en eski özgün haline döndürmektir. Kanada Etik Yasası (2000)'na göre restorasyonun amacı, bir kültürel varlığının kültür açısından önem taşıyan özelliklerinin ortaya çıkarılmasıdır ve restorasyon, geriye kalan özgün malzemeye ve özgün durumuna ait güvenilir kanıtlar üzerine temellendirilmelidir.

Ahunbay (1999), restorasyon tekniklerini aşağıdaki gibi sınıflandırmıştır:

- Sağlamaştırma
 - Malzeme güçlendirmesi
 - Taşıyıcı sistem sağlamaştırması
 - Zemin sağlamaştırması
- Bütünleme
- Yenileme
- Yeniden yapım,
- Temizleme
- Taşıma

Onarım sırasında yapılan müdahaleler, sağlamaştırma tekniğinden yeniden yapım tekniğine doğru gittikçe artmaktadır. Yapının hasar durumuna göre bu tekniklerden birkaçının birlikte kullanılması gerekebilir.

Tarihi yapıların onarım ve güçlendirmesinde yapının özgün malzemesinin yanı sıra, yüksek dayanımlı paslanmaz çelik, epoksi reçineleri, farklı özelliklerde çimentolar, katkılı tamir harçları, karbon fiber takviyeli polimerler gibi kullanılabilecek birçok malzeme alternatifi bulunmaktadır. Onarım-güçlendirme esnasında kullanılacak malzemeler fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri yapıdaki mevcut olan malzemeyle uzun süre uyumsuzluk yaratmayacak ve uygulama sonrasında geriye dönüşüme imkan sağlayacak özellikte olmasına dikkat edilmelidir. (Sesigür vd., 2007).

Tarihi yapılarda güçlendirme müdahaleleri, yapının özgün halini mümkün

olduğunca koruyacak şekilde yapılmalıdır. Bu bağlamda gerçekleştirilen müdahaleler, tarihi yapının taşıyıcı sistemine ve mimari özelliklerine saygı göstererek hem binadan beklenen performansın sağlanmasını hem de değerinin korunmasını amaçlamaktadır. Güçlendirme uygulamaları arasında yapının mukavemetinin ve rijitliğinin artırılması, şekil değiştirme kapasitesinin değerlendirilmesi, deprem enerjisini sönümleme kapasitesinin arttırılması veya deprem talebin azaltılması, destek sistemindeki olası hasar ve kusurların onarılması yer alır. Uygulanacak müdahalesinin seçiminde temel kriter, yapısal güvenlik açısından taşıyıcı elemanlara gelebilecek hasarların sınırlandırılmasıdır (TYDRYK, 2017).

3.1. Sağlamaştırma

Tarihi yapının malzemelerinin, taşıyıcı sisteminin ya da zeminin sağlamaştırılması bu gruba girer. Yapıyı oluşturan malzemeler zamanla yıpranarak bozulmaya uğrar, özellikle organik kökenli olan kerpiç, ahşap, tuğla malzemeler hava koşullarının da etkisiyle sağlamlıklarını kaybederler. Sağlamaştırmada amaç malzemenin dokusunu kuvvetlendirerek bozulma sürecini yavaşlatmaktır (Ahunbay, 1999).

3.1.1. Yapı Malzemelerinin Sağlamaştırılması

Tarihi yapılar, yapıldıkları dönemin geleneklerine ve çevrenin imkanlarına göre taş, tuğla, kerpiç, ahşap ve gibi doğal malzemelerden inşa edilmiştir.

Kerpiç malzemenin sağlamaştırılması: Kerpiç hava koşullarına karşı oldukça dayanıksızdır, yağmur etkisiyle yumuşar, suyu bünyesine alır ve donma çözülme etkisiyle çatlaklar oluşur, rüzgar etkisiyle dağılarak toz haline gelir. Eskiden zift uygulayarak veya harçla sıvanarak kerpiç bloklar korunmaya çalışılırdı. Günümüzde ise kerpiç malzemenin rengine ve dokusuna uyum sağlamayan bu yöntem artık uygulanmamaktadır. Günümüzde kerpiç duvarlar, Anadolu'da binlerce yıldır uygulanan sürekli bakım yöntemi olan çamur harcıyla sıvanmaya devam edilmektedir. Bu yenilenebilir sıva, kerpice yapısını atmosferin olumsuz koşullarına karşı koruyarak erimesini ve kaybolmasını önler (Ahunbay,1999).

Kerpiç malzeme onarımında en uygun çözüm hasar gören kerpiçlerin, yeni üretilen kerpiç bloklarla değiştirilmesidir. Günümüzde üretilen çeşitli katkılarla güçlendirilmiş kerpiçler tercih edilmektedir. Örneğin Alker olarak bilinen, alçı katkılı kerpice, katkısız kerpice göre taşıma gücünün daha iyi olduğu, kururken büzülme

oranın düşük, suda çözülme ve dağılmanın daha az ve yüzeylerinin daha pürüzsüz olduğu ayrıca toz üretmediği gözlemlenmiştir (Özgünler ve Gürdal, 2013).

Kerpiç malzemede yüzeyi güçlendirmek için ethyl silikat sağlamlaştırıcılar kullanılabilir. Bu tür sağlamlaştırıcılar kerpici yüzeyinin suya karşı dayanımını artıran bir katman oluşturarak, kerpici korumaya yardımcı olurlar. Bunu yaparken yüzeyin porozimetrisini değiştirecek bir etkileri de olmaz. Buna karşın, uygulamanın sağlamlaştırılmış kısmın arkasında tuz birikimine yol açtığı gözlemlenmiş ve silicon esterlerin yapıştırma özelliği olmadığından, üstüne uygulandığı toprak veya kil parçasının yüzeye tutunmasını sağlayacak bir etkisi olmadığı için ethyl silikatlarla sağlamlaştırma, dökülme ve tuz probleminin bulunmadığı yüzeylerde uygulanabilir (Ashurst, 1990).

Ahşap mimari elemanların sağlamlaştırılması: Ahşap malzemedeki hasarın türüne ve derecesine göre farklı işlemler yapılmaktadır. Mantar ve böcek gibi biyolojik zararlar ahşabın özünü oluşturan malzemelerin kaybına neden olduğundan, hasarın geri dönüşümü mümkün olmamaktadır. Bu nedenle ahşabın ciddi şekilde hasar görmüş kısımlarının kaldırılması gerekir. Ahşapta böceklerin neden olduğu delik ve çatlaklar çok büyük değilse enjeksiyonla doldurulabilir. Nem alışverişi ahşap malzemede kalıcı deformasyonlara neden olur. Benzer şekilde yangın sonucunda da hasarlar kalıcı olduğu için ahşap elemanlarda sağlamlaştırılma sağlıklı olmayacaktır. Hasara uğrayan eleman taşıyıcı bir yapı elemanıysa bu deformasyonlar ahşabın dayanımını olumsuz etkileyeceği için yenisi ile değiştirilmeli veya ek bir eleman ile güçlendirme tekniği tercih edilmelidir (Zakar,2013)

Onarım aşamasında kullanılan bütün ahşap malzemelerin, çeşitli kimyasallarla mantar ve böceklere karşı korunması sağlanmalıdır. En çok kullanılan emprenye yöntemi; sıvı, katı ve gaz halinde bulunan kimyasal maddelerin ahşabın bünyesine geçirilme işlemidir. Yenilenecek ahşap elemanlarda daldırma veya fırça ile sürme teknikleri en çok kullanılan emprenye teknikleridir. Özellikle böceklere karşı malzemeyi güçlendirmeye yönelik fumigasyon uygulamaları gerçekleştirilir. Fumigasyon işlemi, ahşap elemanların gaz halindeki kimyasalların bulunduğu kapalı bir ortamda bekletilmesidir (Eyüpgiller & Zakar, 2015).

Taş öğelerin sağlamlaştırılması: Bozulma sürecini tersine çevirmek mümkün olmasa da kabartmalar, kitabeler, bezemeler vb. özel detayları yaşatmak için taşların sağlamlaştırılması maksadıyla taşların yüzeyine özel kimyasal maddeler

püskürtülerek, fırça ile sürülerek veya vakumla yüzeye nüfuz ettirilir. Sağlamaştırma yöntemi taşın cinsine ve bozulma sebebine göre seçilmeli ve kullanılacak kimyasal malzeme taşın özgün yapısına zarar vermemelidir (Ahunbay,1999).

Dış etkenlere karşı çok dayanıklı olmayan taşların yüzeyinin iç kısımlarında kopma, parçalanma, kırılma, oyuk ve çatlaklar meydana gelebilir. Bu gibi durumlarda epoksi reçineler ve akrilik reçineler enjekte edilerek ve dolgu harçları uygulanarak sağlamaştırma sağlanabilir (Zakar,2013).

Taş sağlamaştırıcı kimyasallar inorganik ve organik olarak iki gruba ayrılırlar. İnorganik sağlamaştırıcılar, içerdikleri hidratlı silika, kalsiyum, baryum karbonat ve potasyum alüminatlar sayesinde çözünmüş ve hasar görmüş taş kristallerini bir arada tutarak güçlendirirler. Organik sağlamaştırıcılar ise ısıyla şekillendirilmiş taşın gözeneklerini doldurmak için bir sertleştirici ile yüzeye uygulanan sentetik plastiklerdir. Etil silikatlar, alkil alkoksi silanlar, aril polisiloksanlar, akrilik ve silikon reçineler taşları sağlamaştırmak için kullanılan başlıca organik kimyasallardır (Eyüpgiller & Zakar, 2015).

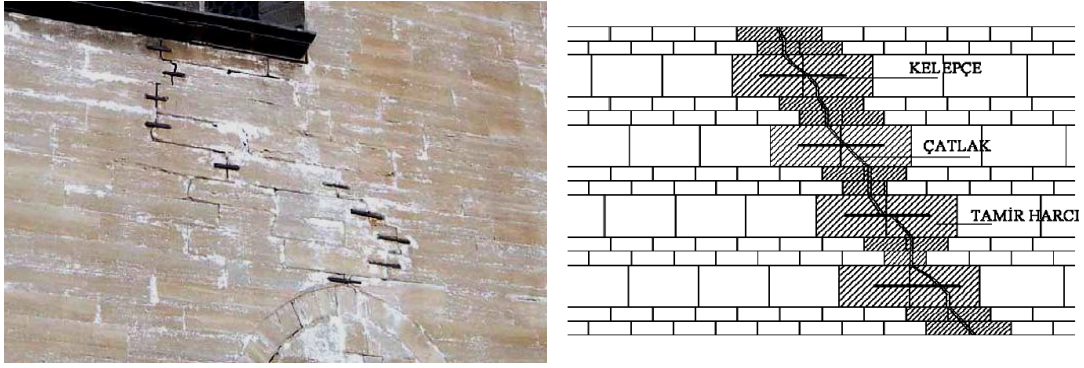
3.1.2. Taşıyıcı sistemin onarım ve/veya güçlendirilmesi

3.1.2.1. Duvarlar

Duvarlarda yapılabilecek yapısal müdahaleler, bozulma seviyesi ve taşıma gücü ihtiyacına göre gruplandırılmaktadır. Birinci grupta olan müdahalelerin amacı; çeşitli bozulma nedenlerine göre, bütünlüğü ve iç yapısı bozulan, düşeyden ayrışan veya üzerinde çatlakların görüldüğü taşıyıcı elemanları bozulmadan önceki taşıma gücüne getirmektir. Taşıma kapasitesini geri kazandırmayı amaçlayan bu onarımda, öncelikle bozulmaya neden olan faktörlerin tamamen ortadan kaldırılması gerekir (Beckmann,1995). Düşey taşıyıcı eleman olan duvarlar için, çatlak onarımı ve derz onarımı, yük taşıma kapasitesine ulaşmak için yapılan müdahalelerdir, çatlakları onarırken temel teknikler dikiş, kenetleme ve enjeksiyondur.

Dikiş: Çatlak genişliği 10 mm'den fazla ise veya duvarı oluşturan taş veya tuğlalar düşmüşse çatlağın yanındaki taş veya tuğlalar çürütülerek çıkartılır. Duvarın geri kalan sağlam kısmı temizlenir, su ile nemlendirilir ve oluşan boşluk özgün duvar malzemesine uyumlu başka bir malzeme ile örgü tamamlanır. Yeni örgü ile eski örgü arasındaki bağlantıyı sağlayan metal dikiş yöntemi, taş, tuğla ve gevşek

duvarlara yerinde uygulanabilen bir onarım yöntemidir (Eyüpgiller & Zakar, 2015).



Şekil 3.1. Duvardaki çatlakların metal dikiş yöntemi ile onarımı (Aköz, 2008)

Kenetleme: Çatlak bir duvar yüzeyinin her iki tarafındaki yüzeylerin bağlantı elemanları ile birbirine ve yeni malzemeye bağlanmasıdır. Çatlak yüzeylerin içine açılan yuvalara yerleştirilen kenetler kurşun veya özel yapıştırıcılar ile sabitlenirler. Kenetlerin üzeri bulunduğu yüzeye bağlı olarak taş, tuğla, kerpiç malzeme, dolgu veya sıva ile kaplanabilir. Taş duvarda onarım ihtiyacına göre duvar içindeki taşlara veya yüzeydeki taşlara kenetler uygulanabilir. Kenetlerin kullanımı ve türü duvar bileşenlerine göre değişiklik gösterirler ve çatlak boyunca gerekli yönlerde kullanılabilirler. Çatlaklar onarımına ek olarak duvar köşe birleşimlerini güçlendirmek için de kenetler kullanılabilir (Eyüpgiller & Zakar, 2015).

Enjeksiyon: Yığma duvarların kılcal ve orta genişlikteki çatlaklarının, duvar dolgu harcı enjeksiyonu ile doldurulmasıdır. Enjeksiyona başlamadan önce çatlağın tamamen açığa çıkması için mevcut sıvanın sökülmesi gerekir. Doldurulacak yüzeylere belirli aralıklarla (50-100 cm) delikler açılır ve bu deliklere plastik tüpler yerleştirilir. Çatlak hidrolik kireç esaslı, sızıntı yapmayan bir malzeme ile kaplanmalıdır. En az 24 saat sonra uygun bir malzeme püskürtme pompasıyla çatlakların içine püskürtülmelidir (Keskin ve Özen,2013).



Şekil 3.2. Hidrolik kireç enjeksiyonu uygulanması
(http://www.starcephe.com/hidrolik_kirec_enjeksiyon.html)

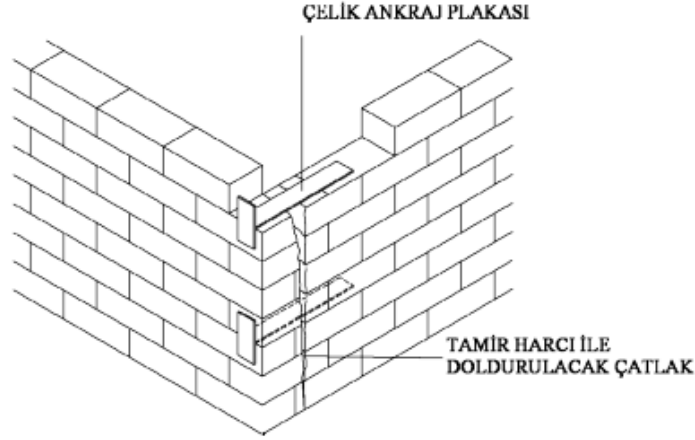
Grout Harcı içeriğinde doğal hidrolik kireç, büzülme önleyici maddeler, doğal su tutucu maddeler ve süper akışkanlaştırıcılar bulunmaktadır. Çatlak nedeniyle zayıflamış veya taşıma kapasitesini kaybetmiş tarihi taş, tuğla ve tüf yapılarda boşluk ve büyük boşlukların doldurulması amacıyla duvarlara enjeksiyon yoluyla uygulanır (Mahrabel,2006).

Duvarların taşıma kapasitesini artırmaya yönelik güçlendirme yöntemleri ise çemberleme, metal veya ahşap gergilerle güçlendirme, karbon fiber çubuklar ve karbon fiber kumaşla güçlendirme olarak özetlenebilir.

Çelik levhalarla güçlendirme: Duvarlar her iki tarafından çelik levhalarla kuşaklanarak, çatıya ve döşemeye monte edilen çelik levhalar ile güçlendirilir. Aynı şekilde yığma duvarların gergi demirleri ile güçlendirilmesinin etkinliği üzerine yapılan testlerde de duvarın direncini arttırarak dağılmasını önlediği tespit edilmiştir. Deneylerden elde edilen sonuçlara göre gergi çubuğunun duvara yerleştirileceği en etkili yer duvar yüksekliğinin 1/3 aralıklara bölünerek yerleştirilmesidir. Böylece eğik çekme çatlakları çoklu çekme gerilmeleri ile karşılanarak güçlendirilmiş olunur (Bayülke ,1999).

Yığma duvarların köşe birleşimleri statik ve dinamik etkiler altında, yetersiz bağlantılı veya bağlantıların yeterince dayanıklı olmadığı durumlarda, köşelerde geniş düşey kırıklar veya ayrışmalar meydana gelebilmektedir. Köşelerinden ayrılan

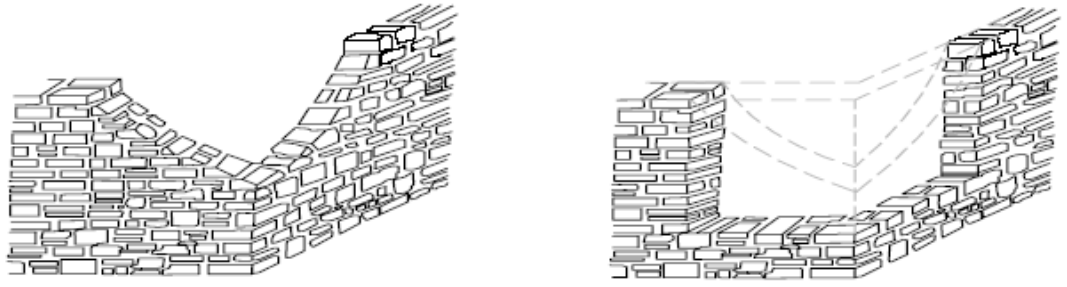
duvarların, çelik ankraj levhaları ile birleştirilmesi gerekir. Şekil 3.3.'de iki duvarın birbiri ile kenetlenmesi için ankraj plaka uygulaması gösterilmiştir (Aköz,2008).



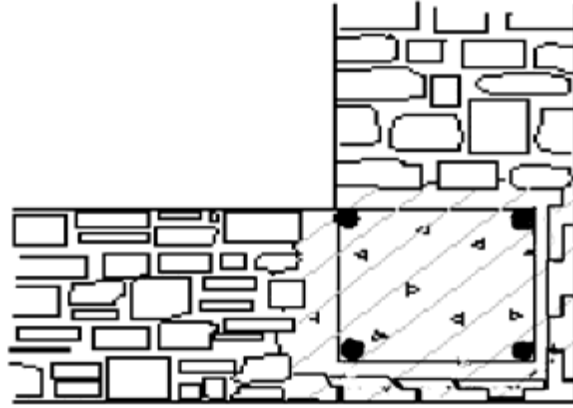
Şekil 3.3. Duvar ayrılmalarının çelik ankraj plakalarıyla onarılması (Aköz,2008)

Osmanlı klasik dönem yığma yapılarda gergiler yapı içinde kalır ve dış cepheden gözükmezdi. Ancak onarım sırasında yerleştirilen gergileri ve kılıçları dış cephede görmek mümkündür. Günümüzde taşıyıcı duvarların depreme dayanımı artırmak için kuşaklama ve gergiler halen kullanılmaktadır (Ahunbay,1999).

Yeni eleman ile destekleme (Mantolama-kesit genişletme-hatıl uygulaması): Bazı çatlaklarda enjeksiyon uygulansa da duvarlar, güvenli gerilme iletimini sağlayabilir. Bu gibi durumlarda mevcut çatlak boyunca düşey hatıl ya da payandalar oluşturulur. Taş veya tuğla duvarda düşeyde ve yatayda duvarın içine doğru 15-20 cm derinliğinde oyuk açılarak, içerisine donatı yerleştirilir. Bu donatılar enine etriyelerle sarılan uzun çelik çubuklardır. Duvarda oluşturulan iki hatıl birbirlerine uygun şekilde bağlanırlarsa, yapılan uygulamanın daha iyi sonuç vereceği düşünülebilir (Şekil 3.4.ve Şekil 3.5.). Narin duvarlar, bu yöntemle düşey kolon eklenerek güçlendirilebilir (Kara, 2009). Bu eklenen kolonun donatılarının duvar üstündeki hatıla veya alt kattaki ya da temel duvarındaki üst hatıla bağlanması gerekir. Kolon duvarın içine gömülü olabileceği gibi köşede dış yapan bir kesitte de olabilir.



Şekil 3.4. Duvarda Kolon Oluşturulması için birleşim yerindeki hazırlık aşaması



Şekil 3.5. Duvarda Kolon Oluşturulması (Kara, 2009).

Kesit genişletme – mantolama: Kesit genişletme tekniğinde yeni bir malzeme; bir taşıyıcı elemana veya kesitine o elemanın üzerine gelen yüklerin daha geniş alanlara yayılması veya dayanımının artırılması için eklenir. Aynı yöntem yığma yapıdaki herhangi bir taşıyıcı sistem elemanına da uygulanabilir (Kara,2009).

Sivas Divriği Ulu Camii minaresinde düşeyden ayrılma sorununa çözüm olarak kesit genişletme uygulanmıştır. Kaide etrafında yapılan ek bir kütle sayesinde taban alanı genişletilerek; düşeyden ayrılan minarenin yıkılması önlenmeye çalışılmıştır (Küçükdoğan,2007).



Şekil 3.6. Sivas Divriği Ulu Camii minare kaidesinde genişletme- Görsel Sahibi: Sivas İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü

Tarihi yığma yapılarda püskürtme beton ile duvar güçlendirilmesi sıklıkla uygulanan bir yöntemdir. Püskürtme beton iki şekilde uygulanmaktadır. Kuru karışıma püskürtme ucunda basınçlı su eklenerek beton elde edilir ve basınçlı hava ile yüzeye yüksek hızda püskürtülür. Uygulama esnasında su miktarı istenilen oranda ayarlanabilir ve gerekli görüldüğünde suya katkı maddeleri de eklenebilir. Diğer uygulama şeklinde ise çimento, agrega ve su birlikte karıştırılarak ıslak harç edilir ve hortum ve basınçlı hava ile püskürtme ucuna iletilerek beton yüzeye püskürtülür (Mahrabel,2006).

Püskürtme beton uygulamasından önce; hasır çelik donatı tek yönlü veya iki yönlü olarak taşıyıcı duvarlara uygulanır, üstten çelik ankrajlarla hasır çelikler tavan döşemesine sabitlenir. Bu yöntemde yapıda bir simetri ekseninde çalışılmalıdır. Duvar yüzlerindeki sıvalar temizlenip, çimentolu harç püskürtülerek, yüzey hazırlanır. Öngörülen yerlere hasır çelikler bindirmeli olacak şekilde yerleştirildikten sonra püskürtme beton (shotcrete) uygulanır (Saraç, 2003).

Anıtın özgün görünümünü bozan veya değiştiren müdahaleler kurul tarafından onaylanmadığı için, püskürtme beton kullanımı sakıncalıdır ancak anıtın iç bünyesine gizlenebilecek (üzerine sıva gelecekse), görünmeyen sağlamlaştırma yöntemleri tercih edilmelidir.

İstanbul Kabataş Erkek Lisesi'nin duvarlarındaki deprem çatlaklarının onarımı için taşıyıcı duvarlarda çift taraflı hasır çelik donatılar epoksili ankrajlarla

duvara bağlanarak püskürtme beton ile takviyesi yapılmıştır. Hasır çelikler en az 20 cm birbirlerine bindirilerek yerleştirilmiştir (Saraç,2003).



Şekil 3.7. İstanbul, Kabataş Erkek Lisesi duvarlara çelik hasır ve ankrajların yerleştirilmesi ve püskürtme betonunun tamamlanması (Saraç,2003)

FRP (Fiber takviyeli polimerler Polimerler) ile Güçlendirme: Hasar görmüş yapıları güçlendirmek için kullanılan çağdaş yöntemler arasında, yaygın olarak FRP (Fiber takviyeli polimerler Polimerler) olarak bilinen kompozit malzemelerin kullanımı oldukça yaygınlaşmış durumdadır. Bu malzemelerin, özgül ağırlığının düşük olması, korozyona karşı dayanıklı ve yüksek gerilme mukavemetine sahip olmaları gibi avantajları bulunmaktadır. Esnek ve kolay uygulanabilen çok çeşitli formlarda müdahale imkanları sunmaktadır (Uzdil,2020).

Ağır ve rijit olan yığma yapıların güçlendirilmesi küçük kesitlerle sağlanabilmektedir. FRP malzemenin güçlendirmede kullanımıyla birlikte yapıda az müdahale ile yüksek verim elde edilebilmektedir. Böylece hem yayılımcı bir teknik uygulanmamış olacak, hem de yapı yükü fazlaca arttırılmamış olacaktır. FRP malzemelerin tarihi yığma yapı elemanlarında kullanımını, uygulama yüzeyi açısından sıvasız ve sıvalı yüzeyler olmak üzere iki biçimde ifade edebiliriz. Sıvasız duvarlarda uygulanan metotlar içerisinde tarihi dokuya en az müdahale edileni; FRP çubuk, halat ya da bantların derz içlerine uygulanmasıdır. Eğer duvara sıva uygulanacaksa, FRP şeritlerin yüzeye yapıştırılması ya da donatılı harç sistemlerinin kullanılması metotları en uygunu olacaktır. Bu uygulama biçimlerinin de geri döndürülebilirlik açısından uygun olduğu söylenebilir. FRP kumaşların yüzeye epoksi reçinelerle yapıştırılması veya duvarların tamamen sargılanması durumu ise geri döndürülebilirlik kriteri açısından uygun olmayacaktır (Değirmenci ve Sarıbiyık,2015)

Duvar derzlerindeki geleneksel harçların 7-10 cm boşaltılıp boşalan yere fiber çubukların yerleştirilmesidir. Boş kalan derzler özgün harç özelliklerinde veya özgün harca uyumlu yeni harçla doldurularak uygulama tamamlanır. Tarihi yapılarda FRP çubuk uygulaması genellikle sıvasız elemanlarda tarihi dokunun korunması maksadıyla kullanılmaktadır (Şekil3.8.).



Şekil 3.8. Abide Hatun Cami'nin FRP çubuklarla güçlendirilmesi (Bayraktar, 2006)

FRP ızgara biçiminde oluşturulan elyaflar duvar yüzeyine sıva harcıyla birlikte uygulanmaktadır. Bu sayede taşıyıcı eleman yüzeyi sıva ile birlikte uygulanmasıyla duvarların dış yüklere karşı dayanımının ve sünekliğinin artırılması sağlanabilmektedir.



Şekil 3.9. Karbon ızgara ile donatılı harç uygulaması (Mezrea ve diğerleri, 2013)

3.1.2.2. Sütunlar

Metal çemberlerle sarıp sıkıştırma yöntemi, çatlamış dağılma tehlikesi olan veya dağılma gösteren düşey taşıyıcı elemanlarda eski dönemlerden bu yana çoğunlukla kullanılan bir sağlamlaştırma tekniğidir. Deprem, yangın gibi nedenlerle

çatlamış sütunlara çember şeklinde donatı ile dıştan ön gerilme verilmesi elemanın güvenliğini artıran iyi bir önlemdir. Kesme çatlakları olan sütunlar bu teknikle onarılmaktadır. Örneğin Üç Şerefeli Cami sütunları da çemberleme yöntemiyle sarılarak sağlamlaştırılmıştır.

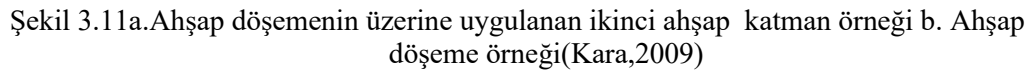


Şekil 3.10. Üç Şerefeli Cami sütunları çemberleme uygulaması
(<https://www.kulturportali.gov.tr/turkiye/edirne/gezilecekyer/uc-serefeli-cami>)

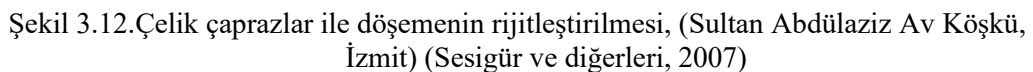
Sütunların çok zayıf oldukları durumlarda özel destekleme teknikleri ile yapı bölgesel olarak askıya alınarak sütun üzerindeki yük kaldırılır. Sütun üzerinde gerekli yüzey hazırlıkları yapıldıktan sonra FRP fiberlerle sargılama yapılır. Yüzey hazırlığı oldukça önemli bir aşamadır. Alt yüzeyin temiz, kuru ve sağlam olması uygulamanın etkinliği açısından hayati önem taşır. Bu uygulama ile sütunların deprem etkilerine karşı süneklikleri iyileştirilirken kesme dayanımları da artırılabilir.

3.1.2.3. Döşemeler

Döşemeler, yatay doğrultudaki yükleri düşey taşıyıcı elemanlara aktaran iki boyutlu düzlemsel taşıyıcı elemanlardır. Tarihi yığma yapılarda döşemelerde karşılaşılan en büyük sorun döşeme ve duvar arasındaki bağlantının yetersizliği ve döşemenin yeterince rijit bir davranış gösterememesidir. Zaman içinde döşemelerde kullanılan malzemeler özelliklerini kaybederek yıpranması sonucunda taşıma kapasiteleri de azalmaktadır. Ahşap döşemeli sistemlerde bozulan taşıyıcı elemanlar yenisiyle değiştirilebilir veya döşemelerin çift doğrultuda çalışmasını sağlamak için Şekil 3.11a.'da görüldüğü üzere ahşap döşemeler üzerine dik doğrultuda ikinci bir döşeme katmanı monte edilebilir (Gavrilovic ve diğ., 1984).



Volta döşemeler, çelik putrellerin arasına normal tuğlaların basık kemer şeklinde örülmesi ile oluşturulan, tek doğrultuda çalışan döşeme çeşididir. Düşey döşeme yükleri altında tuğla tonoz kemerler, basınca çalışarak uzun doğrultuda çelik kirişlere, kirişler ise mesnetlendiği duvarlara ya da hatıllara aktarır. Volta döşemelerde kemer açıklığının, kiriş açıklığına oranı $1/3$ 'ten büyük olmaması istenmektedir. Döşeme diyafram etkisi gösteremediğinde veya kemer açıklığı kiriş açıklığının $1/3$ 'ünden büyük ise, volta döşemelerde çelik çubuk ya da profil desteklerle döşemenin altına X şeklinde (Şekil 3.12.) bağlantılarla güçlendirme yapılması gerekebilir (Saraç,2003).



38

Tarihi yapılarda çatı seviyesinde yapılacak donatılı betonarme veya çelik hatıllar ile yapının davranışı olumlu yönde değiştirilebilir. Betonarme hatılların arasına yatay çelik kafes sistemler ile döşemelerin rijitliği yapıya ek deprem yüklerini karşılayacak şekilde düzenlenebilir (Sesigür ve diğerleri, 2007)

Döşemeler plak elemanlar olduğu için kesitin tamamının çekmeye çalışması gerekir. Döşemelerde yapılacak güçlendirmelerde FRP lamine şeritler veya kumaşlar döşeme açıklık bölgesinde alttan, mesnet bölgelerinde ise üstten uygulanarak yük taşıma kapasitesi ve eğilme dayanımı artırılmış olur (Akgül ve diğerleri 2009).



Şekil 3.13. Döşemelerde FRP şeritlerle güçlendirme (Akgül ve diğerleri 2009)

3.1.2.4. Kemerler, Tonozlar

Yığma yapılarda açıklıkları geçmek için kullanılan kemerler; sütunlar arasında bulunan açıklıkların üstünü örtebilmek için kagir, ahşap vb. malzemeler ile yapılan eğrisel yapı elemanlarıdır. Kemerler üzerine gelen yükleri kemer ayaklarına iletirken sadece basınca çalışırlar. Bu yüzden kemerlerde basınç dayanımı yüksek olan taş, tuğla gibi yapı malzemeleri kullanılır. Kemerlerde zaman içinde oluşan çatlaklar uygun harçlarla doldurulur, ezilen, ayrılan, kopan elemanlar değiştirilirken kemer ya da tonoz yükleri bir kalıp-iskele sistemine aktarılarak emniyetli şekilde yenileri ile değiştirilir. İskelele mesnet noktalarından ters yüklerle taşıyıcı sisteme ters yönde sehim verilerek yapı yüklerinin iskelele iletilmesi işlemine askıya alma denilmektedir (Saraç,2003).

Örneğin Amasya Taşhan restorasyon çalışmaları esnasında yıkılma ve çökme tehlikesi bulunan ana giriş bölümündeki tonoz ve revaklar ahşap karkas ile askıya alınmıştır (Şekil 3.14.).



Şekil 3.14. Amasya Taşhan giriş tonozunun askıya alınma işlemi (Pergel,2013)

Kemerlerde mesnet noktalarının birbirinden uzaklaşmasından kaynaklı hasarları önleyebilmek için gerilmeleri karşılayacak şekilde gergi çubukları kullanılır. Gergiler, iki sütun, bir sütun-bir duvar veya iki duvar arasında kullanılabilir. Çubuklar, kemerin üzengi seviyesinde veya hemen altındaki taş oyulan yuva ya da duvar içerisine bırakılan boşluklara mesnetlendirilir. Bu gergi çubuklarının bir başka görevi ise kemer ayaklarının kemer itkisinden etkilenmesini önlemektir. Gergi çubuğu kullanılmak istenmeyen durumlarda, duvarlar payandalarla desteklenen ayaklar uzatılarak, eksenleri doğrultusunda, kemer mesnetlerine ağırlık kuleleri inşa edilir (Ünay, 2002).

Şekil 3.14.'de Mihrimah Sultan Camii 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminden sonra gördüğü hasardan dolayı kemerlere uygulanan gergi düzenlemesi görülmektedir.



Şekil 3.15. Mihrimah Sultan camii son cemat yeri kemerlerde gergi uygulaması



Şekil 3.16. Kemerlerde gergi ve mesnetlerin sabitlenmesi (Sesigür ve diğ.,2007).

Tonozlarda, genellikle yanal kuvvetlerin karşılanamamasından kaynaklanan hasarlar oluşmaktadır. Tonozlarda meydana gelebilecek yanal kuvvetlerin karşılanabilmesi için mesnet noktalarının çelik levhalarla sabitlenmesi gereklidir. Tonozların gergi çubuklarıyla bağlanması, güçlendirilme için yapılabilecek uygulamalardan biridir. Tonozda oluşabilecek kısmi dağılmalar ve ayrılmalar için ise mantolama doğru bir uygulama olabilir. Mantoloma ile birlikte enjeksiyon da gerekli olabilir (Penelis ve diğ. 1984).

Tonozlarda kayma mukavetinin arttırılması için derzlere açılan açılan boşluklara donatılar yerleştirilmesi de bir diğer güçlendirme yöntemidir. Derzlerin üzeri uygun harçla kapatılarak donatılar gizlenebilir. Şekil 3.17.'de Amasya Taşhan tonozlarında açılan derz boşluklara metal lama ve sonrasında epoksi uygulaması yapıldığı görülmektedir (Pergel,2013). Üzeri sıvanacak tonozlarda ise FRP kumaşlar iç-dış yüzeylere sarılarak taşıma kapasitelerinin ve sünekliklerinin arttırılması amaçlanmaktadır. Şekil 3.18.'de tonozlara FRP uygulanması görülmektedir.



Şekil 3.17. Tonoz derzlerine metal lama uygulanması (Pergel,2013).



Şekil 3.18. Tonozlara FRP uygulanması

3.1.2.5. Kubbeler

Kubbelerde hasarlar genellikle kubbe eteğinde oluşan çekme gerilmelerinin karşılanamaması sonucunda oluşan radyal çatlaklar şeklinde görülür. Bu çatlakların daha da büyümesini önlemek için alınabilecek en iyi önlem kubbe eteğinde bir çekme çemberi oluşturmaktır. Çekme çemberi yapımında paslanmaz çelik kullanılması gerekir, aksi halde zamanla korozyon bakımının yapılması veya çemberin beton kesitin içine alınması daha uygun olacaktır (Sesigür ve diğerleri, 2007).



Şekil 3.19. Mihrimah Sultan Camii Kubbede çekme çemberi uygulaması (Sav ve diğ,2010)

Şekil 3.19.'da İstanbul Mihrimah Sultan Cami kubbesindeki ana kubbenin eteğinden başlayarak tepe noktasına doğru ilerlemiş radyal çatlakların onarıldıktan sonra çatlakların tekrar oluşmasını önlemek için kubbe eteğine dıştan çekme çemberi uygulanması görülmektedir (Sesigür ve Çılı, 2014).

Kurşun levha ile örtülü olan kubbelerde görünmeyeceği için FRP şeritler kolaylıkla uygulanabilir, Şekil 3.20.de Kosova-Prizren'deki Emin Paşa Camii'sinde restorasyon çalışmalarında kubbedeki kurşun levhanın altında kubbeye dıştan sarılan FRP şeritler görülmektedir (Eren,2018).



Şekil 3.20. Kosova Prizren Emin Paşa Camii kubbesine FRP uygulanması (Eren,2018)

Enjeksiyon yöntemi, duvarlarda olduğu gibi kubbelerdeki 2 mm genişliğindeki çok derin olmayan küçük çatlakların onarımı için de uygulanmaktadır (Mahrebel, 2006). Kubbelerde oluşan çatlaklar 10 mm'den büyükse yani orta

genişlikte ise veya kubbenin taşlarında eksikler varsa dikiş (kenet) yöntemi ile onarım ve güçlendirme yapılmalıdır. Şekil 3.22.'de Sultan I. Mahmut kütüphanesinin kubbesinde uygulanan dikiş yöntemi görülmektedir.



Şekil 3.21. Kubbe çatlaklarına enjeksiyon uygulanması (Küçük, 2010).



Şekil 3.22. Kubbe çatlaklarında metal dikiş uygulanması (Çılı ve Yıldız, 2013)

3.1.2.6. Çatılar

Çatılar, rüzgâr yükü, kar yükü, depremden kaynaklanan yatay yükler vb. kuvvetleri karşılamak için yapılan kabuk elemanlardır. Geleneksel yapılarda kagir üst örtü elemanlarının (tonoz, kubbe vb.) yanı sıra ahşap çatılar da sıklıkla kullanılmıştır.

Çatıda taşıyıcı olmayan saçak, dere mahya, alınlık tahtası, kargalık duvarı gibi üst örtü detaylarında, çatı malzemelerinin birleşim bölgelerinde suya karşı yalıtımını

kaybetmesi, çatı kaplamalarının bozularak artık görevini yerine getirememesi sonucunda çatı içerisine sızmaya başlayan su ve diğer bozulma etkenleri (mantar, böcek vb.) çatı taşıyıcı elemanlarının bozulmasına sebep olur. Dikmeler, mertekler, döşeme kirişleri gibi taşıyıcı ahşap elemanların çürümüş bölümlerinin değiştirilmesi, çatı taşıyıcı elemanlarında da aynı prensiplerle uygulanır. Bozulmaya uğrayan taşıyıcı elemanların malzemesinin güçlendirilmesi veya yenilenmesi ile daha sağlam hale getirilir. Yeni elemanla eski eleman arasındaki birleşimlerde veya mevcut birleşim noktalarında epoksi reçineli yapıştırıcılar, metal kenetler, metal plaka ve bulonlar kullanılmaktadır (Zakar,2013).

Metal donatıların kullanımına benzer şekilde, FRP çubuk veya şeritlerin taşıyıcı ahşap elemanlara uygulanmasıyla, küçük kesitli elemanlara yüksek dayanım sağlarlar.



Şekil 3.23. Ahşap elemanların FRP ile güçlendirilmesi (Steiger, 2003)

Mevcut taşıyıcı çatı elemanları üzerine gelen yüklerin taşınmasında yetersiz kaldığı durumlarda; kesit genişletme maksadıyla çatı makas elemanlarına ek elemanlarla destek sağlanabilir. Çatı elemanlarının ahşap veya metal kirişlerle birleştirilerek güçlendirilmesi o elemana gelen yükü karşılayan yüzeyi genişletilerek mevcut elemana daha az yük binmesi sağlanmış olacaktır.

Bir başka güçlendirme yöntemi ise, çatı makaslarının mesnet noktalarının

yeni malzemelerle desteklenmesidir. Mevcut taşıyıcılara ekleme olarak gergi çubukları ve kabloların sabitlenmesiyle sistemdeki yükleri karşılamak için çatı makaslarının dayanımı arttırılmış olur. Çatı taşıyıcı elemanlarının duvarla olan birleşim bölgelerinin güçlendirilmesi için görevini yerine getiremeyen elemanlar muhakkak yenileriyle değiştirilmelidir (Gomez, 2007).

Fatih Camii restorasyonu sırasında ahşap çatı söküldüğünde, demir makasların bazı yerlerde boşa çıktığı görülmüş ve güçlendirilmesi gerektiği sonucuna varılmış, ahşap sundurma çatılardaki çürümüş malzemenin yerine meşeden emprenye edilmiş yeni ahşap malzemeler ile onarım tamamlanmıştır. Ahşap sundurma çatının yalıtımı, özgün malzeme olan keçe ile yapılarak, çatılar kurşun ile kaplanmıştır (Şekil 3.24.)



Şekil 3.24a. Ahşap çatı söküldüğünde ortaya çıkan demir makaslar b. Statik olarak zayıflamış demir makaslara yapılan eklerle güçlendirme (Ceylan ve Ocakcan,2013).

3.1.3. Temel ve Zeminin güçlendirilmesi

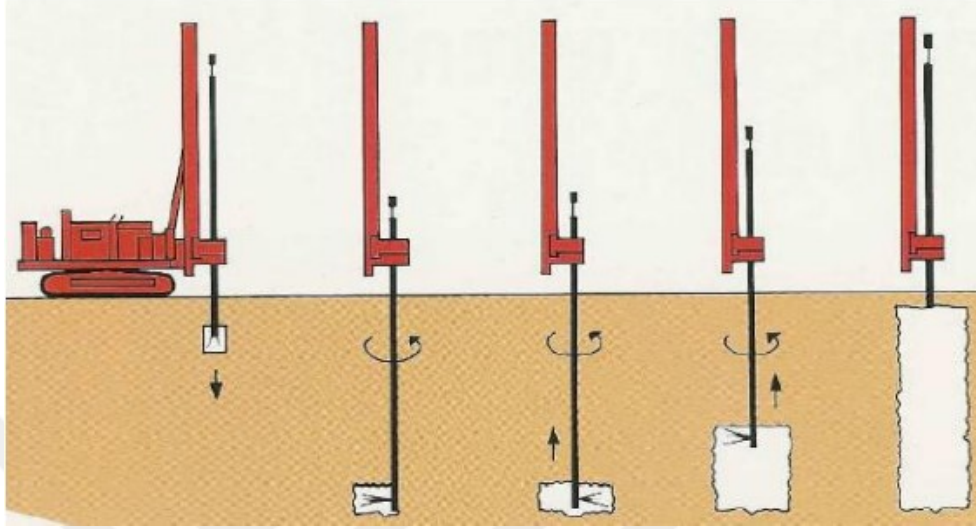
Temel güçlendirme yöntemleri; temel zeminin iyileştirilmesine dayalı yöntemler, temelin genişletilip, derinleştirilmesi gibi geleneksel yöntemler ve yapı yüklerinin daha derinlerdeki sağlam zemine aktarılması yöntemi olmak üzere üç grupta toplanabilir (Çamlıbel,2000).

3.1.3.1. Temel altı zemininin iyileştirilmesi

Temel zemininin iyileştirilmesi, mevcut zemini değiştirmeden zeminin fiziksel özelliklerini iyileştirerek zemin taşıma gücünün artmasını sağlar. Temel zeminini güçlendirmek için kullanılan en yaygın uygulamalar enjeksiyon ve jet-grout sistemleridir.

Jet-grout tekniği, delici bir takımla, belirlenen derinliğe kadar delinerek sonrasında özel hazırlanan harcın, aletlerle aşağıdan yukarıya doğru belirli seviyeye

kadar zemini kesip, basınçla zemine enjekte edilmesi ile kolon oluşturulması işlemidir. Yüksek basınçlı harç karışımı, boşlukları doldururken, yer altı suyunu basınçla iterek yerini alıp zeminle bütünleşmektedir. Böylece zemin suni olarak taşlaştırılıp, içerisinde taşıyıcı kolonlar inşa edilmektedir (Toğrol ve diğ, 1996).



Şekil 3.25. Jet-Grout Uygulaması (Durgunoğlu ve diğerleri, 1998).

Zeminlerin geçirimsizliğinin azaltılması ve kayma mukavemetinin dayanımının artırılması amacıyla zemin içerisine basınç altında hazır karışımların enjeksiyonunun yapılması işlemi diğer bir zemin iyileştirme tekniğidir.

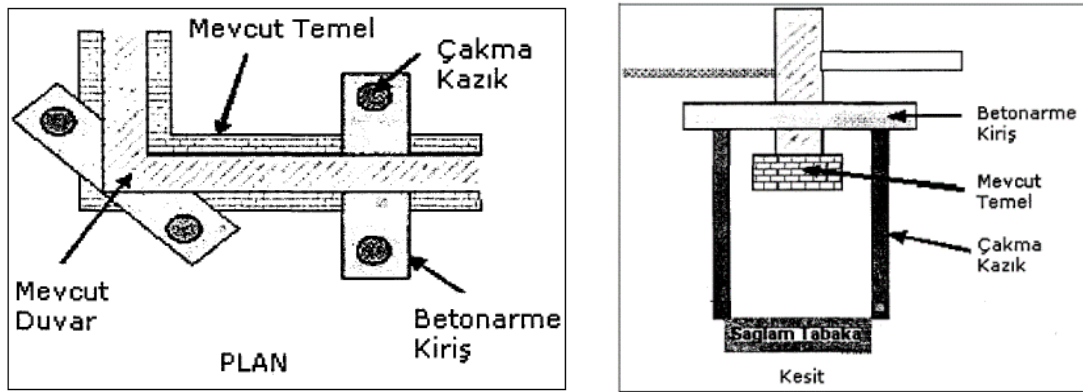
1. Çatlatma (Hydrofracture) Enjeksiyonu: Genellikle düşük geçirimsilikte, ince daneli zeminlerde, çimento esaslı harçların zemin içine yüksek basınçlarda (4 MPa) çatlatılması ile uygulanarak, zemin içinde enjeksiyon mercer ve tabakalar oluşturulur. Bağlantısı olmayan boşluklar doldurularak, sıkıştırılır. Parçalanmanın başladığı, enjeksiyon basıncının düşmesinden anlaşılır (Toğrol, 1994).

2. Sıkıştırma (Kompaksiyon) enjeksiyonu: Katı beton kıvamındaki karışım daha yüksek basınçla zemine enjekte edilerek zeminin yer değiştirmesi sağlanır. Kompaksiyon enjeksiyonu, özellikle yan yatmış veya zemine oturmuş yapıların eski durumlarına getirilmesi için başarılı bir şekilde kullanılmaktadır (Ergun,1994).

3. Geçirimsizlik Enjeksiyonu : Yeraltı suyunu karşı geçirimsiz perdeler veya yeraltı barajları oluşturmak için genellikle baraj ve gölet zeminlerinde yapılmaktadır. Çok ince boşluklu-çatlaklı zemin gruplarında silikat veya reçine esaslı harçların uygulanması şeklindedir (Saraç,2003).

3.1.3.2. Temel Yüklerinin Daha Derindeki Tabakalara Aktarılması

Temelde oturmalar karşı takviyenin gerektiği durumlarda, yapı yükleri oturmalarından etkilenmeyecek daha derin tabakalara aktarılmalıdır. Bu amaçla arazi kesitinin ve zemin özelliklerinin bilinmesi önemlidir. Sağlam tabakalar çok derinde ise kazık temellerin kullanılması daha faydalı olacaktır. Temel takviyesi amacıyla değişik kazık sistemleri kullanılır. Fore kazık yönteminde zemine açılan deliğe donatı yerleştirildikten sonra, boşluğa beton dökülerek kazıklar oluşturulur. Mini kazık, mikro kazık, yerinde dökme kazıklar veya kompozit kazıklar şeklinde inşa edilmektedir(Baş,2006).



Şekil 3.26. Çakma Kazık ve kavrama kirişi ile temel takviyesi (Baş,2006)

Bu tür temellere uygulanabilecek en iyi yöntem, kirişleri temel yönünde yerleştirilecek ve her iki yanından tutulacak şekilde kazıklardan oluşan bir ızgara üzerine yerleştirmektir. Bütünlük açısından bu iki kiriş Şekil 3.26. daki gibi zemin kütleline sıkı bir şekilde bağlanması gerekir.

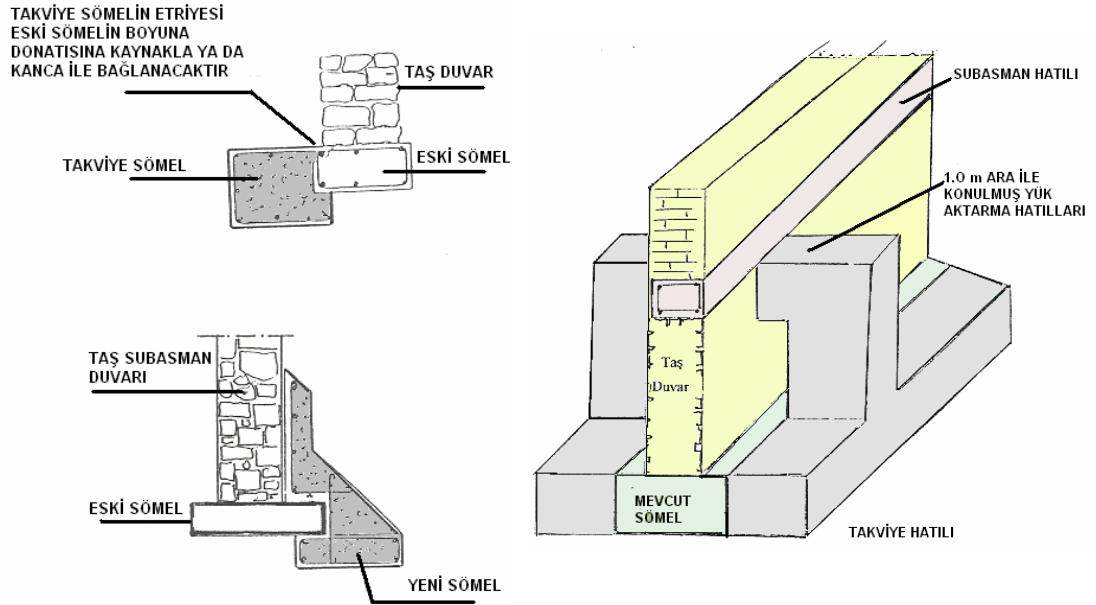
3.1.3.3. Temelin güçlendirilmesi

Tarihi yapıların renovasyonu veya yeni işlev kazandırılması için gerekli ekleme ve değişiklikler, yapıya ek yük getirmiş olabilir. Böyle durumlarda temellerin yeni yükleri taşıyabilecek kapasitede takviye edilmesi gerekir (Toğrol, 1994).

Geleneksel yöntemler ile temelin genişletilmesi veya derinleştirilmesi ile temel davranışının iyileştirilmesi amaçlanmaktadır. Genellikle maksimum 4-5 metre derinliğinde, yeraltı su seviyesi düşük olduğunda, planlı kazılarla yapının altına girilip yeni bir temel oluşturulması veya mevcut temel üzerinde değişiklik yapılması işlemidir. Kalıcı bir takviye yapmak yerine bazen binayı askıya alınarak uygulama yapılmalıdır. Temel altında kazı yapılması, geçmişte uzun yıllar yapılmasına rağmen

yapıda deformasyonlara sebep olduğu için çalışma koşulları güvenli değildir (Sarı,2008).

Sürekli bir temelin güçlendirilmesi için temelin altı kazılır, desteksiz kalabilecek mesafe, tuğla duvarlarda 1.50-2.00 metreyi geçmemelidir. Herhangi bir durumda desteksiz kalabilecek uzunluk, yapı uzunluğunun 1/4ünden fazla olmamalı, beton katman, mevcut temelin en az 5-10 cm. altına inene kadar yapılmalı, kuşak perdesinin mevcut temelle ankrajı epoksili ankrajlarla yapılır (Saraç,2003).

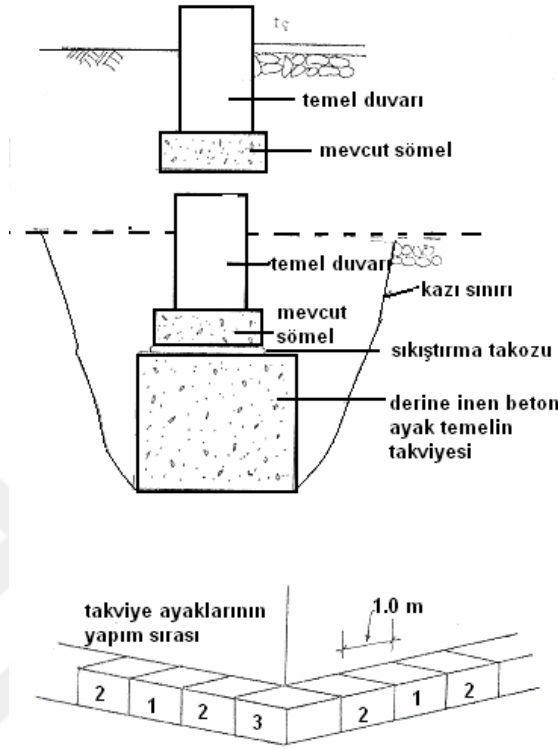


Şekil 3.27. Temelerde eski ve yeni temelin birlikte çalışması için uygulanan detaylar (Çamlıbel, 2000)

Yığma yapılarda temel duvar yükünü, eklenen yeni temellere kısmen iletilebileceği güçlendirme detayı Şekil 3.27.'de verilmiştir. Subasman duvarının altında hatılın altına 1.00 m aralıkla duvara dik yönde yerleştirilecek hatılların duvar yükünü eski temelin her iki tarafındaki yeni temel sömellerine aktarılması beklenmektedir (Bayülke, 1992).

Temel güçlendirilmesinde kullanılan diğer yöntem ise, eski temelin yükünü daha derinlerdeki zemine aktaran yeni ayakların eklenmesidir. (Şekil 3.26.). Yapının temelleri kısım kısım açılarak sağlam zemine ulaşana kadar kazılması ile bir çukur açılmakta ve çukura beton dökülerek, yeni betonla eski temel sömelinin arasındaki boşluklar ise ahşap takozlarla sıkıştırılarak eski temelden yeni temel ayağına yük aktarılması amaçlanmaktadır. Betonlanacak bölümlerin en fazla 1.00 metrelik

aralıklarla yapılması ve aralardaki kısmın yanlarındaki betonun sertleşmesinden sonra yapılması gerekir. Böylece temelin altında büyük kütleli, derin ve geniş bir beton ayak oluşturulmuştur. Genellikle bu uygulama, yapının oturan bölümlerinde veya köşesinin altında yapılması yeterli olacaktır (Çamlıbel, 2000).



Şekil 3.28. Yığma yapı temellerinin daha derindeki beton ayaklarla güçlendirilmesi (Bayülke, 1992)

Alttan destekleme veya takviye kazıkları olarak da isimlendirilen bu tür temel takviye yöntemlerine örnek olarak; parçalı itme kazıklar, mini veya mikro kazıklar, zemin çivilemesi uygulaması, kalıcı veya sürekli öngermeli ankrajlar, delme kazıklar verilebilir.

Her çeşit zeminde uygulamaya uygun olan mini kazıklar, güçlendirilecek temel kesitinin her iki yanında inşa edilir. Her kazığın taşıma kapasitesi, imalattan sonra yerinde ölçülebilir, 300 tona varacak taşıma kapasitesi mümkündür. Eğer binanın yapının içinde çalışma imkanı yoksa dışarıda imal edilen kazıklara duvar konsol olarak taşınabilir (Baş, 2006).

Örneğin Konya Alaaddin Cami zemin güçlendirmesi için enjeksiyon yapıldıktan sonra temel takviyesi için cami duvarlarının iç ve dışında 59 adet 28 mm çaplı mini kazıklar imal edilmiş, düşey ve eğimli olmak üzere 2 tipte oluşturulan kazıklar camii içinde sütunların arasında, camii dışında ise duvarların doğrultusunda

bağlantı kirişleriyle ankrajları yapılmıştır (Sarı,2008).

3.2. Bütünleme (Reintegrasyon)

Bütünleme, bir kısmı hasar görmüş veya yok olmuş yapı ve öğelerinin özgün tasarımındaki bütünlüğe kavuşturmak için geleneksel veya modern malzemelerin kullanılmasıyla tamamlanması işlemidir. Bütünleme işlemi estetik, işlevsellik kazandırma ve taşıyıcı sisteminin sağlamlaştırılması gibi amaçlarla yapılabilir. Bütünleme yapabilmek için en önemli husus, bütünlenecek yapı ile ilgili özgün tasarımına ilişkin yeterli bilgi ve belgeye sahip olmak gerekir. Bütünleme tekniği, ancak bilimsel veri ve belgelere dayandırıldığı zaman uygulanabilir (Ahunbay, 1999).

Örnek olarak Amasya Taşhan restorasyonunda ayakta kalabilmiş yapı taşıyıcı sisteminin geometrisine uygun olarak dayanımı yüksek taş ve yapıştırma harcı kullanılarak kemer, tonoz ve duvarlara bütünleme işlemi yapılmıştır. Bu restorasyon sayesinde âtil durumda olan Taşhan'a, bugünkü haliyle otel olarak fonksiyon kazandırılmıştır (Pergel,2013).



Şekil 3.29a. Taşhan Restorasyon öncesi b. Taşhan Restorasyon sonrası

3.3. Yenileme - Yeni İşleve Uyarlama (Renovasyon)

Zaman içinde değişen yaşam biçimi ve ona bağlı ihtiyaçların değişmesi sebebiyle birçok tarihi yapı özgün işlevini kaybetmekte, özgün işlevinden farklı bir fonksiyonel olarak kullanılmasını sağlamak için yeni işlevine uyarlanmaktadır. Hamam, kervansaray, kilise gibi yapı türleri özgün işlevlerini kaybettikleri için bu yapıların farklı amaçlarla kullanılmasıyla yapıya yeni bir fonksiyon kazandırılabilir (Ahunbay, 1999).

Venedik Tüzüğü'nün 5. Maddesinde, "Anıtların korunması, her zaman onları

herhangi bir yararlı toplumsal amaç için kullanmakla kolaylaştırılabilir. Bunun için bu tür kullanma arzu edilebilir, fakat bu nedenle yapının planı, ya da bezemeleri değiştirilmemelidir. Ancak bu sınırlar içinde yeni işlevin gerektirdiği değişiklik tasarlanabilir ve buna izin verilebilir” ifadesi ile, yeniden işlevlendirmenin sınırları çizilmiştir (Venedik Tüzüğü, 1964).

Tarihi binaların yeniden işlevlendirilmesi yapılırken; yapının eski fonksiyonuna ve fiziksel özelliklerine göre yeni işlevin belirlenmesi, özgün plan düzeninin yeni işlevlere uygun olması gerekir. Değişiklik yapılması gerekiyorsa da bu değişiklikler geri döndürülebilir olması ve yapının boyutunda bir değişikliğe yol açmaması, modern malzemelerden kaçınılarak mümkün olduğunca özgün malzemelerin korunması ve yeni fonksiyonun yapının bulunduğu coğrafyaya uygunluğu, insanların ihtiyaçlarının karşılanması, müdahalenin en aza indirilmesi, yapısal ve mimari unsurların sağlam tutulması gibi konulara dikkat edilmelidir (Başgöl, ve İlerisoy, 2021).

Amasya ölçeğinde, yenileme (renovasyon) uygulamasına örnek olarak Bimarhane (Darüşşifa) yapısı verilebilir. Amasya Bimarhanesi, İlhanlılar Döneminde (M.1308-1309) darüşşifa olarak inşa edilmiştir (M.1308-1309). Burada bir süre ruh hastalarına da hizmet verildiği bilinen yapı bir dönem günümüz tıp medresesi olarak da kullanılmıştır. Günümüzde tıp ve cerrahi tarihi müzesi olarak yeniden işlev kazandırılmıştır. Bimarhane, özgün işlevi olan darüşşifa (hastane) fonksiyonundan çok uzaklaştırılmadan, cerrahi teknik ve malzemelerin sergilendiği bir tıp müzesine dönüştürülerek yeni işlevine paralel hizmet vermektedir (Koçyiğit,2022).



Şekil 3.30. Amasya Sabuncuoğlu Tıp ve Cerrahi Tarihi Müzesi (Bimarhane)

Amasya’da bir başka renovasyon örneği ise 19. yüzyıl sivil mimarlık örneği

olan Hazeranlar konağının, etnografik eserlerin teşhir edildiği “Şehzadeler Müzesi” olarak kullanılmasıdır.



Şekil 3.31. Amasya Hazeranlar konağı (Fotoğraf: Amasya İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü Arşivi)

3.4. Yeniden Yapım (Rekonstrüksiyon)

Yeniden yapım, tamamı yıkılmış, yok olmuş, harap durumdaki bir tarihi yapının elde bulunan belgelere dayanarak yeniden inşa edilmesi olarak tanımlanabilir. Rekonstrüksiyon, tarihi açıdan anlamlı olmasa da, bir yapım tekniğinin sürdürülmesi, gelenekselin yaşatılması bakımından koruma amaçlı uygulanması kabul edilebilir. Bazı durumlarda ise yeniden yapım kaçınılmaz bir yol olabilir. Yeniden yapımın söz konusu olması için teknik veriler, fotoğraf, rölöve çizimleri vb. grafik belgelerle desteklenmesi gerekir. Bir şehrin silüetinin önemli bir parçası haline gelmiş, tarihi bir olaya tanıklık etmiş yapıların yeniden yapılması gerekli görülebilir. (Ahunbay, 1999).

Rekonstrüksiyon uygulamasına örnek olarak Amasya Saraydüzü Kışlası verilebilir. 1898-1900 yılında yapılan kışla binası, 1930'dan sonra önemini yitirmiş, 1944'te tamamen yıkılmış ve yerine askeri lojman ve orduevi yaptırılmış, 1986 yılında ise heyelan sebebiyle bina tamamen yıkılmıştır. Amasya Genelgesi'nin imzalandığı yer olan Saraydüzü Kışla Binası'nın bu tarihi öneminden dolayı 1997 yılında tekrar yapılmasına karar verilmiştir. Fakat bulunduğu yerin heyelan riski olduğu için başka rekonstrüksiyon olarak 2007 yılında özgün cephe görünümüne sadık kalınarak, yeniden inşa edilmiştir. Saraydüzü Kışlası şu anda Cumhuriyet Dönemi'ne ait eserlerin sergilendiği bir müze ve aynı zamanda çeşitli etkinliklerin düzenlendiği bir kültür merkezi olarak kullanılmaktadır (Vikipedi,2022).



Şekil 3.32.a. Saraydüzü Kışla Binası Eski Hali b. Saraydüzü Kışla Binası Rekonstrüksiyonu (Vikipedia)

3.5. Temizleme ve Arındırma

Bir anıtın veya kentsel alanın genel etkisini azaltan, tarihi ve estetik değeri olmayan eklentilerin kaldırılması işlemine temizleme (arındırma) denilmektedir. Kaldırılmak istenilen yapısal ekler (duvar, döşeme, balkon vb.) farklı şekilde bir gösterimle (renklendirilerek veya taranarak) rölöve çizimlerine (plan, kesit ve görünüş) detaylı işlenir ve temizlik sonrasında önerilen proje, Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kurulu'nun onayına sunulur. Kuruldan onay alınarak kaldıran eklentilerle ilgili temizleme işleminin öncesinde ve işlem esnasında fotoğrafik belgeleme yapılması önemlidir (Ahunbay,1999).

“Temizleme” terimi tarihi yapıların dış cephe duvarları, kapı, pencere, tavan gibi ahşap elemanlar ile bezemelerin kir, toz , pas boya vb. birikintilerden mekanik ve kimyasal işlemlerle arındırılması işlemi için de kullanılmaktadır. Temizleme işleminin hangi teknikle yapılacağına karar verebilmek için öncelikle cepheyi oluşturan malzemenin çeşidi, kir tabakasının özellikleri, bozulmaların ve yapının bulunduğu ortamın özellikleri de incelenmelidir. Temizleme işlemi sırasında yalnız kir tabakasının kaldırılmasına, taş veya tuğla yüzeyin tahrip edilmemesine özen gösterilmelidir (Ahunbay,1999).

Cephe taş temizliği; mekanik temizlik, kimyasal temizlik, suyla yıkama, emici kil ve kâğıt hamurları uygulama, emici jeller uygulama, kontrollü kumlama, lazer ile temizleme olarak sınıflandırılabilir.

Ayasofya Müzesi taş temizliğinde, Lokal olarak %5’lik amonyum karbonat çözeltisi kâğıt hamuruna emdirilerek taş yüzeyine kompres yapıp, atomize su yöntemi kullanılarak yumuşatılan kirler, diş ve tırnak fırçası yardımı ile arındırılmıştır (Gökçe,2010).



Şekil 3.33. Ayasofya Müzesi taş temizliği uygulamaları



Şekil 3.34. Ayasofya Müzesi cephe taş temizliği öncesi ve sonrası

Ahşap, başta su olmak üzere atmosferik faktörlere ve ahşabı tahrip eden böcek, mantar gibi zararlılara maruz kaldığında zamanla yumuşayarak bozulmasına ve temasın devam etmesi halinde de kesit kaybına neden olduğu gözlemlenmiştir. Ahşap üzerindeki kir, toz ve boyaların temizlenmesi için fırça, spatula, zımpara gibi el aletleri ile mekanik temizlik yapılabilir. Boya tabakasının daha kolay kaldırılmasını sağlamak için ısı tabancası da kullanılabilir. Boyadan arındırılan yüzeyler lif doğrultusuna paralel yönde kazınarak temizlenip arındırılır (Eyüpgiller & Zakar, 2015).



Şekil 3.35.Ahşap yüzeylerindeki boya sökümü işlemleri (Köroğlu ve Kudde, 2011)

Ahşap cilala ve boyları kimyasal sökücüler kullanılarak da çıkarılabilir. Kimyasal temizlik işleminde metilen klorür, izopropanol, metanol, ksilol, toluol gibi organik çözücüler de kullanılabilir. (Zakar,2013).

3.6. Taşıma (Relocation)

Bir anıt, bulunduğu yerde yapının ömrünü tehdit eden (sel, heyelan gibi doğal afetler gibi) oluşumlara maruz kalıyorsa ve bu konumda korunması mümkün olmadığında bulunduğu yerden farklı daha güvenli bir konuma, bütüncül bir şekilde taşınması bir çözüm olabilir.

Taşıma işlemi, etkin ve hassas belgeleme yöntemleri, iyi bir planlama ve nitelikli bir işçilik ve özel uzmanlık gerektiren bir yöntemdir. Orbash (2008), tarihi yapıların yeni bir alana taşınmasının bir çeşit yeniden yapım olduğunu ancak tarihi eserin bir tehdit altında olduğu durumlarda taşımanın kabul edilebilir bir koruma yöntemi olabileceğini belirtmiştir.

Yapının bütün halde taşınmasının mümkün olmadığı durumda, yapı elemanlarına ayrılarak taşınması gerekebilir. Parçalara ayrılmadan önce fotoğraf ve rölöve çizimleri ile detaylı belgelendirme yapılmış olmalıdır. Taşıma işlemi öncesi, planlaması ve sonrasında yeni konumunda tekrar kurularak birleştirip özgün durumuna getirilebilmesi için disiplinler arası (Mimar-mühendis-restoratör vb.) bir

Çalışma gerektirmektedir. (Eyüpgiller & Zakar, 2015).

Hasankeyf'te inşa edilmekte olan Ilısu Barajı'nın tamamlanmasıyla baraj su seviyesi altında kalacak olan Zeynel Bey Türbesi'nin bütüncül olarak taşınması bu tekniğe örnek olarak verilebilir. (şekil 3.35) (Anadolu Ajansı, 2017).



şekil 3.36. Zeynel Bey Türbesi'nin taşınma işlemi (Anadolu ajansı, 2017)

4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. Materyal

Türkiye’de 06.02.2023 tarihinde Kahramanmaraş ilinin Pazarcık ve Elbistan İlçelerinde 7,7 ve 7,6 büyüklüklerinde depremler meydana gelmiştir. Geniş bir alanı kapsayan bu kuvvetli yer ivmeleri; Kahramanmaraş merkezi başta olmak üzere komşu illerde Hatay, Adıyaman, Malatya, Kilis, Adana, Diyarbakır, Gaziantep, Şanlıurfa ve Osmaniye’de çok sayıda can kaybı ve yapı hasarlarına yol açmıştır. Kahramanmaraş depremine benzer büyüklükte bir depremin Amasya’da olması durumunda bu bölgede bulunan tarihi yapılarda oluşabilecek hasarları öngörerek gerekli tedbirleri almak amacıyla bu çalışmada uygulama örneği olarak Amasya ilinde tarihi önemi büyük olan İlhanlı dönemine ait yığma bir yapı olan Bimarhane (Darüşşifa) seçilmiştir.

4.2. Bimarhane’nin Tarihi, Mimari ve Taşıyıcı Sistem Özellikleri

Bimarhanenin taç kapısının üzerindeki üç yönlü tek satır halinde dolanan kitabesinde, yapıyı Hicri 708 (Miladi 1308-1309) tarihinde, İlhanlı Hükümdarı Sultan Olcaytu Mehmed Han’ın karısı İlduş Hatun’un kölesi Anber Bin Abdullah tarafından inşa ettirildiği yazmaktadır (Cantay, 1991).



Şekil 4.1. Amasya Bimarhanesi’nin ön görünüşü



Şekil 4.2.Bimarhane avlu görünümü



Şekil 4.3. Bimarhane'nin Bimarhane'nin üç yönde yazılmış kitabesi

Kitabesinde belirtildiği gibi darüşşifa olarak inşa edilen yapı, bir dönem ruhsal rahatsızlıkları olan hastaların tedavisi de yapıldığı için “Bimarhane” olarak adlandırılmıştır. Darüşşifa (hastane) fonksiyonuyla birlikte aynı zamanda tıp eğitimi veren bir medrese olarak hizmet vermeye devam etmiştir. (Urak,1994).



Şekil 4.4. Bimarhane'nin görünüşüne ait eski bir fotoğraf (Gabriel,1934)

Cumhuriyet Dönemi'nde (1933-35 yıllarında) yapıya müdahale etmek yerine koruma amaçlı yapının çevresine istimlak yapılarak komşu yapılardan arındırıldığı resimlerden VGM arşivlerinden anlaşılmaktadır ((İnan Ocak ve Tanyeli, 2019).

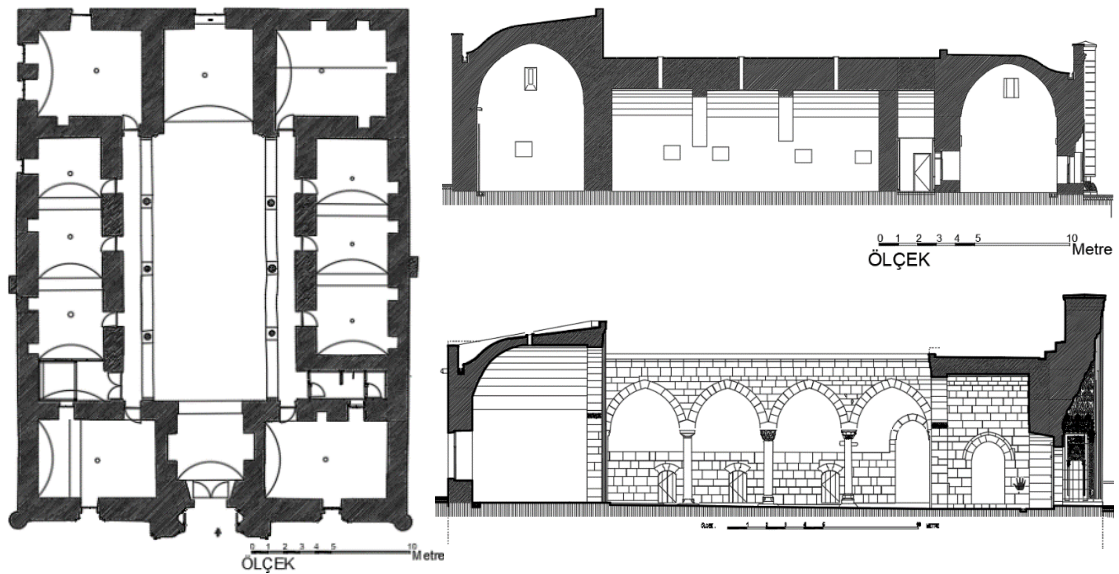
1939 depreminde çok fazla hasar gören yapı, âtıl kalarak zamanla önemini kaybetmiş ve hatta bir dönem Amasya esnafının deposu olarak kullanılmıştır. İlerleyen dönemlerde yapı onarımlar görmüş ve işlev değişikliği yapılmıştır, bir dönem hapishane, bir dönem kereste ticareti amacı ile de kullanılmıştır (İnan Ocak ve Tanyeli, 2019). Y. Mimar Ali Saim Ülgen'in katkılarıyla 1948'te özellikle yapının giriş cephesinde taç kapının tamamlanmasını içeren bir onarım görmüştür.



Şekil 4.5.Bimarhane'nin 1948-51 Yılları Onarımı Sonrası Görünümü (VGM Arşivi) (İnan Ocak ve Tanyeli, 2019)

1991-1997 yıllarında V.G.M. tarafından tekrar restorasyon işlemleri sürmüştür (Urak, 1994). 1997 yılından sonra M.E.M. Halk Eğitimi Merkezi Güzel Sanatlar Galerisi olarak yeniden işlevlendirmiş, 1999 yılında Belediye Konservatuvarı olarak değerlendirilmiştir (Menç, 2000). Burada on dört yıl hekimlik yaptığı bilinen Amasyalı bir cerrah olan Sabuncuoğlu Şerefeddin' in adını yaşatmak maksatlı Bimarhane 2011 yılından beri "Amasya Sabuncuoğlu Şerefeddin Tıp ve Cerrahi Tarihi Müzesi" ismiyle müze olarak Amasya Belediyesi tarafından kullanılmaktadır.

Amasya Bimarhanesi, doğu-batı yönleri doğrultusunda uzanan duvarları ile dikdörtgen yapıda (32.5 m x 24.7 m.), açık avlulu, revaklı, iki eyvanlı, simetrik plan tipindedir (Şekil 4.3). Yapıya batı cephesinden mukarnaslı taç kapı ile giriş yapılmaktadır. Giriş eyvanlı olup, avluya açılmaktadır, giriş eyvanının tam karşısında ana eyvan bulunmaktadır. Açık avlunun kuzey ve güney yönlerinde karşılıklı konumlanan dört açıklıklı üç sütunlu revakların bağlandığı arka duvarlarda dıştan üç giriş kapısı olan içten tek mekan olarak kullanılan medrese hücreleri bulunmaktadır. Yapıda simetrik olarak toplam sekiz kapalı dikdörtgen mahall bulunmakta ve bu mahallerin tavanları beşik tonozla örtülmüştür. Yapının kuzey cephesinde beş tane, ön cephede giriş kapısının her iki yanında mukarnaslı birer pencere, doğu cephesinde ise iki tane dikdörtgen şeklinde pencere açıklıkları mevcuttur. Güney cephesinde pencere açıklığı olmamasına rağmen küçük havalandırma maksatlı mazgal pencere bulunmaktadır. Diğer cephelerde de farklı yüksekliklerde mazgal pencereler mevcuttur.



Şekil 4.6. Bimarhane Plan ve Kesitleri (TVBM)

Bimarhane'nin giriş cephesi diğer cephelere göre daha yüksek olup, düzgün kesme taş duvarı ve taş kapıdaki mukarnasları ile ihtişamlı bir görünümündedir. Ön cephenin köşelerinde dairesel formda kesme taş payandalar ile duvar köşe birleşimleri desteklenmiştir.



Şekil 4.7. Bimarhane'nin ön cephesi kesme taş, diğer cepheleri ise kaba moloz taş duvar

Kuzey-Güney ve Doğu cephelerinin dış duvarları Şekil 4.7.'de görüldüğü üzere kaba moloz taş ile örülmüştür, iç duvarlar ise sıvalı ve boyalı olduğu için muhtemelen aynı şekilde moloz taş olduğu düşünülmektedir. Yapıdaki sekiz kapalı mekânın üst örtüsü olan beşik tonozların ise klasik tuğla tonoz olduğunu VGM arşivindeki 1948-51 yıllarındaki restorasyon raporlarından anlaşılmaktadır (İnan Ocak ve Tanyeli, 2019).

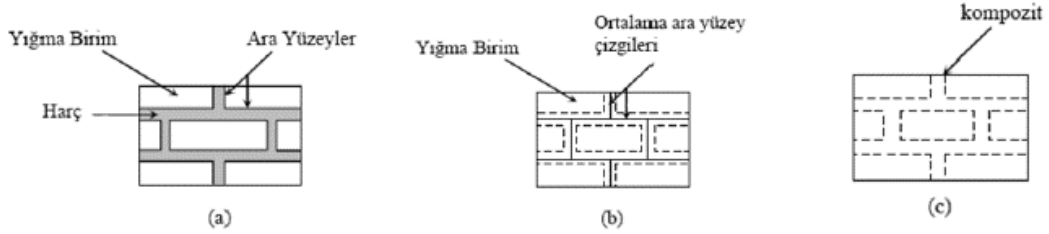
4.3. Yığma Yapılarda Kullanılan Modelleme Yöntemleri

Tarihi yığma yapıların sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılan statik ve dinamik analizlerde, taşıyıcı olan duvarların modellenmesi modellemenin doğru yapılması ve her bir elemanın davranışının gerçeği en iyi şekilde temsil etmesi bakımından önemlidir. Doğrusal olmayan çözümleme tiplerinde yığma birimlerin ve ara yüz elemanlarının her birinin ayrıca modellendiği durumda bilinmeyen sayısı çok fazla ve sistem rijitlik matrisinin boyutları çok büyük olduğu için iterasyon işlemleri de düşünülürse, çözümleme çok fazla zaman almaktadır (Ural 2009).

Tarihi yığma yapıların sayısal analizlerinde kullanılan malzemelerin özellikleri ve modelleme şekilleri, betonarme yapılardan çok daha farklıdır. Yığma yapıların büyüklüğüne bağlı olarak sayısal modelleme tekniklerini yığma birimler, birimleri

birbirine bağlayan harç ve birimlerle harç arasındaki ara yüzeyler göz önüne alınarak üç farklı yöntem ortaya konulmuştur. Bu modelleme yöntemleri Şekil 4.8’de verildiği gibi:

- Detaylı Mikro modelleme
- Basitleştirilmiş mikro modelleme
- Makro modelleme olarak sınıflandırılabilir. (Lourenço 1996).



Şekil 4.8. Yığma yapılarda modelleme şekilleri a) Detaylı mikro modelleme, b) Basitleştirilmiş mikro modelleme, c) Makro modelleme (Lourenço 1996)

Detaylı Mikro Modelleme yönteminde, yığma duvar birimlerinin mekanik özellikleri ayrı ayrı ele alınmaktadır (Şekil 4.8). Yapının hasar görmesi durumunda ise çatlakların yığma birim elemanları ile harcın arasındaki ara yüzeylerde meydana gelebileceği varsayılmaktadır (Lourenço 1996).

Basitleştirilmiş mikro modelleme yönteminde, harcın mekanik özellikleri göz ardı edilerek hesaplamalarda yığma birimin bütün olarak özellikleri dikkate alınır. Yığma yapı birimlerinin ebatları, harç tabakasının kalınlığının yarısı oranında genişletilerek harç tabakası ihmal edilmektedir. Yığma birimlerin her birinin ara yüzeyleri birbirinden ayrıldığı varsayılır. Yığma duvarlarda oluşabilecek çekme ve kayma gerilmelerinden kaynaklı çatlakların ara yüzeylerin ortasında düşey bir şekilde oluşabileceği varsayılmaktadır (Lourenço 1997).

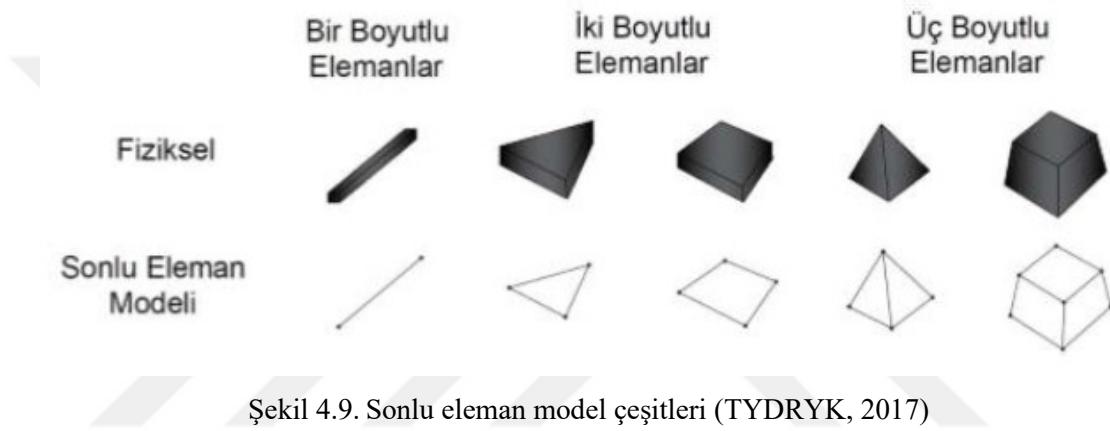
Makro modelleme tekniğinde ise, yığma birim ve harç arasındaki etkileşim ihmal edilerek, yığma birim ve harcın özellikleri homojenleştirilerek yığma duvar elemanları; taş, tuğla ve harç tek bir malzeme özelliğinde bir kompozit malzeme gibi kabul edilmektedir (Lourenço 1997).

4.4. Sonlu Elemanlar Yöntemi

Sonlu Elemanlar Metodu (Finite Element Method) (FEM), mühendislik ve matematiksel modellerin analizlerinde çoğunlukla kullanılan sayısal bir analiz yöntemidir. FEM, bilhassa yapı statikliği, akışkanlar mekaniği, kütle aktarımı, ısı aktarımı, ve elektrik potansiyeli problemlerinde kullanılmaktadır. (Zienkiewicz ve ark 2013). Sonlu elemanlar yöntemi, mühendislikte sınır değer problemlerinde

yaklaşık sonuçlar elde etmeyi sağlayan sayısal bir hesaplama yöntemidir (Hutton, D.V., 2004). Bu yöntemde yapıların statik, dinamik, doğrusal ve doğrusal olmayan analizleri yapılabilmekte ve analiz sonuçları sayısal veya grafiksel şekilde ifade edilebilmektedir.

Sonlu elemanlar metodunda, geometri, bir boyutlu doğrusal elemanlar (kirişler, kolonlar, doğrusal çubuk veya eğrisel elemanlar, gibi), iki boyutlu sonlu elemanlar (yüzeysel duvarlar, levhalar, kabuk elemanlar (eğrilikli yüzeyler) veya üç boyutlu solid elemanlar (kalın taşıyıcı duvarlar gibi) kullanılarak Şekil 4.9.'da görüldüğü gibi modellenebilir.(TYDRYK, 2017). Kullanılacak sonlu eleman türü, taşıyıcı sistem elemanının geometrisine göre değişiklik göstermektedir.

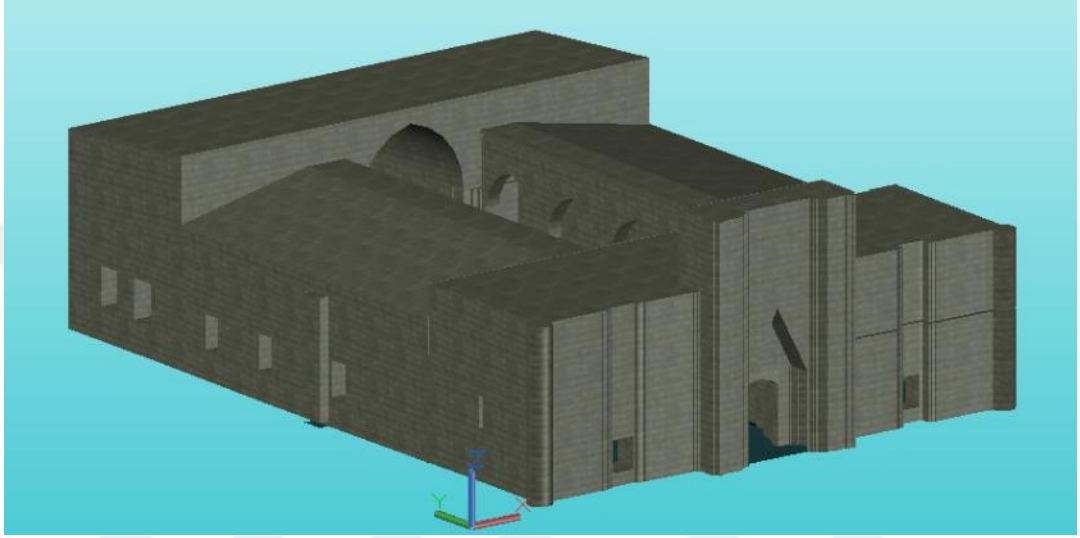


Yığma yapılarda, basit duvarlar, çapraz çubuk modeli, eşdeğer çerçeve modeli, genel sonlu eleman modeli kullanılarak modellenebilir. Düzenli yığma yapıda basit modeller yeterli olurken, karmaşık duvar düzeni olan yapılarda daha kapsamlı modeller kullanılmaktadır. Sonlu elemanlar yönteminin en önemli aşaması modelleme aşamasıdır. Model doğru çizilmeli ve buna uygun olan sonlu eleman tipi ve büyüklüğü doğru seçilmelidir. Yapı ne kadar gerçeğe uygun modellenirse, sayısal analizler sonucunda elde edilen sonuçlar da o kadar gerçeğe yakın çıkacaktır. (Dabanlı, 2008).

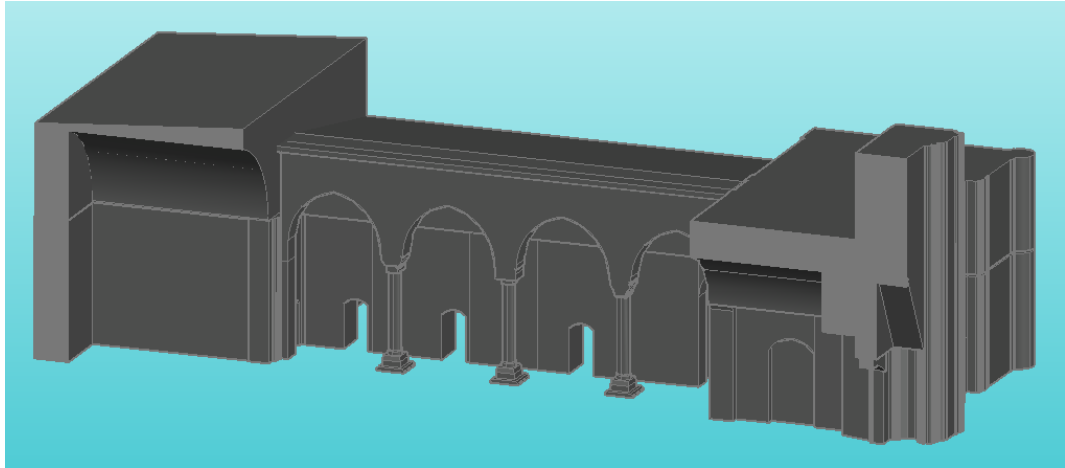
Çok büyük boyutlardaki yapı sistemlerinde rijitlik matrisi ve yapısal analiz programlarının oluşturacakları sonuç dosyalarının boyutları çok fazla büyük olacağı ve çok uzun süreceği için, makro modelleme tekniği, büyük yapı sistemlerinin analizlerinde, karmaşık sistemli yığma yapıların duvar, sütun, kemer ve tonozlarının modellenmesinde kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında hazırlanan sonlu eleman modeli, burada anlatılan “makro modelleme” tekniğiyle oluşturulmuştur. Üç boyutlu

modelleme yapılırken Amasya Belediye'sinden temin edilen Restorasyon Tadilat Projesi'nden faydalanılmıştır. Mevcut durumda projeden farklı olan pencere açıklıkları vb. yerlerin ölçüleri yerinde ölçü alınarak model çizimi tamamlanmıştır.

İnceleme konusu yapının mevcut halindeki deprem performansının belirlenmesi amacıyla Ansys Workbench for Students programı ile analizleri yapmak için yapının rölöve projesine uygun olarak yapının üç boyutlu modeli SOLIDWORKS 2022 programı ile modellenmiştir (Şekil 4.10.).



Şekil 4.10. Bimarhane'nin 3D sonlu elemanlar modeli



Şekil 4.11. Bimarhane'nin üç boyutlu sonlu eleman modelinin kesiti

4.5. Tarihi Yapılarda Analiz Yöntemleri

Tarihi yapıların analizinde, doğrusal tek ve çok modlu statik analiz, zaman tanım alanında doğrusal (lineer) analiz ve doğrusal olmayan (nonlineer) analiz olmak üzere 3 farklı analiz yöntemi öne çıkmaktadır.

- Doğrusal tek ve çok modlu statik analiz: En yaygın kullanılan doğrusal statik

yöntem olup, tek ve çok modlu olan uygulamalar söz konusudur. Tek modlu olan analiz Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ve çok modlu olan ise Mod Birleştirme Yöntemi olarak bilinmektedir (TYDRYK 2017). Mod Birleştirme Yönteminde yapı kütlelerinin, belirli seviyelerde toplandığı ön kabulüyle, yer değiştirme ve dönme hareketine bağlı olarak yapının davranışı gözlemlenir. Sayısal olarak güvenilir bir temele dayanmasına karşın, gerçek taşıyıcı sistem davranışını temsil etme konusunda ve açıklamakta bazı eksiklikler sebebiyle dikkatli kullanılmalıdır. Bu sebeple Modal analiz sonuçlarının, lineer statik analiz sonuçlarıyla karşılaştırılarak değerlendirilmesi önerilmektedir. (Dabanlı,2008)

- Zaman tanım alanında doğrusal analiz: Yapının kütle, sönüm ve rijitlik gibi özelliklerine uygun olarak oluşturulan hareket denkleminin, seçilen bir depremin ivme kaydı ile sayısal çözümleme yöntemidir. Çözümleme için yapının bulunduğu yere ve zemin özelliklerine bağlı olarak ve ivme spektrumu yönetmeliklerde verilen spektrumla uyumlu olan belirli sayıda deprem ivme kaydının kullanılması gerekmektedir. Belirli sayıda kayıt kullanılarak elde edilen sonuçlar bazı istatistiksel ilkelerle birleştirilerek gerilme, iç kuvvetler, şekil değiştirme ve yer değiştirmeler elde edilebilmektedir. Elde edilen sonuçlar zaman bağlı olarak hesaplandığı için, çok sayıda sonucun birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir(TYDRYK 2017).

- Doğrusal olmayan analiz: Doğrusal olmayan analizde, yapıda başlangıçtan limit durumuna kadar meydana gelen hasarlar ve davranışlar incelenebilir. Yapılarda doğrusal olmayan davranışı etkileyen iki önemli faktör vardır: birincisi malzemenin elastik ötesi davranışı, ikincisi geometriden kaynaklanan, ikinci mertebe etkileri adıyla bilinen yüklemelerle geometride meydana gelen değişimlerin etkilerini kapsamaktadır. (Dabanlı,2008). Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler, mevcut binaların deprem güvenliklerinin belirlenmesi için ve yüksek binaların incelenmesinde kullanılmaktadır. Benzer şekilde bu yöntem tarihi binalar için de kullanılabilir. Bu durumda iki önemli hususa dikkat etmek gerekir. Öncelikle doğrusal olmayan analizin kullanılabilir olması için, yapıda yeterli elastik ötesi şekil değiştirme kapasitesinin (sünekliğin) olması gerekir. Tarihi yapılarda süneklik, betonarme ve diğer tür yeni yapılara göre daha sınırlıdır. İkinci önemli nokta ise doğrusal olmayan analiz sonuçlarının, analiz ve malzeme parametrelerine bağlı olarak değişmektedir. Analiz sonuçlarının kullanılabilir olması için, malzeme parametrelerinin mümkün olduğunca gerçekçi belirlenmesi gerekmektedir

(TYDRYK 2017).

4.6. Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesi

Tarihi yapıların davranışları belirlemek; günümüzdeki standartları belli olan beton ve çelik gibi yapı malzemelerinin kullandığı yapılara göre daha zordur. Tarihi yığma yapılarda kullanılan taş, tuğla ve harcın dayanımını etkileyen birçok etken vardır. Günümüze kadar ulaşmış olan tarihi yığma yapılar, zaman içinde doğal afetlere maruz kalarak veya kendi zati yükleri ile ya da yeni kazandıkları fonksiyonlar sebebiyle farklı yatay ve düşey yüklere maruz kalmışlar ve oluşan hasarlara yönelik yapılan restorasyonlarda farklı yapı malzemelerinin kullanılması gibi sebepler; yapı malzemelerinin doğal yapısının zamanla değişimine sebep olmuştur.

Tarihi yığma yapılardaki malzemelerin mekanik özelliklerini belirlemek için farklı yöntemler, varsayımlar ve analitik veriler dikkate alınmaktadır. Özellikle büyük yığma yapı sistemlerinde doğrusal olmayan çözümleme çok fazla zaman almaktadır. Bu problemleri çözmek için Lourenço, (1996) homojenleştirme yöntemini önermiştir. Homojenleştirme yöntemi; malzemenin bütün doğrultularda aynı davranışı gösterdiği kabulü ile taş ve harcın birlikte kullanılmasıyla oluşturulan duvar elemanı için tek bir malzeme özelliği tanımlanmasıdır.

4.6.1. Yapı Malzemeleri Üzerinde Yapılan Tahribatsız Deneyler

Tarihi yapılarda malzeme özelliklerinin belirlenmesi amacı ile yapı elemanlarında yüzey sıcaklığı, nemi, yüzey sertliği, ultrases ölçümü, magnometri, infrared/termografi, georadar/radar tarama, gibi tahribatsız deneyler (NDT Non-destructive Tests) uygulanır. Gerekli görüldüğü durumlarda az tahribatlı deneyler için ilgili Kültür Varlıkları Koruma Bölge Kurulu'ndan izin alınması gerekmektedir. ((TYDRYK 2017).

4.6.1.1. Schmidt Çekici Deneyi

Tarihi yapıların basınç dayanımını tahribatsız yöntemle ölçmek için UTest firmasının Schmidt Çekici (N Tipi) kullanılmıştır. Schmidt Çekici ile taşların yüzey sertlik değerlerini kullanarak basınç mukavemetlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Schmidt Çekici ile taşlarda ölçümlere başlamadan önce aletin yanındaki "Kalibrasyon Örsü" kullanılarak bulunan değerlerin doğruluğu kontrol edilmiştir.

Yapının ön cephesi ve avlu duvarları kesme taş olup, yan ve arka cepheler moloz taş olarak inşa edilmiştir. Sıvalı olmayan taş duvarların farklı yerlerine ve

revakların sütunlarına Schmidt çekici deneyi uygulanarak, farklı taşların yüzey sertlik derecelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bunun için Schmidt çekici yatay konumda tutularak taşlara vuruşlar yapılmış ve Schmidt sertlik değerleri ölçülmüştür (Şekil 4.12.). Aynı taşta uygulanan farklı vuruluşlardan elde edilen yüzey sertlik değerlerinin aritmetik ortalamaları hesaplanarak taşların sertlik değerleri elde edilmiştir.



Şekil 4.12. Sütuna Schmidt çekici ile vuruş yapılması

Schmidt çekici deneyleri sonucunda elde edilen sertlik değerlerinden basınç dayanımlarının hesaplanabilmesi için literatürde kayaçlar üzerinde yapılan benzer çalışmalardan faydalanılarak önerilen formülasyonlardan faydalanılmıştır. Bu formülasyonlar Aksoy ve Karaton, (2019), Katz vd.(2000), Yılmaz ve Sendir (2002), Aydın ve Basu (2005)'nin önerdiği şekilde elastisite modülü değerleri hesaplanarak ortalaması Tablo 4.1' de verilmiştir.

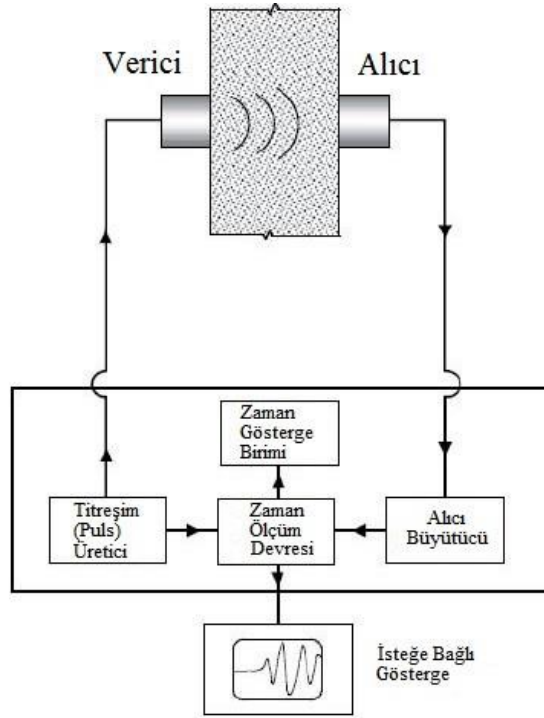
Tablo 4.1. Taş Çeşitlerinin sertlik değeri ve sertlik değerinden elde edilen basınç dayanımları ve Elastisite Modülleri

Ölçüm Yapılan Yer	Schmidt Sertlik Değeri (N)	Basınç Dayanım F_c (MPa)	Elastisite Modulu E (MPa)
Kemer ve Kesme taş duvarlar	45	51	25130
Giriş taş duvar	52	78	32294
Giriş kapısı söve mermeri	60	86	40272
Mermer Sütun	65	91	42346

4.6.1.2. Ultrasonik Deney Yöntemi

Ultrases deneyinde, ses dalgaları cismin yüzeyine boşluk bırakılmaksızın temas ettirilerek bir piezoelektrik dönüştürücü (transducer) ile iletilmektedir. Bu ses

dalgaları aynı özellikteki bir diğer dönüştürücü tarafından alınmaktadır. Alıcı ve verici dönüştürücüler arasındaki ses dalgalarının iletim süresi ve hızı kullanılarak malzemenin elastisite modülü elde edilebilmektedir (Şekil 4.12) (Tarun vd. 2004).



Şekil 4.13. Ultrasonik hız devresi şeması (Tarun vd. 2004)

Taşıyıcı duvar ve sütunların dinamik elastisite modülünün tespit edilmesi için ultrasonik test yöntemi kullanılmıştır. Deneye başlamadan önce alıcı ve verici uçlara iletken jel uygulandıktan sonra kalibrasyon çubuğunun her iki yüzüne sıkıca temas ettirilerek kalibrasyon işlemi başarılı bir şekilde yapılmıştır.(Şekil 4.14.)



Şekil 4.14. Proceq ultrases cihazı kalibrasyon işlemi ve Ultrases cihazı ile yarı direkt okuma

Tablo 4.2.'de belirtilen yerlere ultrases testi uygulanarak aşağıdaki değerler elde edilmiştir. Elde edilen UV (m/sn) değerlerinden Pekgökgöz vd (2018) 'nin Şanlıurfa Ulu Cami Minaresindeki kireç taşının Elastisite Modülünün Ultrasonik Test Cihazı yöntemi ile belirlenmesinde kullandıkları bağıntılardan faydalanarak, dinamik elastisite modülü hesaplanmıştır. Elde edilen veriler tablo 4.2 de görülmektedir.

Tablo 4.2. Ultrasonik Test Cihazı İle Elde Edilen Sonuçlar

Ölçüm Yapılan Yer	Ultrases UV m/sn	Basınç Dayanım Fc (MPa)	Elastisite Modulu Ec (N/mm ²)
Kemer ve Kesme taş duvarlar	5415-4747-5357	25,13	18746
Giriş taş duvar	5547-4214	32,29	24078
Giriş kapısı söve mermer	6303-6148	40,27	31267
Mermer Sütun	6332-5701	42,34	32614

4.6.2. Yapı Malzemelerinin Parametrelerinin Belirlenmesi

Bu çalışmada yığma yapılarda kullanılan taş, tuğla ve harç gibi malzemeleri homojenleştirilerek kompozit bir malzeme olarak kabul eden makro modelleme tekniği kullanılmıştır. Taşın yaklaşık olarak ortalama basınç dayanımları ve elastisite modülleri elde edilmiş olmasına rağmen harçtan örnek alınmadığı için harçla ilgili literatür taramasına ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne (TBDY 2018) göre

yığma kargir duvarın karakteristik basınç dayanımı elde edilmeye çalışılmıştır. TBDY 2018 Bölüm 11’den yığma taşıyıcı duvarların karakteristik basınç dayanımını elde etmek için tablodan kâgir birim cinsine bağlı kullanılan bağlayıcı harca (genel amaçlı ve M1-M2) göre duvarın basınç dayanımı (F_k) 4,3 MPa olarak tablodan elde edilmiştir. TBDY 2018 Bölüm 11’de yığma yapılarda kullanılan taşıyıcı duvarların elastisite modüllerinin deneyle belirlenmediği durumlarda, yapısal çözümleme için $750(f_k)$ olarak alınabileceği, kayma modülünün de bu değerin %40’ı olarak alınacağı belirtilmiştir. Bu durumda TBDY 2018’e göre yığma kargir duvarın elastisite ve kayma modülleri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$E_{duv} = 750(f_k) = 750 \times 4,3 = 3225 \text{ MPa}$$

$$G_{duv} = 0.40(E_{duv}) = 0.4 \times 3225 = 1290 \text{ MPa}$$

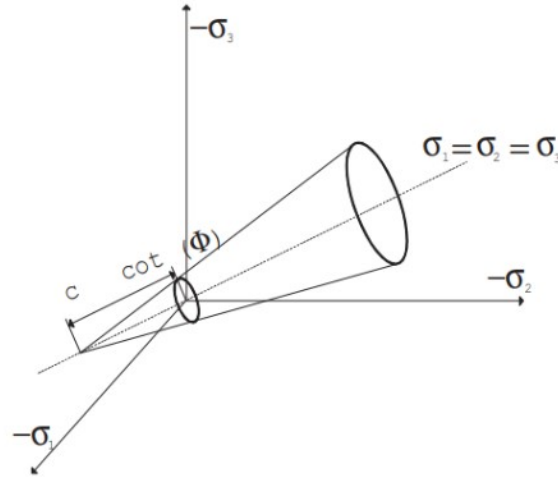
Bu hesaplamalardan sonra Vakıflar Genel Müdürlüğü’nün Tarihi Yapılar İçin Deprem Risklerinin Yönetimi Kılavuzu (TYDRYK 2017) incelenip bu değerlerle karşılaştırılmıştır. TYDRYK 2017’de Yığma duvar malzemesinin mekanik özelliklerinin verildiği tabloda (Tablo 4.3.); kesme taşlı iyi bağlantılı yığma duvar için elastisite modülü değeri aralığı $E=1500\sim1980$ MPa şeklinde verilmiş, moloz taşlı yığma duvar için ise $690\sim1050$ MPa değerleri verilmiştir. Ancak bu değerler ile deneyler sonucu elde edilen f_k değerleri ile TBDY 2018’e göre hesaplanan elastisite modülü değerleri arasında çok büyük farklar olduğu için bu çalışmada güvenli bölgede kalmak için TYDRYK 2017’de verilen mekanik parametrelerine harç, duvar işçiliğine ve duvarın enine bağlantılarının özelliklerine bağlı kullanılabilecek düzeltme katsayıları da dikkate alınarak; yığma duvara ait Elastisite Modülü: 1500 MPa, Basınç Dayanımı: 1,5 MPa, Poisson Oranı:0,2 ve Birim Hacim Ağırlığı:2100 kg/m³ olarak alınmıştır.

Tablo 4.3. Yığma duvar malzemesinin mekanik özellikleri (Magenes, Penna, 2009)

Duvar türü	Basınç dayanımı f_m (MPa)	Kayma dayanımı τ_o (kPa)	Elastisite modülü E (MPa)	Kayma modülü G (MPa)	Birim hacim ağırlığı γ (kN/m ³)
Moloz taşlı yığma duvar	0.6~0.90	20~32	690~1050	115~175	19
Kaba yonu taşlı yığma duvar	1.1~1.6	35~51	1020~1440	170~240	20
Kesme taşlı iyi bağlantılı yığma duvar	1.5~2.0	56~74	1500~1980	250~330	21
Yumuşak taşlı (kalker, tüf) yığma duvar	0.8~1.2	28~42	900~1260	150~210	16
Düzensiz kesme taşlı, sıvalı yığma duvar	3.0~4.0	78~98	2340~2820	390~470	22

Bu çalışmada doğrusal olmayan analizler için yığma duvarların davranışlarını

temsil edebilmek için Drucker-Prager yaklaşımı kullanılmıştır. Yığma duvarların çekme dayanımları düşük olup basınç dayanımları yüksektir. Gevrek malzemelerin doğrusal olmayan davranışı, çekme gerilmeleri altında çatlama, basınçta ise ezilme olarak ortaya çıkmaktadır. Drucker-Prager yaklaşımı bu etkileri göz önüne alan elasto-plastik bir malzeme modelidir (Bangash, 1989). Bu yaklaşım, Von-Mises kriterlerinin hidrostatik gerilme etkisini içerecek şekilde genelleştirilmesi ile elde edilmiştir. C , kohezyon ve ϕ , içsel sürtünme açısına bağlı olarak ifade edilen Drucker-Prager yaklaşımının akma yüzeyi dik bir koni şeklinde olup, Şekil 4.15'te gösterilmiştir. Koninin kapalı olan sivri ucu, yığma duvarın düşük olan çekme dayanımını, koninin açık olan geniş tabanı ise basınç dayanımını göstermektedir. Drucker-Prager yaklaşımı, yığma duvarların davranışının belirlenmesi için Von Mises ve Tresca hipotezlerine göre basınç ve çekme davranışını farklı göstererek gerçeğe daha yakın gevrek bir malzeme davranışı oluşturmaktadır. (Drucker ve Prager, 1952)



Şekil 4.15. Drucker-Prager yaklaşımının asal gerilme uzayındaki akma yüzeyleri

Yığma kagir duvar gibi gevrek malzemelerin plastik şekil değiştirme yeteneği çok küçük, çekme dayanımı ise basınç dayanımına göre çok düşüktür. Bu sebeple doğrudan çekme deneyi yapmak zor olduğu için basınç dayanımı belirlenir ve buna bağlı olarak çekme dayanımı tahmin edilir. (TYDRYK 2017). Yığma duvarın basınç dayanımı Tablo 4.3.'e göre 1,5 MPa olarak alınmış ve literatürde Arıoğlu ve Tokgöz (1993), daha önce yayınlanmış olan 20 farklı kayacın değerlerini kullanarak çekme dayanımının basınç dayanımına göre bulunması için bir ilişki elde etmiş ve kayaçların çekme dayanımlarının tek eksenli basınç dayanımlarının yaklaşık % 9'u

kadar kabul edilebileceğini önermiştir. Bu kabule göre çekme dayanımı 0,135 MPa olarak hesaplanmıştır.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018)' e göre, duvar karakteristik kayma dayanımı $f_{vk}=f_{vk0}+0,4\sigma_d\leq 0,10f_b$ denklemi ile hesaplanmaktadır. Bu yaklaşıma göre duvar kayma dayanım değeri, taş-harç ya da taş-taş arasındaki sürtünme parametrelerine bağlı olarak değişmektedir. Duvarlarda eksenel gerilmenin bulunmadığı durumlarda karakteristik kayma dayanımı TBDY 2018 Tablo 11.3'e göre 0,10 MPa olarak belirlenmiştir.

Sonuç olarak Amasya Bimarhanesi analizlerinde kullanılacak malzeme özellikleri Tablo 4.4'teki gibi belirlenmiştir.

Tablo 4.4. Amasya Bimarhanesi analizlerinde kullanılacak malzeme özellikleri

Elastisite Modülü (MPa)	Poisson Oranı (ν)	Basınç Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Kayma Dayanımı (MPa)
1500	0,2	1,5	0,135	0,10

4.7. Bölgenin Depremselliğinin İncelenmesi

Amasya, tarihsel dönemde ve son yüzyılda önemli can ve mal kaybına neden olan, depremlerin üretildiği Kuzey Anadolu Fayı, Esençay-Merzifon Fayı, Ezinepazarı-Sungurlu Fayı, Turhal Fayı, Almus Fayı ve Çorum-Salhançayı faylarının bulunduğu bölgede yer almaktadır. Bunlardan ilk dört fayın bir kısmı, Amasya İl sınırları içinde yer almaktadır. Amasya'da, tarihsel ve aletsel dönemlerde bu faylardan kaynaklı can ve mal kaybıyla sonuçlanan yıkıcı depremlerin olduğu bilinmektedir. Bu depremlerin en önemlileri 1939 Erzincan, 1942 Niksar-Erbaa, 1943 Ladik-Tosya depremleridir (AİRAP,2021).

Amasya İl Afet Risk Azaltma Planı (2021)'na göre; Amasya İl geneli için zemin açısından yapılan değerlendirmede yapılaşma yönünden en zayıf zeminlerin; Kuvaterner yaşlı birimler ile Holosen yaşlı alüvyon ve yamaç molozlarının olduğu söylenebilir. Kuvaterner yaşlı birimler genelde gevşek ve dağılgandırlar. Holosen yaşlı alüvyonlar ise genelde derelerin vadi tabanlarında ve ova tabanlarıyla kesiştikleri alanlarda görülmektedir. Yeşilırmak Nehir suyu tarafından taşınarak depolanan Holosen yaşlı alüvyonlar geniş yayılım göstermekte olup yeraltı suyu varlığı, zemin fiziksel özellikleri gereği sıvılaşma riski yüksek alanlar olması nedeniyle bu alanlarda yer alan binaların tamamının yıkık/ağır hasar görmesi olasıdır

(İRAP,2021).

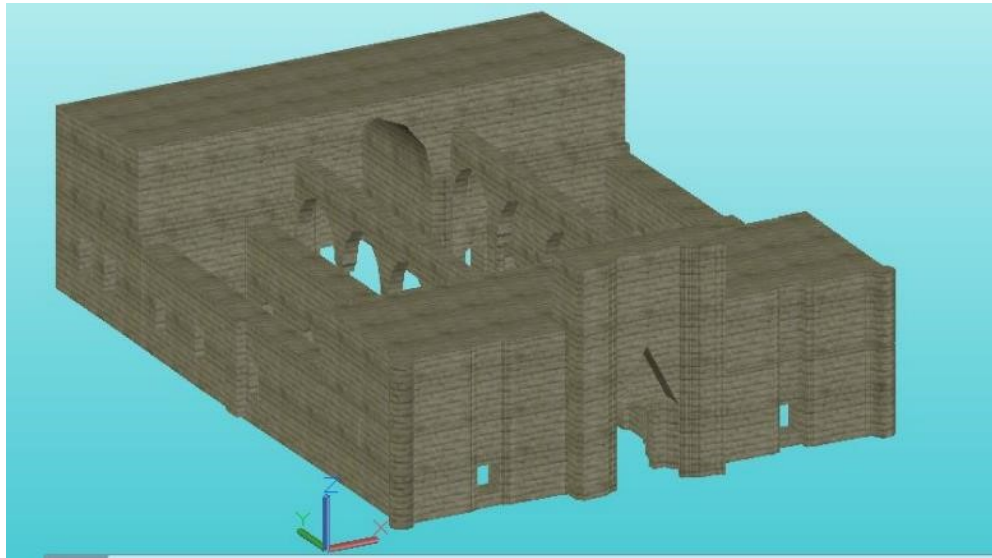
Amasya, Kuzey Anadolu Fayı ve yukarıda açıklanan fay hatlarının etkileri altında yaklaşık 8500 yıllık tarihiyle; Hitit, Frig, Pers, Roma, Bizans, Selçuklu, İlhanlı, Osmanlı gibi önemli medeniyetlere ev sahipliği yapmış olması sebebiyle birçok tarihi yapıyı barındırmaktadır.

Tarihi yapılarımızın depreme karşı dayanıklı olması ve gelecek nesillere güvenle aktarılması amacıyla depremin yaratacağı hasarları en aza indirmek için deprem performanslarının önceden belirlenmesi ve gerekli önlemlerin alınması önem arz etmektedir. Kahramanmaraş depremine benzer büyüklükte bir depremin Amasya'da olması durumunda bu bölgede bulunan tarihi yapılarda oluşabilecek hasarları öngörmek ve gerekli tedbirleri almak amacıyla bu çalışmada uygulama örneği olarak Amasya ilinde tarihi önemi büyük olan İlhanlı dönemine ait yığma bir yapı olan Bimarhane (Darüşşifa)'nin deprem performansı değerlendirilmiştir. Bimarhane'nin deprem performansını belirlemek için ise 06.02.2023 tarihinde Kahramanmaraş ilinin Pazarcık ve Elbistan İlçelerindeki 7,7 ve 7,6 büyüklüklerindeki depremler ile Amasya ilinin Kuzey Anadolu Fay Hattı üzerinde olması sebebiyle Erzincan İli'nde, 13 Mart 1992 tarihinde, 6.8 magnitüdünde meydana gelen depremin ivme kayıtları kullanılmıştır.

5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Amasya Bimarhanesi'nin statik, dinamik, doğrusal ve doğrusal olmayan sayısal analizleri sonlu elemanlar metoduyla yapılmıştır. Sonlu elemanlar yönteminde yapının veya yapı elemanlarının geometrisi, davranışı önceden belirlenmiş olan çok sayıda solid elemana bölünür, bu elemanlar ise düğüm noktaları ile birbirine birleştirilirler. Bu bağlamda Bimarhane'nin sonlu eleman modelinde, yapı davranışının doğru bir şekilde belirlenmesi için çok sayıda düğüm noktası kullanılmıştır. Hazırlanan sonlu eleman modelinde; 20 düğüm noktalı, her düğüm noktasında 3 serbestlik derecesine sahip olan Solid186 elemanı sonlu eleman tipi kullanılarak 32323 solid eleman ve 64391 düğüm noktası kullanılmıştır.

Bimarhane'nin deprem performansını belirlemek için öncelikle ANSYS Workbench ortamında yapının üç boyutlu sonlu eleman modeli oluşturulmuştur (Şekil 5.1.). Bimarhane'nin karmaşık geometrisini modele aktarabilmek için ve doğrusal olmayan analizdeki yakınsama problemini aşabilmek için bazı sadeleştirmeler yapılmıştır. Sağ ve soldaki revakların üzerindeki tuğla tonozların ağırlığı hesaplanarak yan duvarlara ve revaklı kemerlere yayılı yük olarak etki ettirilmiştir. Yığma yapı malzemeleri lineer elastik kabul edilerek analizler yapılmıştır.



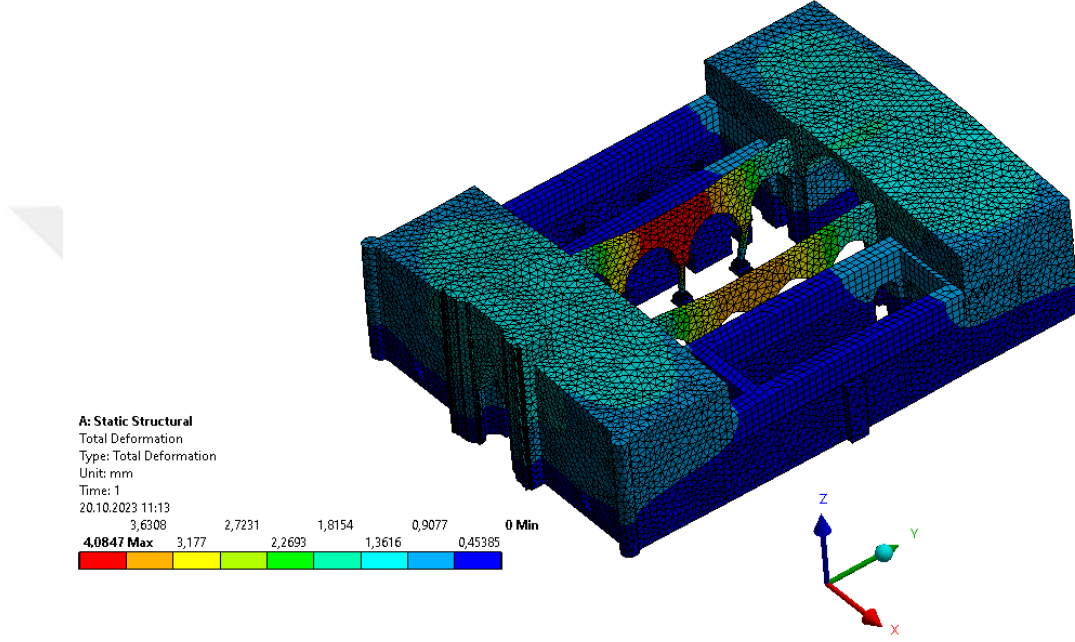
Şekil 5.1. Bimarhane'nin 3D sonlu elemanlar modeli

5.1. Statik Analiz

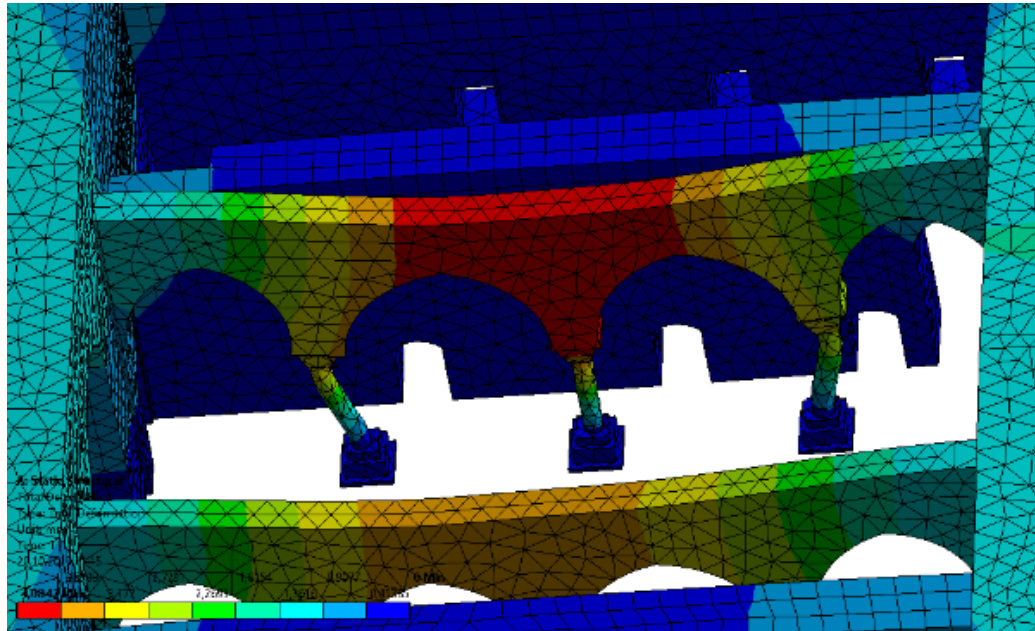
Statik analiz, düşey yükler (ölü yükler, hareketli yükler ve kar yükü de dâhil edilebilir) altında yapıda meydana gelen yer değiştirme ve gerilme durumunu

görmek amacıyla gerçekleştirilmiştir.

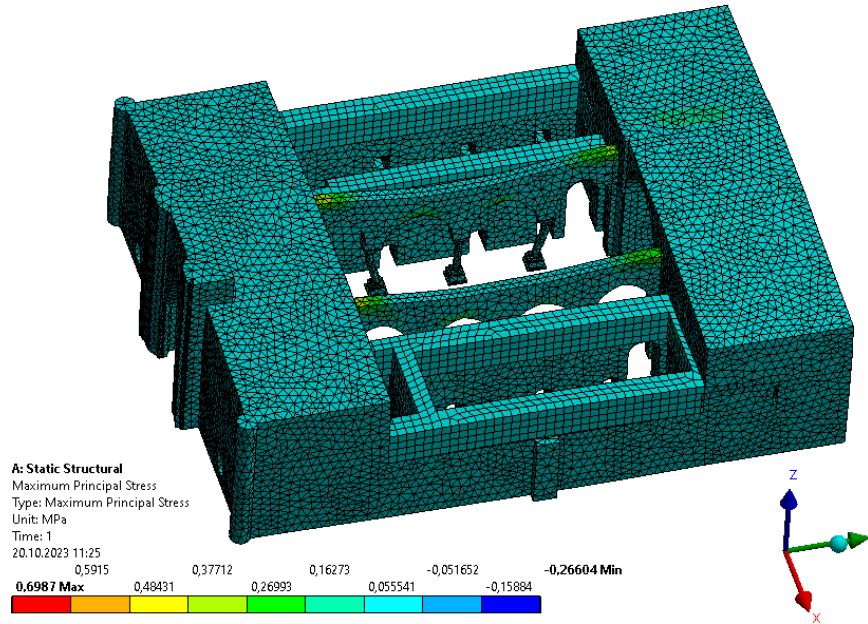
Yapılan statik analizler neticesinde elde edilen yatay yer değiştirmelerin revaklı bölümlerde meydana geldiği ve soldaki revağın orta bölümünde maksimum 4 mm değerine ulaştığı görülmektedir (Şekil 5.2. ve Şekil 5.3.). Maksimum yatay yer değiştirmenin ilgili duvar yüksekliğine oranı $4/8100 \text{ mm} = \%0,049$ olup, Sınırlı Hasar (SH) sınır durumu olan $\%0,3$ 'ü aşmadığı için sınırlı hasar düzeyinde kaldığı söylenebilir.



Şekil 5.2. Statik analiz- yer değiştirmeler (mm)

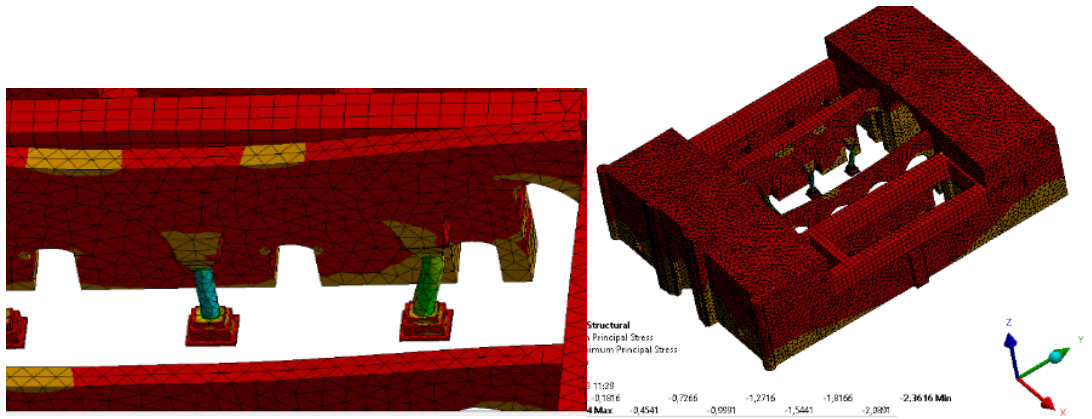


Şekil 5.3. Girişte soldaki revakların orta bölgesindeki büyük yer değiştirmeler



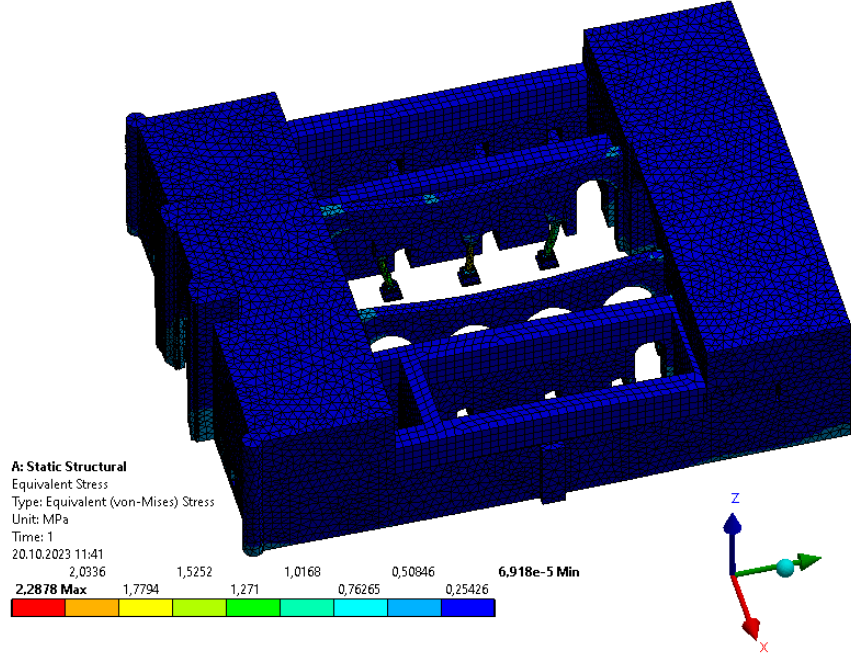
Şekil 5.4. Statik analiz-maksimum asal çekme gerilmeleri

Bimarhane'nin yapısal sistemindeki asal gerilmeler incelendiğinde ise, maksimum asal gerilmelerin revakların duvarlarla birleştiği mesnet noktaları ile revakların kemer açıklıklarında yoğunlaştığı ve 0,69 MPa değerine ulaştığı (Şekil 5.4.), minimum asal gerilmelerin de revakları taşıyan sütunların mesnet bölgelerinde yoğunlaştığı ve -2,36 MPa değerinde olduğu görülmektedir (Şekil 5.5.).



Şekil 5.5. Statik analiz-minimum asal basınç gerilmeleri

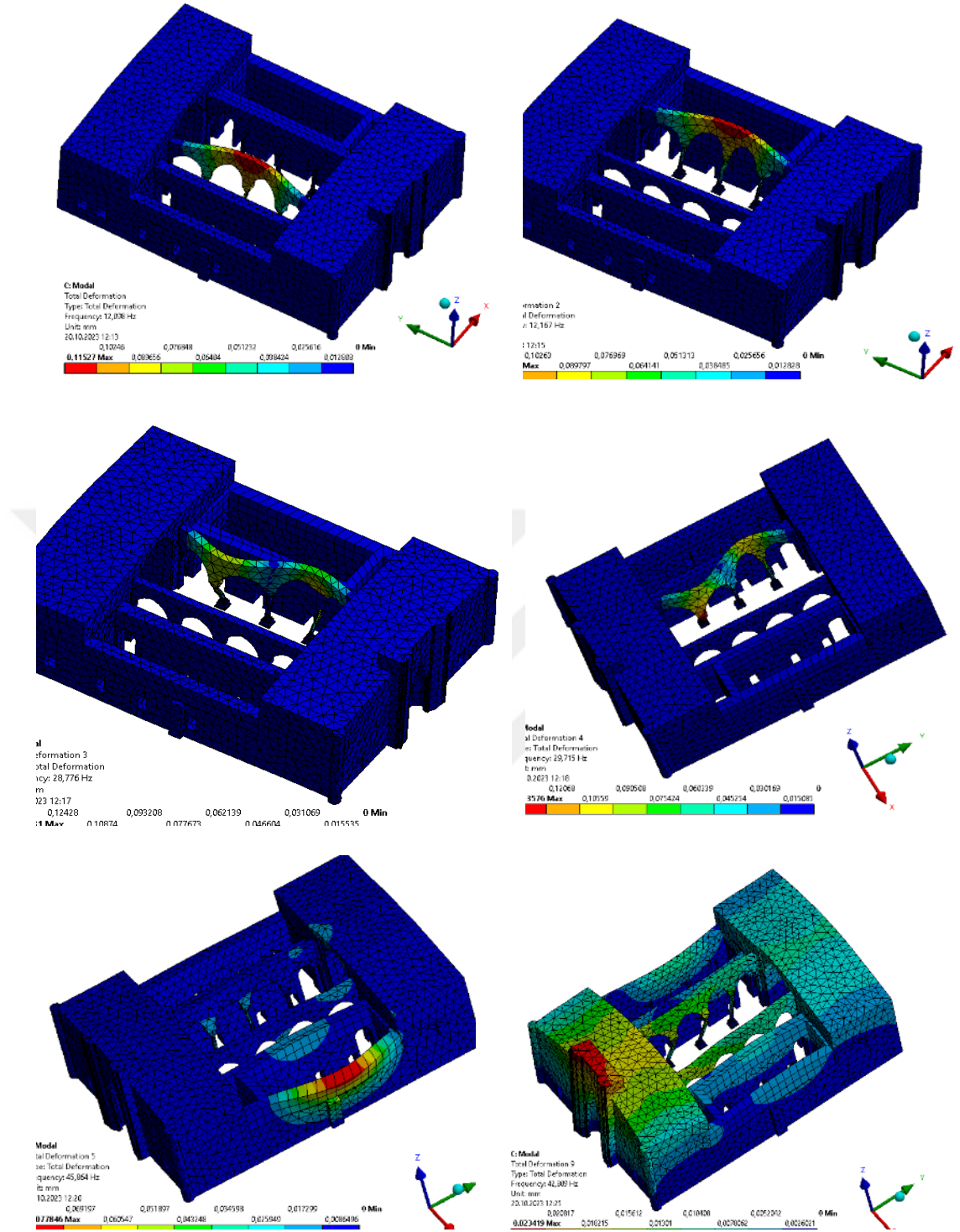
Eş değer (Von-Mises) gerilme dağılımı Şekil 5.6.'da görülmektedir. Maksimum gerilme değeri 2.2878 MPa olarak revak kemerlerinin ön ve arka duvarlarla birleşim noktalarında görülmektedir. Kemerleri taşıyan sütunlarda ve kaidelerin mesnet noktalarında gerilmeler yüksek değerler almaktadırlar.



Şekil 5.6. Statik analiz-eş değer (von-mises) gerilme dağılımı

5.2. Modal Analiz

Toplam kütle katılım oranı % 95 olacak şekilde yapılan modal analiz neticesinde belirlenen en etkili mod şekilleri Şekil 5.7’de gösterilmiştir. Bu modlar her iki doğrultuda öteleme olarak ortaya çıkmaktadır. Kuzey-Güney doğrultusunda ilk modlarda zorlanan bölümler revakların mesnet noktaları ve orta bölümleri iken, 3. ve 4. modda ise revakların arkasındaki hücre duvarlarının da yatay ötelenmesi ile bu bölümlerde de gerilme artışı ve büyük deformasyonların olması beklenmektedir. Depremin doğu-batı doğrultusuna göre etkili olabilecek diğer mod şeklinde ise, öteleme hareketi ile giriş cephesinin duvarının yatay ötelenmeye zorlanması ile taç kapının üst bölümlerinde ve tonozların tepe noktalarında deformasyonlar artmaktadır.



Şekil 5.7. Modal analize ait en etkili mod şekilleri

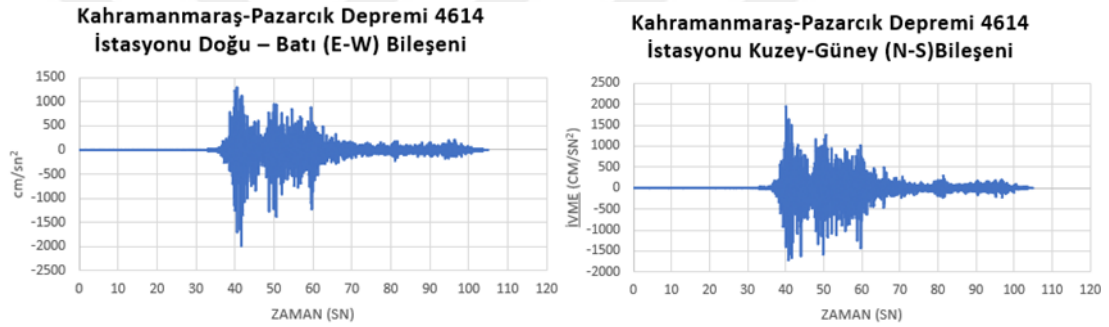
5.3. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Analizler

Bimarhane'nin deprem performansını belirlemek için; 2018 Deprem yönetmeliğine uygun olarak üç farklı deprem ivmesi kullanılarak dinamik analizleri yapılmıştır. 06.02.2023 tarihinde meydana gelen Kahramanmaraş ili Pazarcık

ilçesindeki 7.7 MW büyüklüğündeki deprem, Kahramanmaraş ili Elbistan ilçesindeki 7.6 MW büyüklüğündeki deprem ile 1992 yılındaki 6,8 MW büyüklüğündeki Erzincan depremlerinin doğu-batı ve kuzey-güney doğrultularının ivme kayıtları kullanılmıştır. Analizlerde integrasyon zaman adımı 0.01 s olarak seçilmiştir. Analizlerde sönüm oranının % 5 olduğu kabul edilmiştir.

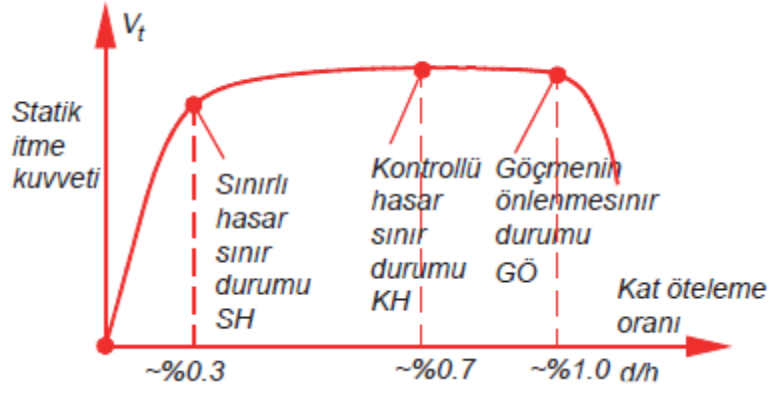
5.3.1. Kahramanmaraş-Pazarcık Depremine göre Zaman Tanım Alanında Analizler

AFAD'a ait resmi veri tabanından elde edilen verilere göre, 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş-Pazarcık depreminde $M_w=7.7$ olan en büyük zemin ivme değeri 4614 kodlu istasyonda kaydedilmiş ve bu değer, kaydın Doğu- Batı bileşeninde 2039.20 cm/sn^2 , kuzey-güney bileşeninde 2016.99 cm/sn^2 olarak ölçülmüştür (Şekil 5.8.).



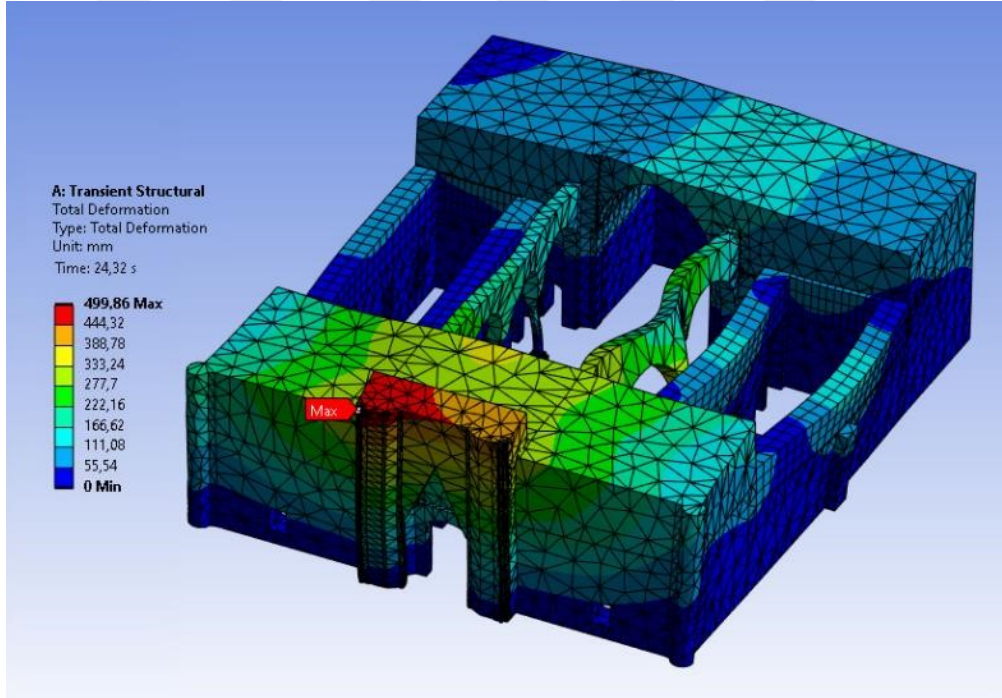
Şekil 5.8. Kahramanmaraş-Pazarcık depremi ivme kayıtları

Dinamik analizler sonucuna göre Doğu-Batı doğrultusunda en büyük yatay yer değiştirme taç kapının üst bölümünde ve tonozlarda meydana gelmiş ve yaklaşık 499,86 mm mm değerinde yatay ötelenme belirlenmiştir (Şekil 5.9.). Taç duvarda oluşan maksimum yatay yer değiştirmenin ilgili duvar yüksekliğine oranı $499,86 \text{ mm} / 11160 \text{ mm} = \% 4,4$ olup, bu öteleme oranı Tarihi Yapıların Deprem Risklerinin Yönetimi Kılavuzunda verilmiş olan yanal ötelenme oranları açısından (Şekil 5.9.), Göçme Öncesi (GÖ) sınır durumu % 1 sınır değerini aşmaktadır. Bu durumda Doğu-Batı doğrultusunda bu şiddette bir deprem olursa, Bimarhane'de taç kapının üst bölümünde kısmen göçmenin gerçekleşebileceği söylenebilir.

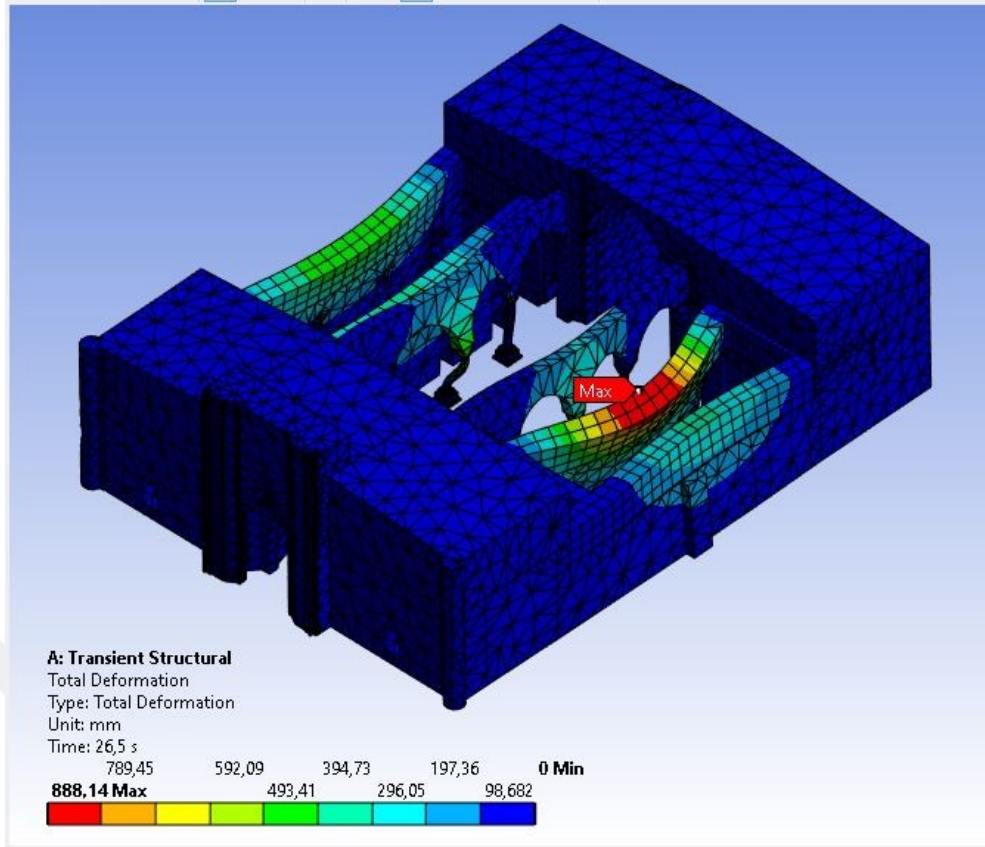


Şekil 5.9. Yanal ötelenme oranlarına göre performans düzeyleri (TYDRYK,2017)

Kuzey-Güney doğrultusundaki yatay yer değiştirmeler revaklarda ve revaklara paralel olan hücre duvarlarında meydana gelmiştir. En büyük yatay yer değiştirme ise 888 mm gibi çok büyük bir değerle revaklara paralel olan hücre iç duvarlarının üzerinde meydana gelmiştir (Şekil 5.10). Maksimum yatay yer değiştirmenin ilgili duvar yüksekliğine oranı $888/8100 = \% 10,9$ olup Göçme Öncesi (GÖ) sınır değerini aşmış ve bu durumda hücre yan duvarlarında ve revaklarda göçme olabileceği öngörülmektedir.

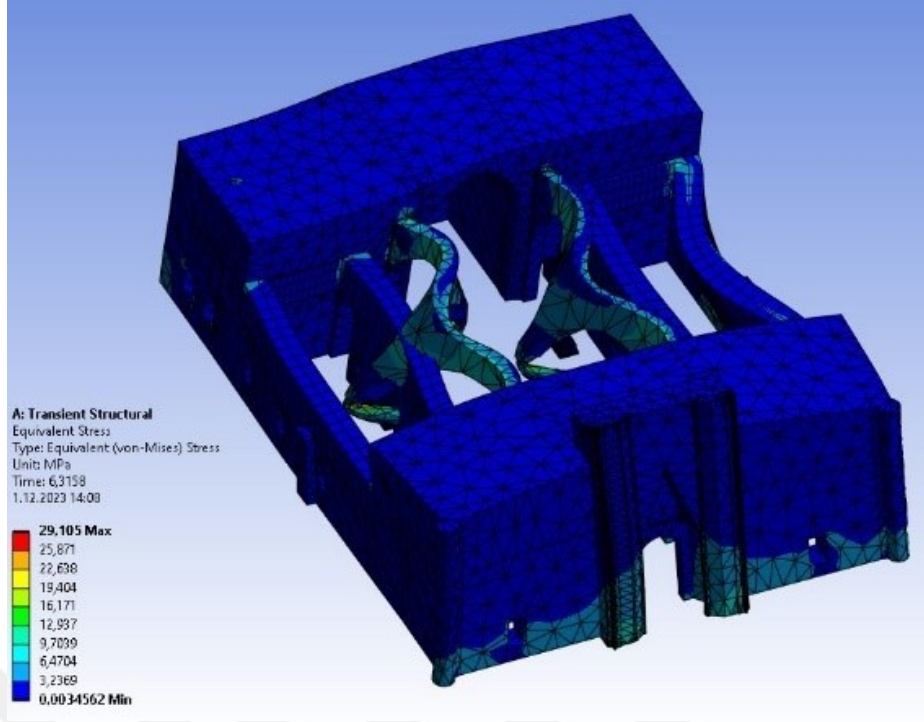


Şekil 5.10. Kahramanmaraş-Pazarcık (E-W) depremi yer değiştirmeler

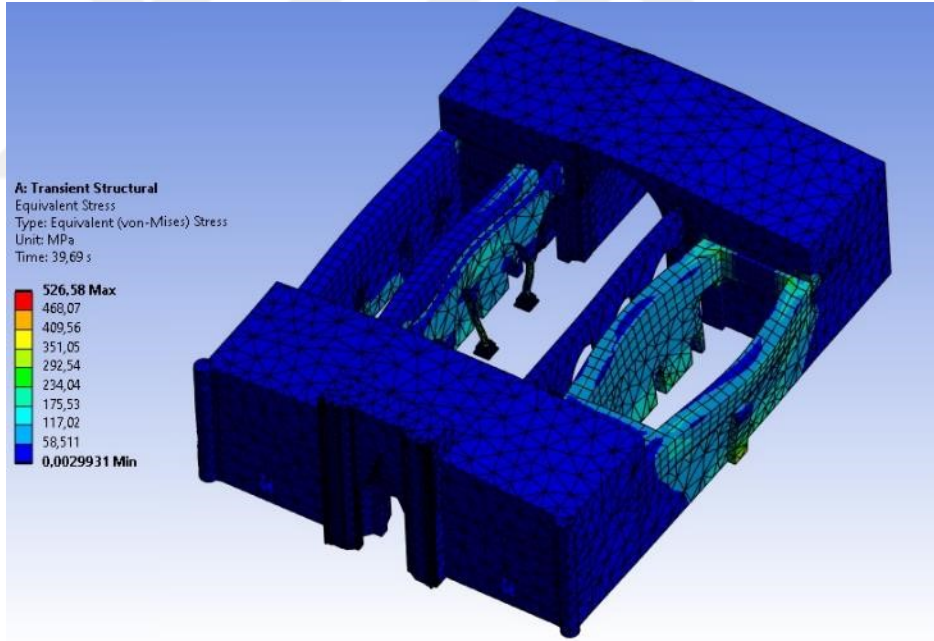


Şekil 5.11. Kahramanmaraş-Pazarcık (N-S) depremi yer değiştirmeler

Bimarhane modeli üzerinde oluşan eşdeğer gerilme dağılımı ve değerleri (Şekil 5.12. ve 5.13.) incelendiğinde Doğu-Batı doğrultusunda maksimum gerilmelerin batı cephesi duvar tabanları ile revakların taşıyıcı sütunlarının kaidelerinde olduğu ve maksimum 225 MPa değerini aldığı görülmektedir. Kuzey-Güney doğrultusunda ise gerilmelerin revakların paralelindeki uzun doğrultudaki hücre iç duvarlarının tabanları ile kemer ve tonozların duvarlarla mesnetlendiği bölgelerde olduğu ve maksimum gerilmenin 526,58 MPa değerini aldığı görülmektedir.

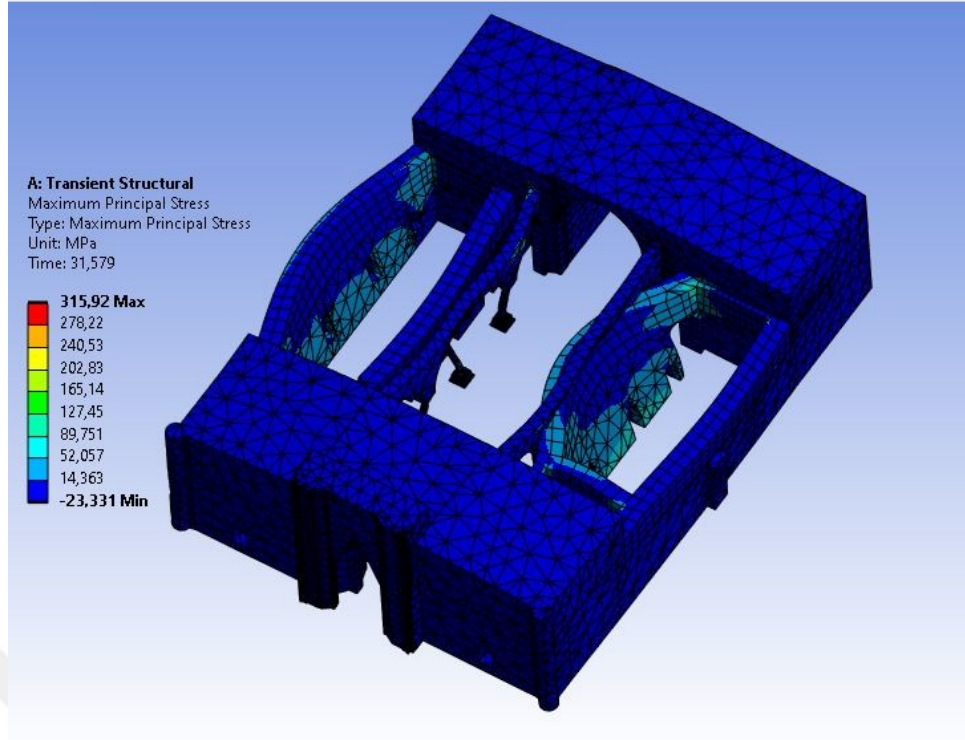


Şekil 5.12. Kahramanmaraş-Pazarcık (E-W) depremi eşdeğer gerilme değerleri



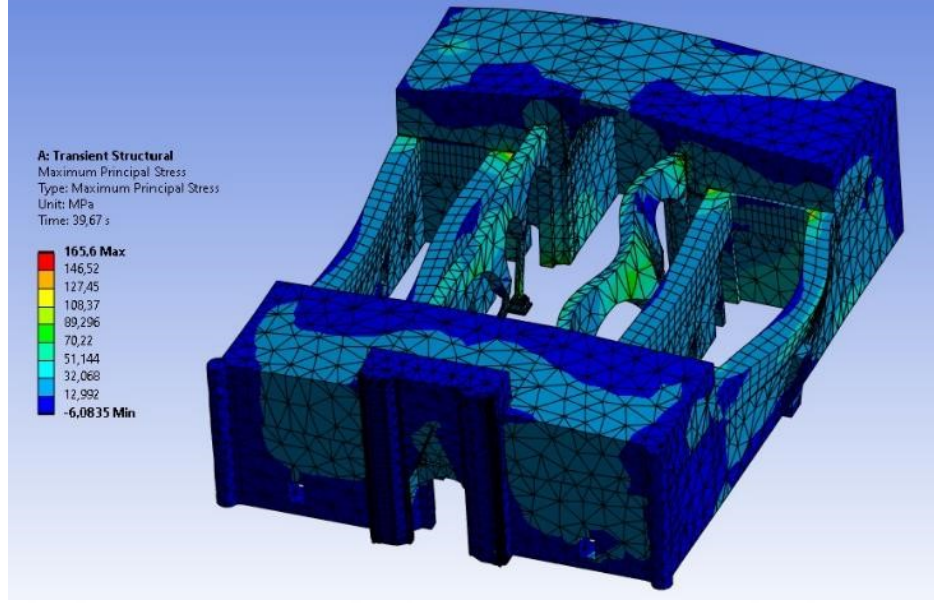
Şekil 5.13. Kahramanmaraş-Pazarcık (N-S) depremi eşdeğer gerilme değerleri

Bimarhane modelinde Kuzey-Güney doğrultusunda oluşan asal çekme gerilmelerine bakıldığı zaman; revakların orta açıklıklarında, revakların ön-arka duvarlarla birleştiği bölgelerde, sağ ve soldaki hücre iç duvarlarda yoğunlaştığı anlaşılmaktadır. Bu gerilmeler 31,58 sn'de, maksimum 315,92 MPa değerine ulaşmaktadır (Şekil 5.14.).



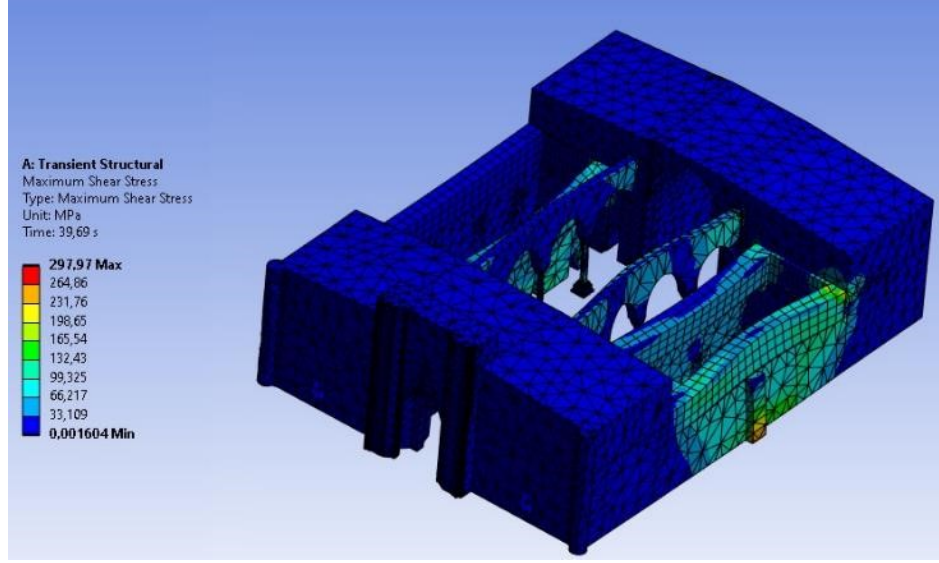
Şekil 5.14. Kahramanmaraş-Pazarcık (N-S) depremi asal çekme gerilmeleri

Bimarhane modelinde Doğu-Batı doğrultusunda oluşan asal çekme gerilmelerine bakıldığı zaman; revakların ön-arka duvarlarla birleştiği bölgelerde, sağ ve soldaki hücre iç duvarlarında, giriş cephesinin duvarlarında pencere açıklarının köşe noktalarında, tonozların duvarlarla mesnetlendiği bölgelerde yoğunlaştığı görülmektedir. Bu gerilmeler 39,69. sn'de, maksimum 165,6 MPa değerine ulaşmaktadır (Şekil 5.15.).

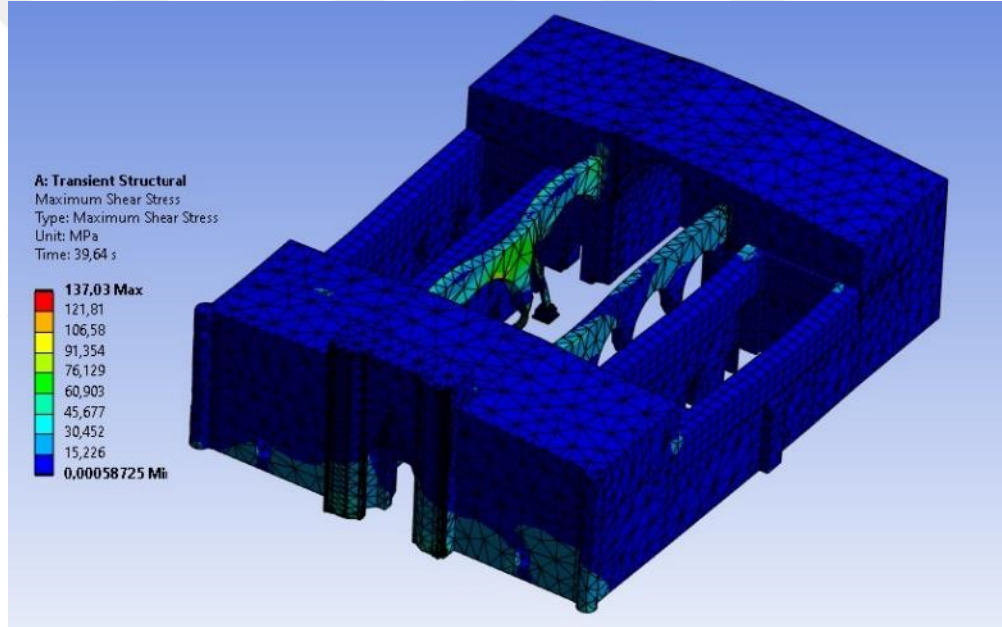


Şekil 5.15. Kahramanmaraş-Pazarcık (E-W) depremi asal çekme gerilmeleri

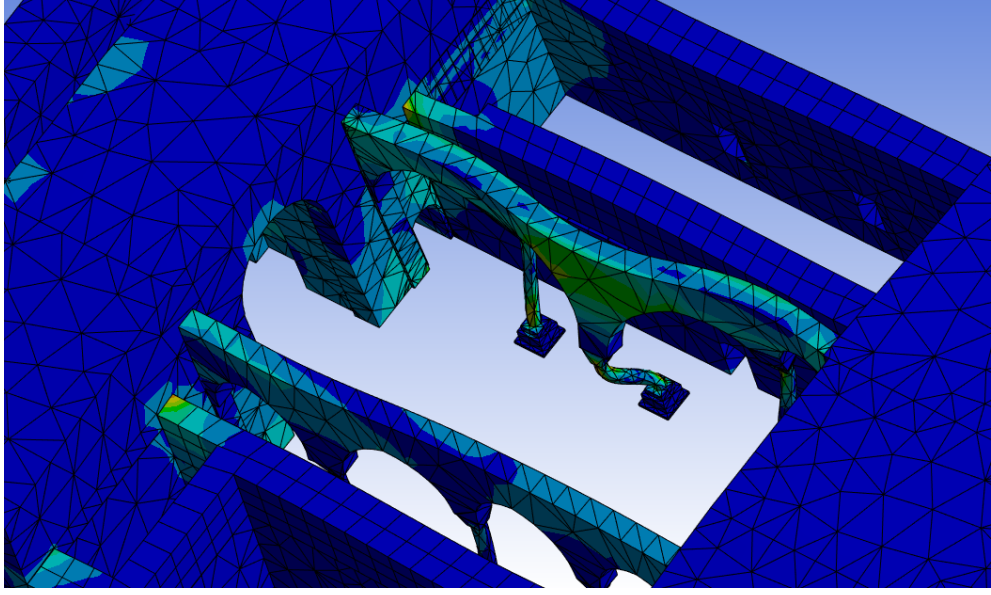
Maksimum Kayma Gerilmelerinin dağılımı Şekil 5.16., 5.17 ve 5.18.'de verilmiştir. Kuzey-Güney doğrultusunda kayma gerilmeleri revak mesnet noktaları ile revaklarla duvarların birleşim bölgelerinde ve hücre yan duvarlarında yoğunlaşmaktadır, 297,97 MPa değeriyle sağdaki revağın ön duvarla mesnetlendiği noktada maksimum değere ulaşmıştır. Doğu-batı doğrultusundaki Kayma Gerilmeleri taç kapının sağ ve sol duvarlarının taban noktalarında, revakların ön ve arka duvarlarla bağlandıkları noktalarda, tonozların duvarlarla mesnet noktalarında revakların taşıyıcı sütunlarının alt ve üst bölümlerinde yoğunlaşmakta ve maksimum 137,03 MPa değerini almaktadır. Yığma duvarlarda her iki doğrultuda da oluşan en büyük (maksimum) kayma gerilmeleri, TDBY 2018'e göre belirlenen 0,10 MPa sınır değerini aşmaktadır.



Şekil 5.16. Kahramanmaraş-Pazarcık (N-S) depremi maksimum kayma gerilmeleri



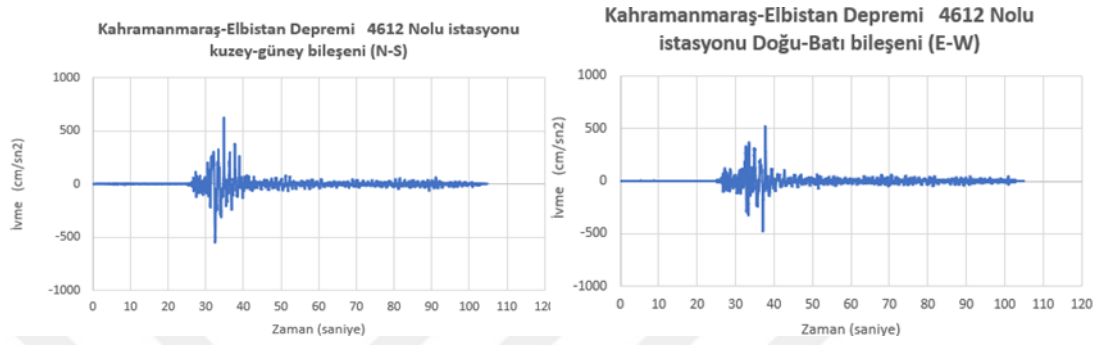
Şekil 5.17. Kahramanmaraş-Pazarcık (E-W) depremi maksimum kayma gerilmeleri



Şekil 5.18. Kahramanmaraş-Pazarcık (E-W) depremi maksimum kayma gerilmeleri

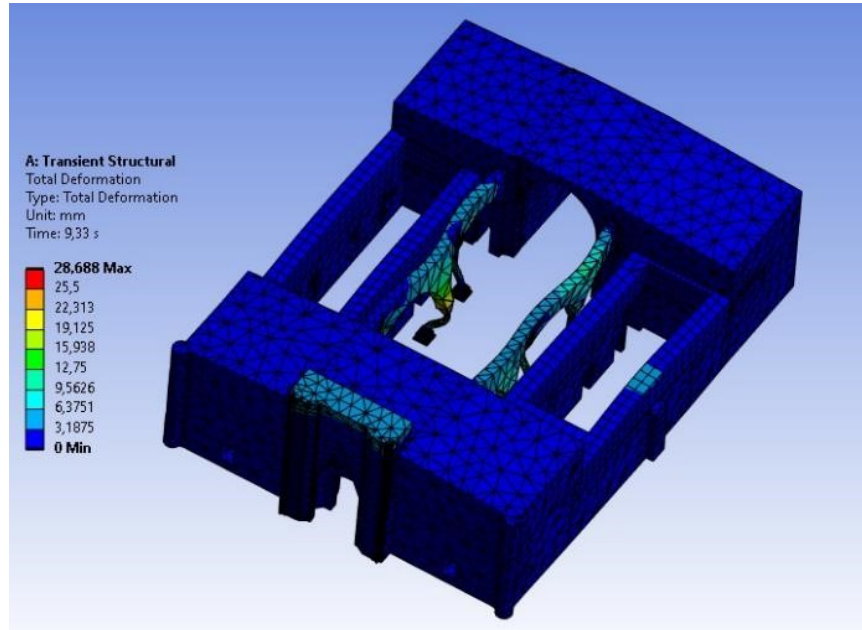
5.3.2. Kahramanmaraş-Elbistan Depremine göre Zaman Tanım Alanında Analizler

6 Şubat 2023 tarihindeki 7.6 büyüklüğündeki Kahramanmaraş-Elbistan depreminin Doğu- Batı ve Kuzey-Güney bileşenleri Şekil 5.19.'da verilmiştir. Doğu-Batı yönünde en büyük PGA 520.662 cm/s² ve kuzey-güney doğrultusunda PGA 627.184 cm/s² ölçülmüştür.

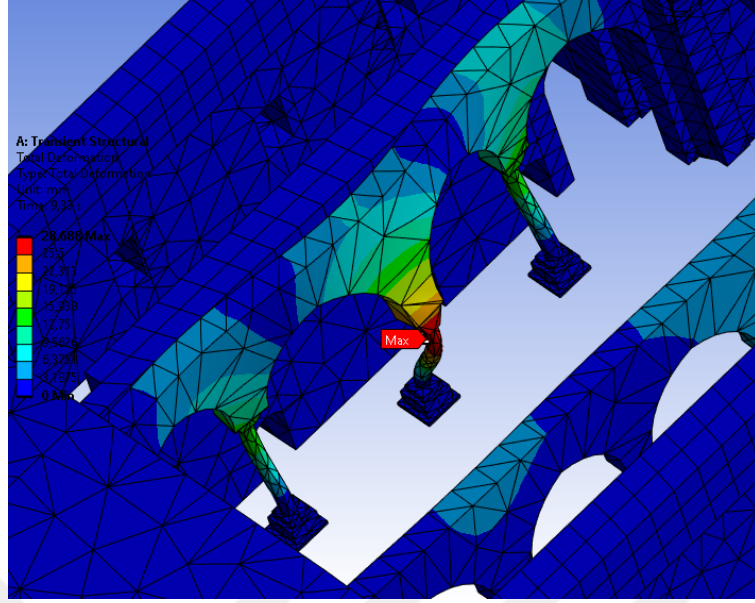


Şekil 5.19. Kahramanmaraş-Elbistan depremi ivme kayıtları

Kahramanmaraş-Elbistan Depreminde Doğu-Batı doğrultusundaki yer değiştirmeler Şekil 5.20. de görüldüğü üzere; giriş taç kapının üst bölümü ile revakların taşıyıcı sütunlarında yoğunlaşmakta ve maksimum yer değiştirmenin ise sol revağın orta sütunun başında 28,688 mm olduğu görülmektedir.(Şekil 5,21.) Maksimum yatay yer değiştirmenin ilgili duvar yüksekliğine oranı $26,688/8100 = \% 0,33$ olup Sınırlı Hasar (SH) sınır değeri olan $\% 0,3$ 'ü aşmış ve revakların Kontrollü Hasar (KH) durumunda olduğu söylenebilir.

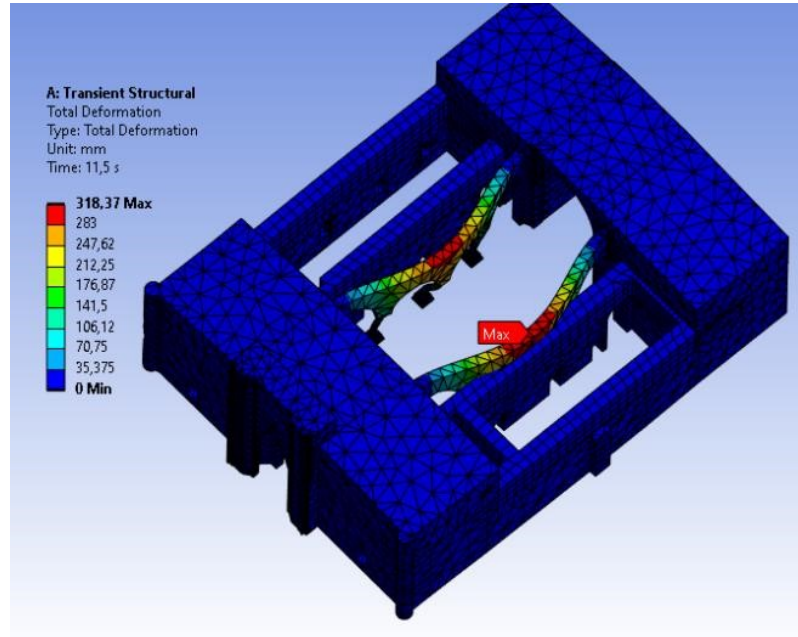


Şekil 5.20. Kahramanmaraş-Elbistan (E-W) depremi yer değiştirmeler



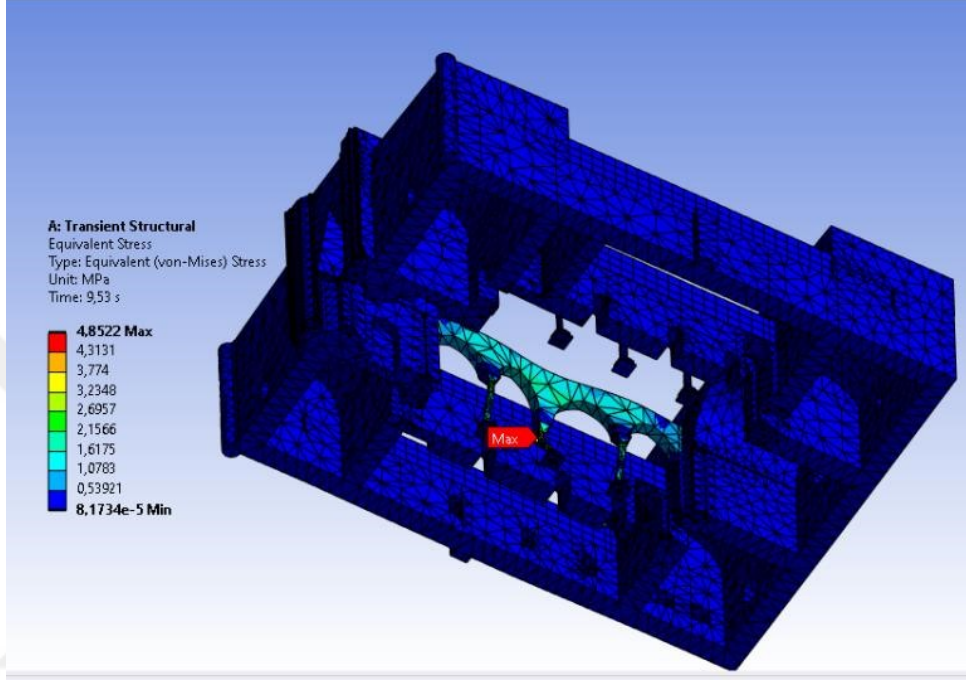
Şekil 5.21.Kahramanmaraş-Elbistan (E-W) depremi yer değiştirmeler

Kahramanmaraş-Elbistan Depreminde Kuzey-Güney doğrultusundaki yer değiştirmeler Şekil 5.22.'de görüldüğü üzere; özellikle revakların orta açıklıklarında büyük yer değiştirmelerin olduğu ve maksimum yer değiştirmenin ise sağdaki revağın orta bölümünde 318,37 mm değerine ulaştığı görülmektedir. Maksimum yatay yer değiştirmenin ilgili elemanın yüksekliğine oranı $318,37/8100 = \%3,9$ olup Göçme öncesi sınır durumu (GÖ) $\%1$ 'i aşarak revaklarda göçmenin görülebileceği söylenebilir.

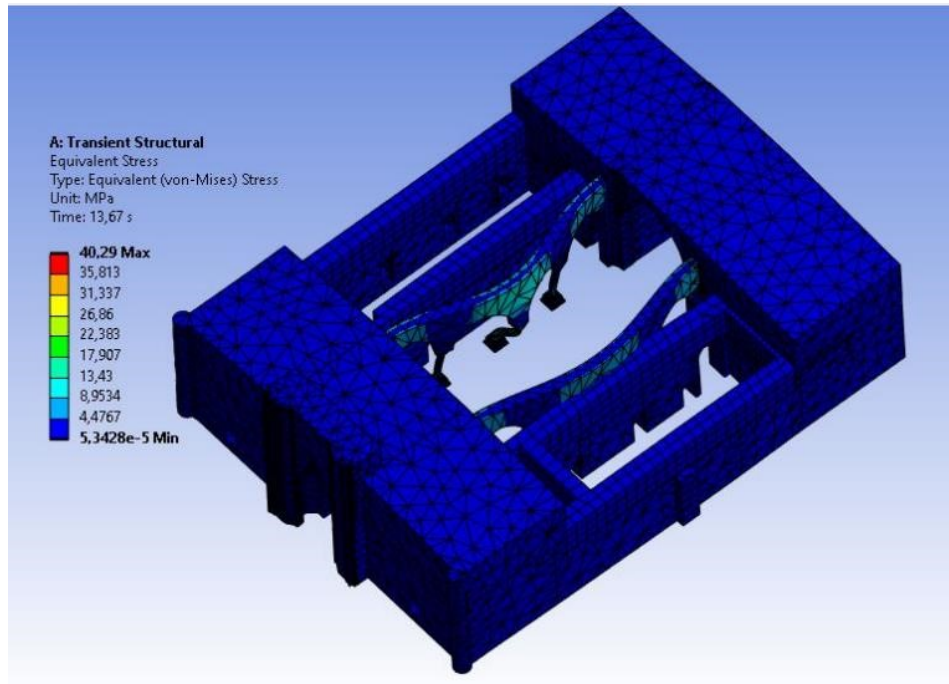


Şekil 5.22. Kahramanmaraş-Elbistan (N-S) depremi yer değiştirmeler

Doğu-Batı doğrultusundaki eşdeğer gerilmelerin dağılımı Şekil 5.23. de verilmiştir. Gerilmelerin revakların ön-arka duvarlarla mesnet bölümleri ile revakları taşıyan sütunların üst ve alt uçlarında yoğunlaştığı görülmektedir. Maksimum değer olan 4,8522 MPa değerine ise sol revağın ortasındaki sütun başında olduğu tespit edilmiştir.

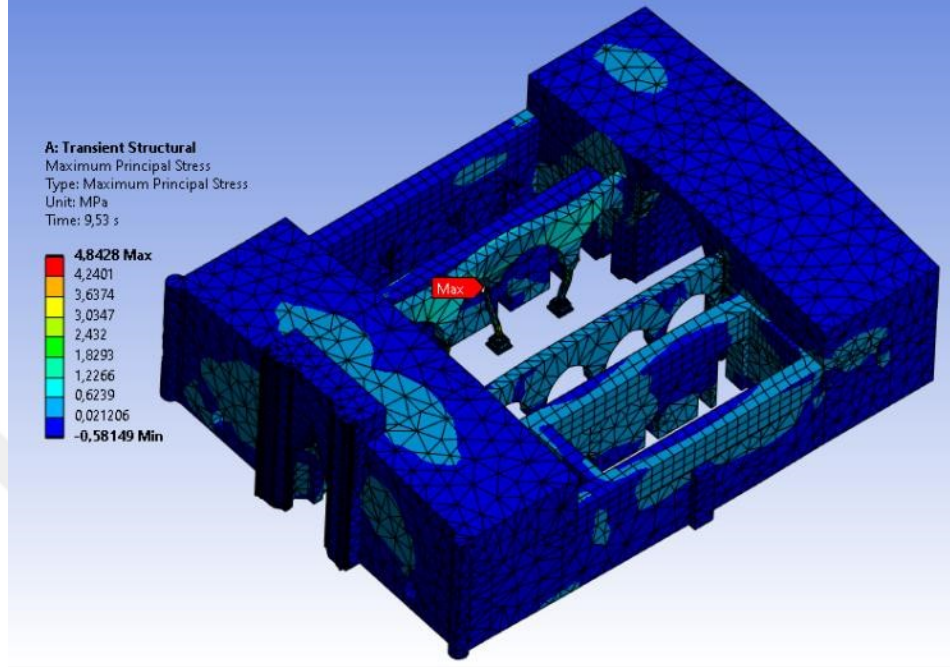


Şekil 5.23. Kahramanmaraş-Elbistan (E-W) depremi eşdeğer gerilmeler

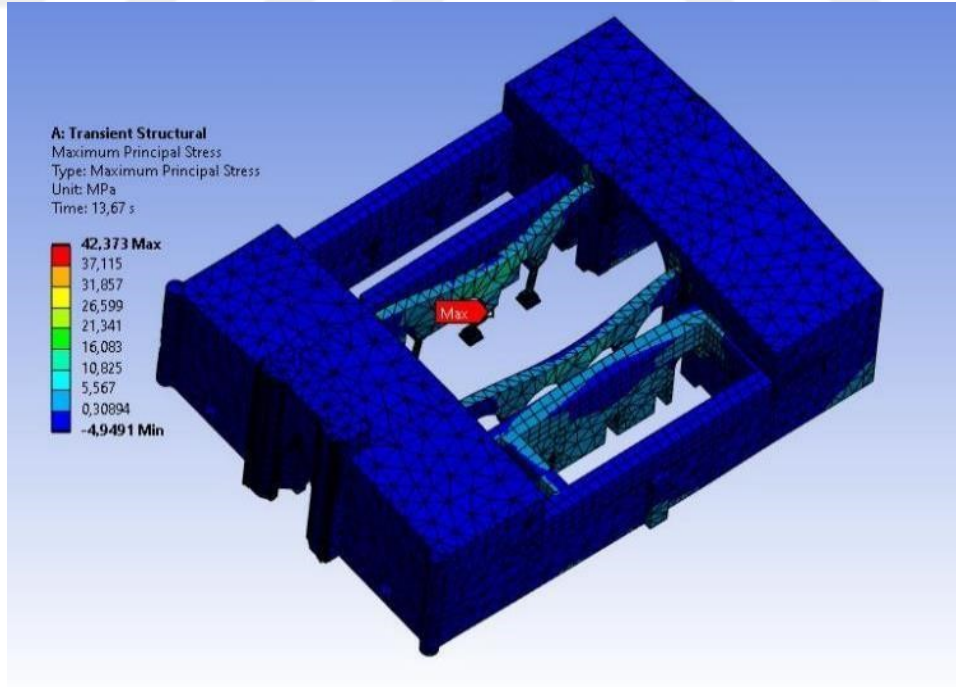


Şekil 5.24. Kahramanmaraş-Elbistan (N-S) depremi eşdeğer gerilmeler

Kuzey-Güney doğrultusundaki eşdeğer gerilmelerin dağılımı Şekil 5.24.'de verilmiştir. Gerilmeler revakların duvarlarla mesnet bölgeleri ile özellikle ortadaki kemerin ayaklarında yoğunlaştığı ve maksimum 40,29 MPa değerine ulaştığı görülmektedir.



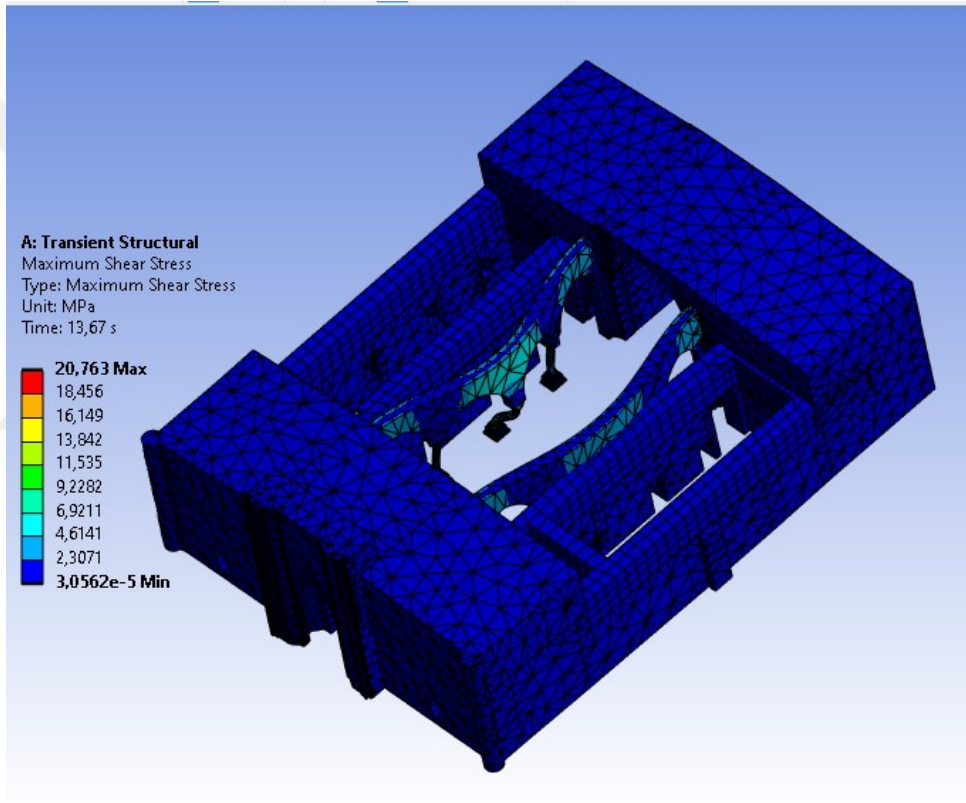
Şekil 5.25. Kahramanmaraş-Elbistan (E-W) depremi maksimum asal gerilmeler



Şekil 5.26. Kahramanmaraş-Elbistan (N-S) depremi maksimum asal gerilmeler

Doğu-Batı doğrultusundaki Maksimum Asal gerilmelerin dağılımı

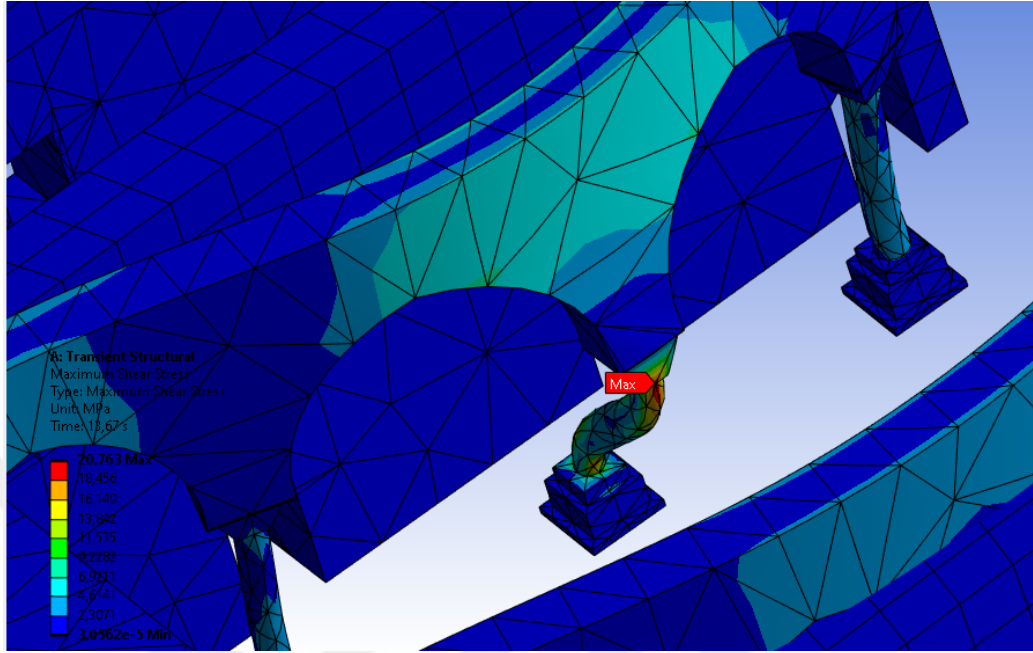
incelendiğinde revakların ön-arka duvarlarla birleştiği bölgelerde, sağ ve soldaki hücre iç duvarlarında, giriş cephesinin duvarlarında pencere açıklarının köşe noktalarında, yoğunlaştığı görülmektedir (Şekil 5.25.). Maksimum asal gerilmenin ise sol revağın orta sütun başında ise 4,842 MPa değerine ulaştığı görülmektedir. Kuzey-Güney doğrultusundaki Maksimum Asal gerilmelerin dağılımı Şekil 5.26.'da görüldüğü üzere; özellikle revakların mesnet noktalarında, orta açıklıklarında gerilmelerin yoğunlaştığı ve maksimum yer değiştirmenin ise soldaki revağın ortasındaki kemerin üzengi noktalarında 42,373 MPa değerine ulaşmıştır ve her iki doğrultuda da oluşan asal çekme gerilmeleri, 0,135 MPa çekme dayanımını aşmaktadır.



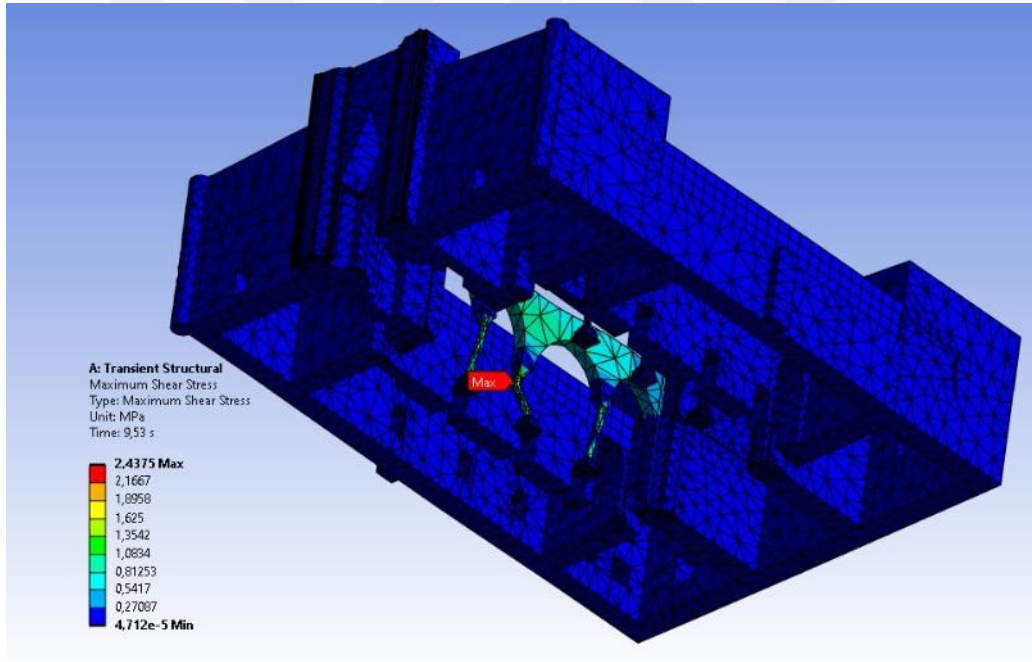
Şekil 5.27. Kahramanmaraş-Elbistan (N-S) depremi maksimum kayma gerilmeleri

Kuzey-Güney doğrultusundaki Maksimum Kayma gerilmeleri Şekil 5.27.'de verilmiştir; gerilmelerin revakların mesnet noktalarında, sütun başı ve kaidelerinde yoğunlaştığı ve özellikle sol revağın ortasındaki taşıyıcı sütun başında 20,763 Mpa değerine ulaştığı görülmektedir (Şekil 5.28.). Doğu-Batı doğrultusundaki Maksimum Kayma gerilmeleri Şekil 5.29.'de görüldüğü üzere; giriş cephesinin duvarlarındaki pencere açıklıklarında, tonozların mesnet noktalarında, revakların açıklıklarında ve mesnet noktalarında yoğunlaştığı ve özellikle sol revağın

ortasındaki taşıyıcı sütun başında Maksimum Kayma gerilmelerinin 2,4375 MPa değerine ulaştığı görülmektedir. Her iki doğrultuda da oluşan kayma gerilmeleri TDBY 2018' e göre belirlenen 0,10 MPa kayma sınır değerini aşmaktadır.



Şekil 5.28. Kahramanmaraş-Elbistan (N-S) depremi maksimum kayma gerilmeleri

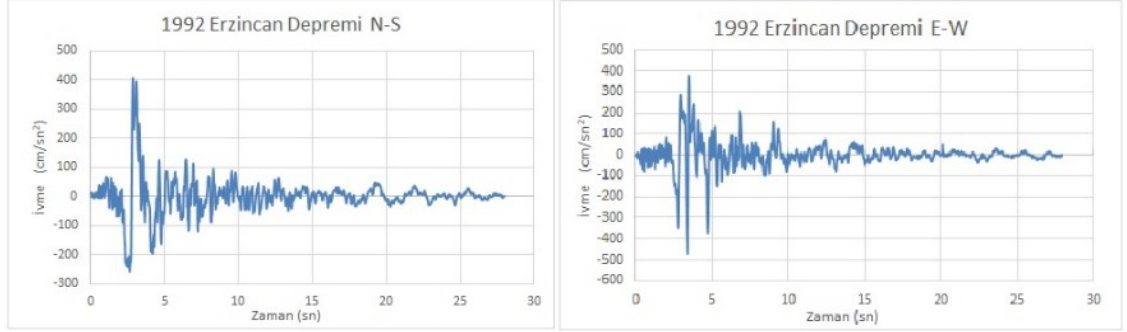


Şekil 5.29. Kahramanmaraş-Elbistan (E-W) depremi maksimum kayma gerilmeleri

5.3.3. Erzincan Depremine göre Zaman Tanım Alanında Analizler

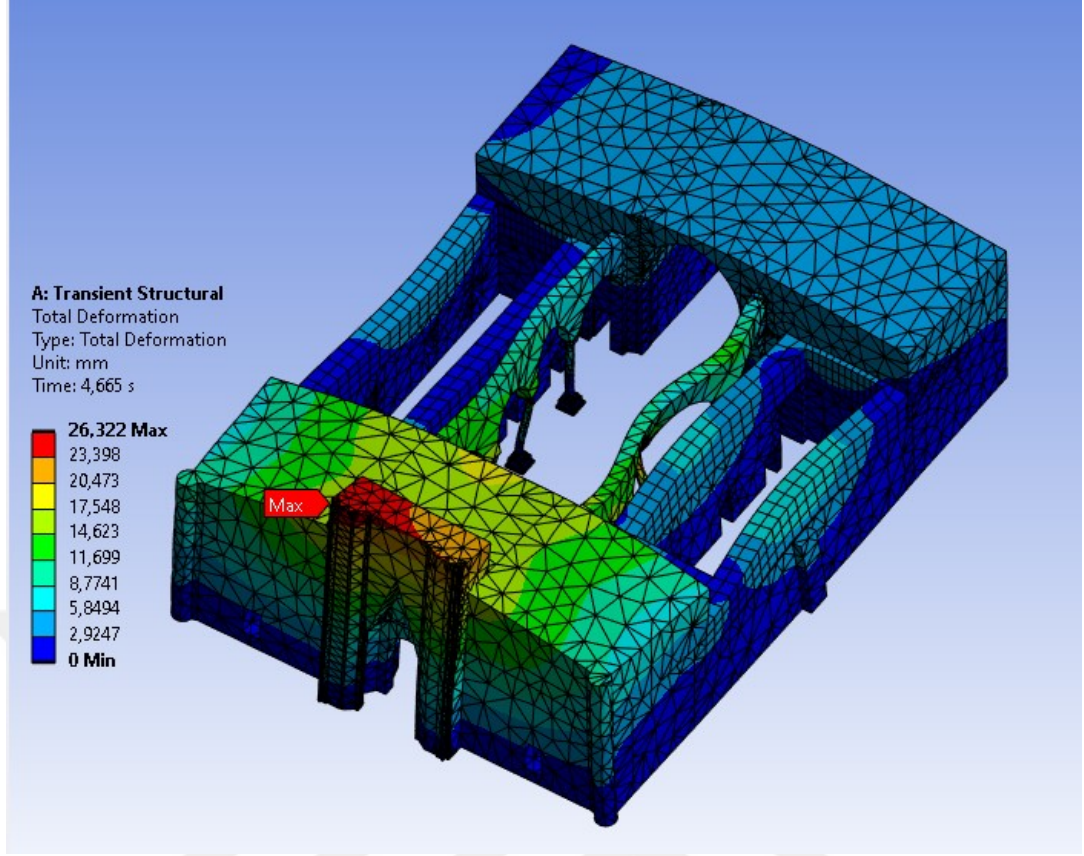
Erzincan'dan gelen Almus'ta 3'e bölünen Kuzey Anadolu Fay Hattı'nın 3 kolu da Amasya üzerinden geçiyor. Bu sebeple üçüncü deprem kaydı olarak Erzincan

İli'nde, 13 Mart 1992 tarihinde, 6.8 magnitüdünde meydana gelen depremin ivme kayıtları kullanılmıştır.(Şekil 5.30). En büyük yer ivmesi (PGA) değerleri Kuzey-Güney doğrultusunda 404.971 cm/sn^2 , Doğu-Batı doğrultusunda ise 470.9152 cm/sn^2 olarak ölçülmüştür.



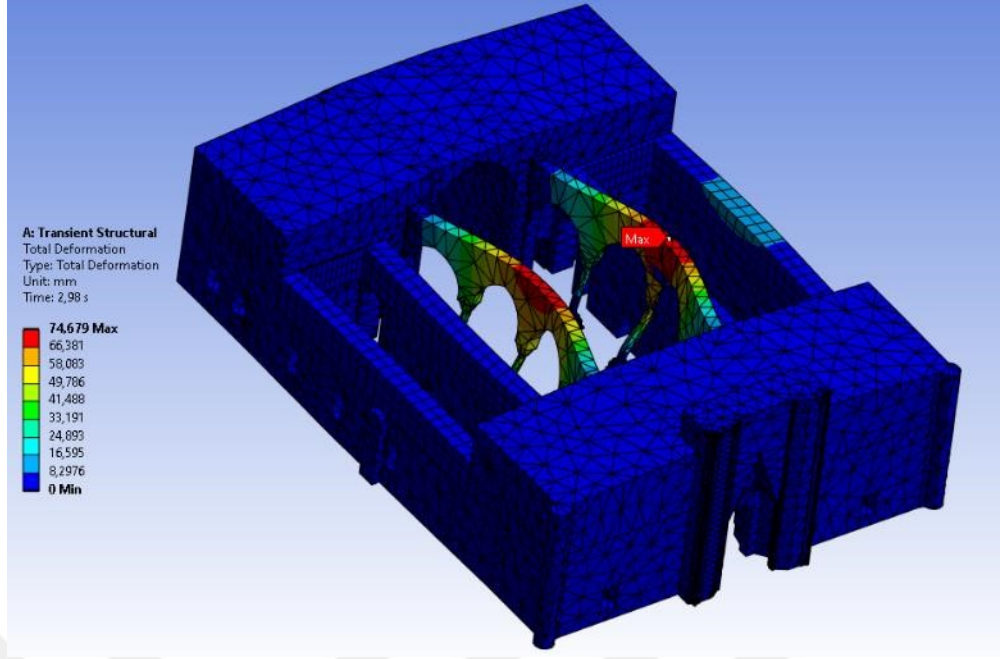
Şekil 5.30. 1992 Erzincan depremi ivme kayıtları

Erzincan Depreminde Doğu-Batı doğrultusunda en büyük yatay yer değiştirme taç kapının üst bölümünde ve tonozlarda ve revaklarda meydana gelmiş ve maksimum yatay ötelenme $26,322 \text{ mm}$ değeri ile taç kapının üstünde belirlenmiştir (Şekil 5.31.). Taç kapının üstünde oluşan maksimum yatay yer değiştirmenin ilgili duvar yüksekliğine oranı $26,322/11160 \text{ mm} = \% 0,23$ olup, öteleme oranı $\% 0,3$ sınırını aşmıyor, Sınırlı Hasar durumundadır.



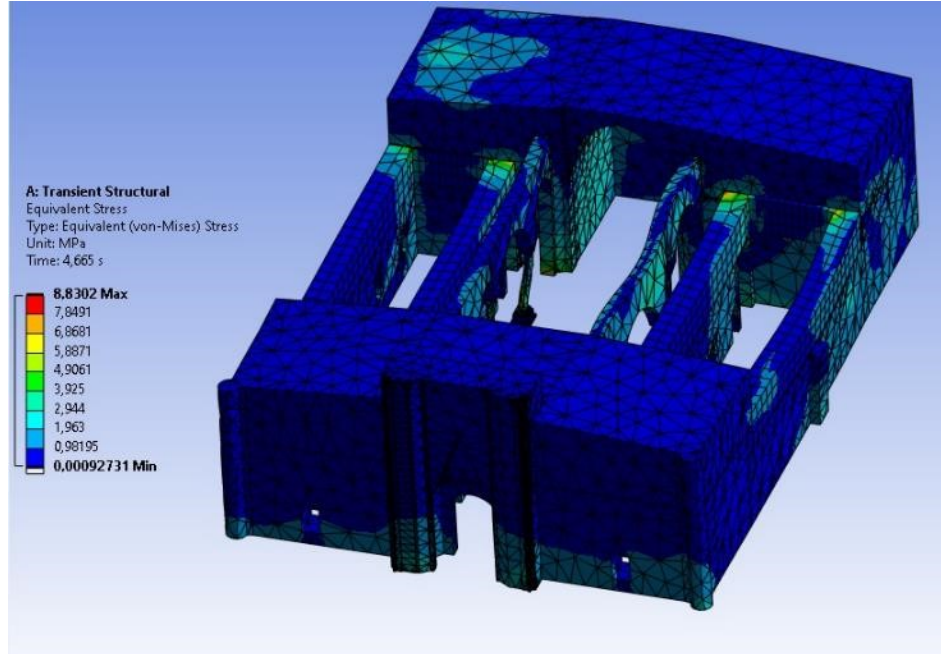
Şekil 5.31. Erzincan (E-W) depremi yer değiştirmeler

Kuzey-Güney doğrultusundaki yatay yer değiştirmeler revaklarda büyük değerlere ulaşmış ve en büyük yatay yer değiştirmenin ise 74,679 mm değerinde revakların orta bölümünde oluşmuştur. (Şekil 5.32). Maksimum yatay yer değiştirmenin ilgili duvar yüksekliğine oranı $74,679/8100 = \% 0,92$ olup Kontrollü Hasar sınır değerini aşarak Göçme öncesi sınır durumuna geçtiği söylenebilir.



Şekil 5.32.Erzincan (N-S) depremi yer değiştirmeler

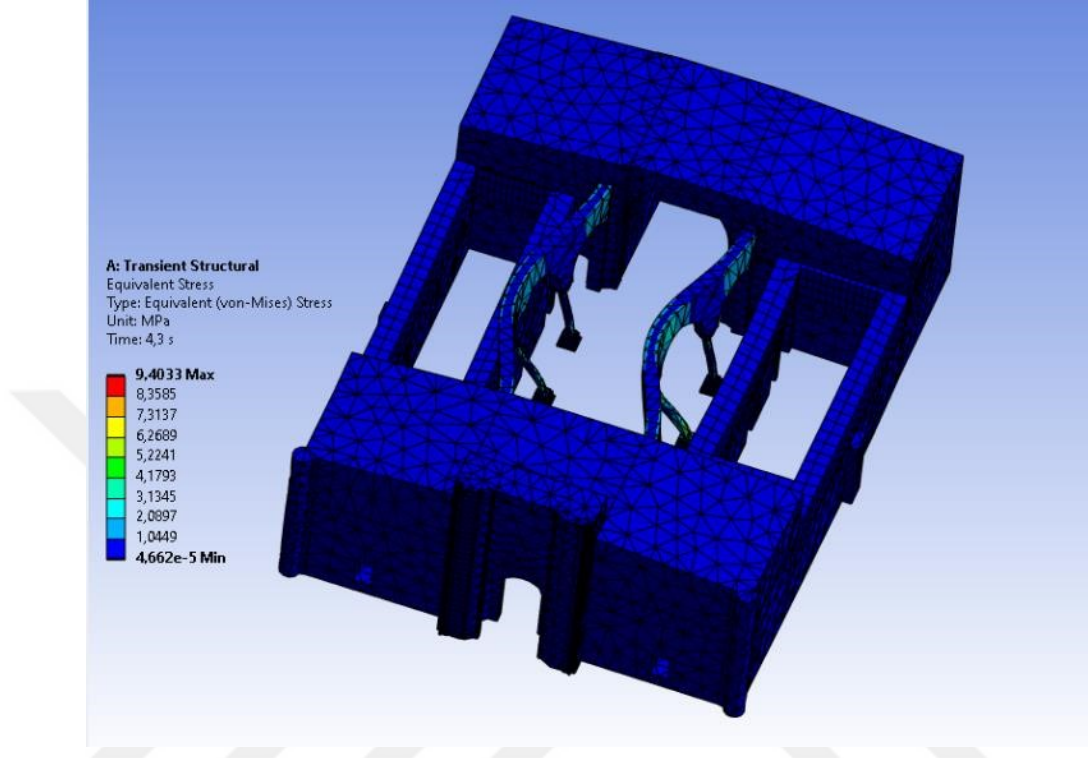
Bimarhane modeli üzerinde doğu-batı doğrultusunda oluşan eşdeğer gerilme dağılımı Şekil 5.33’de görülmektedir. Şeklin incelenmesinden revakların duvarlarla mesnetlendiği noktalarda, revaklara paralel olan hücre duvarlarının mesnet noktalarında, giriş cephe duvarlarının alt bölümleri ile pencere açıklıklarının köşelerinde yoğunlaştığı görülmekte, maksimum 8,8302 MPa değerine ulaşmaktadır.



Şekil 5.33. Erzincan (E-W) depremi eşdeğer gerilmeler

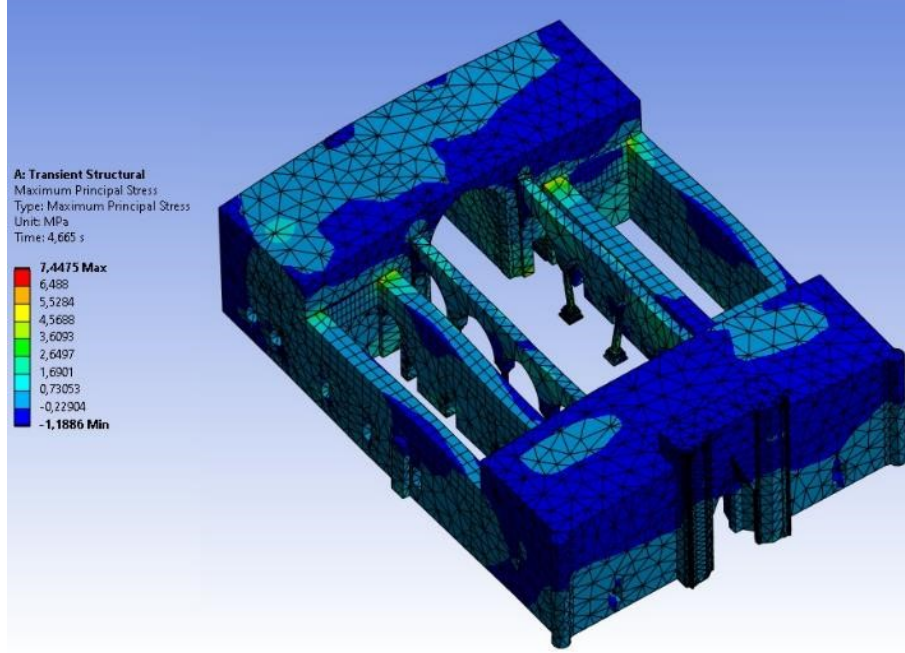
Kuzey-Güney doğrultusunda oluşan eşdeğer gerilme dağılımı Şekil 5.34’te

görüldüğü gibi revakların mesnet noktaları ile revaklardaki taşıyıcı sütunların kaidelerinde özellikle ortadaki sütunda gerilmelerin yoğunlaştığı görülmekte, maksimum gerilmenin soldaki revağın orta açıklığında 9,4033 MPa değerine ulaştığı görülmektedir.

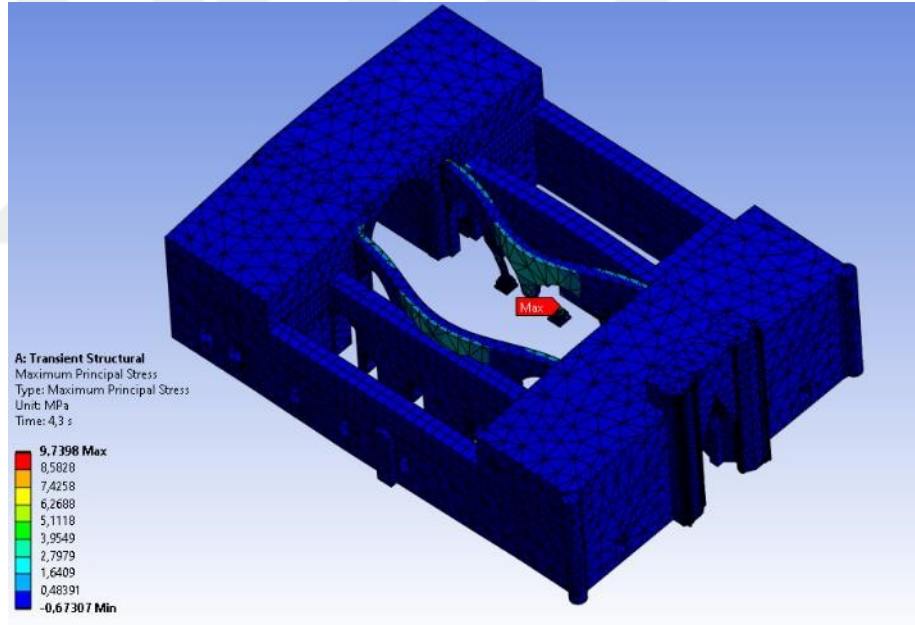


Şekil 5.34. Erzincan (N-S) depremi eşdeğer gerilmeler

Bimarhane modelinde Doğu-Batı doğrultusundaki maksimum asal çekme gerilmeleri Şekil 5.35.'de görüldüğü üzere, giriş kapısının yan duvarının tabanında, kemerlerin mesnet noktaları, sütun kaidesi, eyvanların tonozunda 7,4475 MPa değerine ulaşmıştır. Kuzey-Güney doğrultusundaki maksimum asal çekme gerilmeleri (Şekil 5.36.) incelendiğinde; gerilmelerin revakların mesnet noktalarında yoğunlaştığı ve maksimum çekme gerilmesinin 9,7398 MPa değerine sağdaki revağın ortasındaki sütunun alt ucunda kaide ile mesnetlendiği noktada meydana geldiği görülmektedir (Şekil 5.37). Erzincan Depreminde oluşan bu asal çekme gerilmeleri, 0,135 MPa çekme dayanımını aşmaktadır.



Şekil 5.35.Erzincan (E-W) depremi maksimum asal çekme gerilmeleri

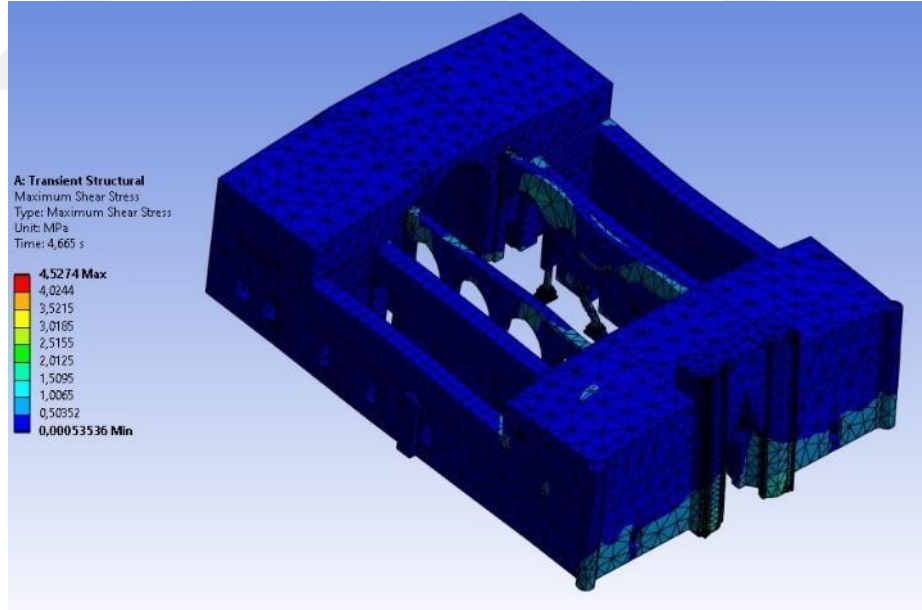


Şekil 5.36. Erzincan (N-S) depremi maksimum asal çekme gerilmeleri



Şekil 5.37. Erzincan (N-S) depremi maksimum asal çekme gerilmeleri

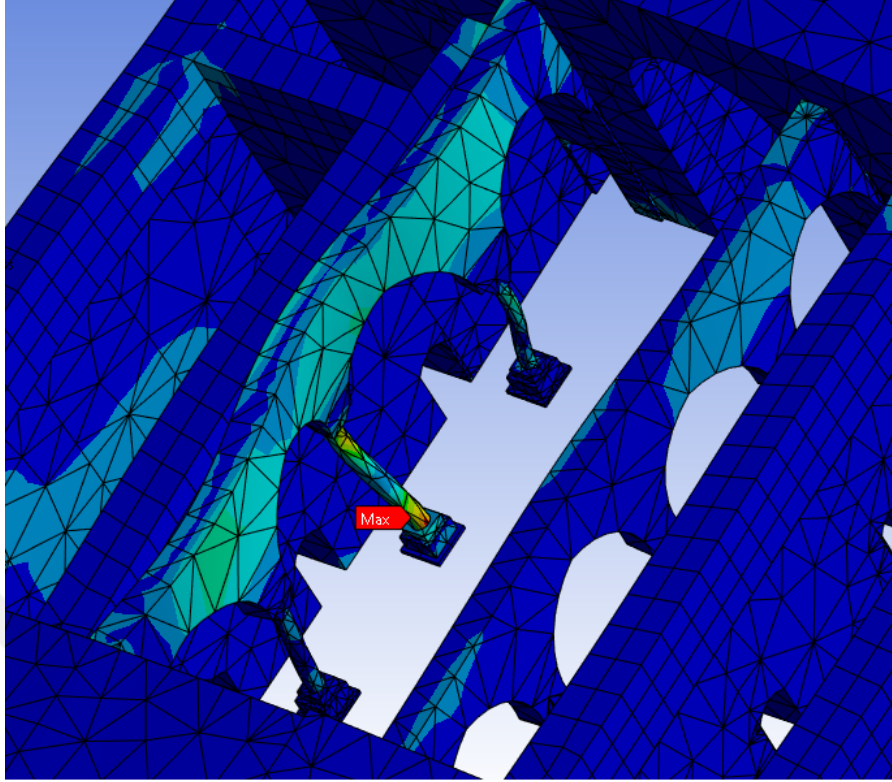
Bimarhane modelinde Doğu-batı doğrultusundaki kayma gerilmeleri incelendiğinde; gerilmelerin ön cephe duvarların alt bölümleri ile revakların ön ve arka duvarlarla ve sütunlarla mesnet noktalarında yoğunlaştığı görülmektedir (Şekil 5.38). Maksimum kayma gerilme değeri ise 4,5274 MPa ile soldaki revağın orta sütunun alt ucunda oluşmuştur ve bu değer kayma dayanım değerini aşmaktadır.



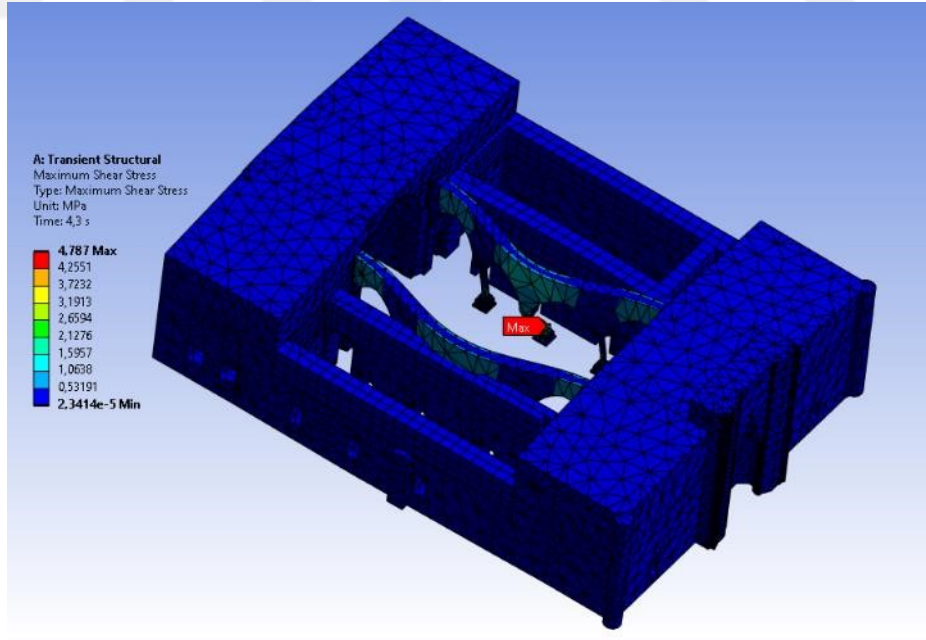
Şekil 5.38. Erzincan (E-W) depremi maksimum kayma gerilmeleri

Kuzey-Güney doğrultusundaki kayma gerilmeleri incelendiğinde; gerilmelerin revakların ön ve arka duvarlarla ve sütunlarla mesnet noktalarında yoğunlaştığı görülmektedir (Şekil 5.40). Maksimum kayma gerilme değeri ise 4,787 MPa ile sağdaki revağın orta sütunun alt ucunda oluşmuştur ve bu değer kayma dayanım

değerini aşmaktadır.



Şekil 5.39. Erzincan (E-W) depremi maksimum kayma gerilmeleri



Şekil 5.40. Erzincan (N-S) depremi maksimum kayma gerilmeleri

Performans kavramı, mevcut yapıların deprem güvenliğinin belirlenmesi için geliştirilmiş olup, tarihi yapının önemi, fonksiyonu, kullanıcı ve ziyaretçi sayısına

bağlı olarak bu yapılar için *Kabul Edilebilir Hasar Seviyeleri* tanımlanabilir. Bu tez çalışmasında analizleri gerçekleştirilen Bimarhane’de oluşan normal ve kayma gerilmeleri ile öteleme oranlarının değerlendirilmesi için “Tarihi Yapılar için Deprem Risklerinin Yönetimi Kılavuzu (2017)’ndan faydalanılmıştır. TYDRYK, 2017’de deprem etkisindeki tarihi yapılar için aşağıdaki “Yapısal Performans Düzeyleri” tanımlanmıştır:

a. Sınırlı Hasar (SH) Performans Düzeyi: Bu düzey; yapının taşıyıcı sistem elemanlarında sınırlı seviyede hasarın meydana geldiği yani doğrusal olmayan davranışın sınırlı kaldığı hasar düzeyidir.

b. Kontrollü Hasar (KH) Performans Düzeyi: Bu hasar düzeyi, yapının taşıyıcı sistem elemanlarında çoğunlukla onarılması mümkün olan kontrollü hasar seviyesidir.

c. Göçmenin Önlenmesi (GÖ) Performans Düzeyi: Bina taşıyıcı sistem elemanlarında ileri düzeyde ağır hasarın meydana geldiği, yapının kısmen veya tamamen göçmeye yaklaştığı, ancak göçmenin önlendiği hasar durumudur. (TYDRYK, 2017)

Tablo 5.1. Performans düzeyleri ile ilgili hesap yöntemleri ve sınır durumları (TYDRYK, 2017)

Performans Düzeyi	Hesap Yöntemi ve Sınırlar
Sınırlı Hasar (SH) Sınır Durum	1.Doğrusal hesap yöntemi kullanılıyor; a) Düşey yük ve azaltılmamış öngörülen deprem etkisinde bulunan hesap dayanımları aşılmıyor. b) Azaltılmamış deprem etkisinde öteleme oranı % 0,3 sınırını aşılmıyor.
Kontrollü Hasar (KH) Sınır Durumu	1. Doğrusal hesap yöntemi kullanılıyor; a) Düşey yük ve $3 R_a \leq$ ile azaltılmış öngörülen deprem etkisinde bulunan hesap dayanımları aşılmıyor. b) Azaltılmamış deprem etkisinde öteleme oranı % 0,7 sınırını aşılmıyor. 2. Doğrusal olmayan hesap yöntemi kullanılıyor; a) Öteleme oranı % 0,7 sınırının aşılmıyor. b)Malzemelerin şekil değiştirme kapasiteleri aşılmıyor.
Göçme Öncesi (GÖ) Sınır Durumu	1.Doğrusal hesap yöntemi kullanılıyor; a) Düşey yük ve $3 R_a \leq$ ile azaltılmış öngörülen deprem etkisinde bulunan hesap dayanımları belirli bir oranla (~1.5 katı) aşılabılır. b) Azaltılmamış deprem etkisinde öteleme oranı % 1 sınırını aşılmıyor. 2.Doğrusal olmayan hesap yöntemi kullanılıyor; a) Öteleme oranı % 1 sınırının aşılmıyor. b) Malzemelerin şekil değiştirme kapasiteleri sınırlı oranda (~1.2 katı) aşılabılır.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018); depreme dayanıklı yapı tasarımında “hafif şiddetteki depremlerde binalardaki yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarının herhangi bir hasar görmemesi; orta şiddetteki depremlerde yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda oluşabilecek hasarın sınırlı ve onarılabılır düzeyde kalması; şiddetli depremlerde ise, kontrollü hasarın sağlanması amacı ile kalıcı yapısal hasar oluşumunun sınırlandırılması” öngörmektedir.

Tarihi Yapıların Deprem Risklerinin Yönetimi Kılavuzu’ndaki hesap yöntemleri ve sınır durumları Tablo 5.1. kullanılarak, doğrusal analiz sonuçlarına göre elde edilen maksimum yatay yer değiştirmenin (mm) ilgili duvar yüksekliğine (mm) oranı yüzde olarak hesaplanıp, sınır durumu değerleri ile karşılaştırılarak, Bimarhane’nin deprem performans düzeyleri belirlenmeye çalışılmıştır. Yapılan hesaplar ile bulunan performans düzeyleri Tablo 5.2. de özetlenmiştir.

Tablo 5.2. Doğrusal analiz sonuçlarına göre Bimarhane’nin deprem performans düzeyleri

Deprem Adı ve Yönü	Öteleme Oranı ve Sınır Durumu	Performans Düzeyi
Kahramanmaraş-Pazarcık (E-W)	$499,86 / 11160 \text{ mm} = \%4,4$ $\%4,4 > \%1$	Göçme Öncesi sınırını aşmış, Göçme Durumundadır.
Kahramanmaraş-Pazarcık (N-S)	$884/8100 \text{ mm} = \%10,9$ $\% 10,9 > \%1$	Göçme Öncesi sınırını aşmış, Göçme Durumundadır.
Kahramanmaraş-Elbistan (E-W)	$26,68/8100 \text{ mm} = \%0,33$ $\% 0,33 > \%0,3$	Sınırlı Hasar düzeyini aşmış. Kontrollü Hasar (KH) düzeyinde
Kahramanmaraş-Elbistan (N-S)	$318,37/8100 \text{ mm} = \%3,9$ $\% 3,9 > \%1$	Göçme Öncesi sınırını aşmış, Göçme Durumundadır.
Erzincan (1992) (E-W)	$26,322/11160 \text{ mm} = \%0,23$ $\% 0,23 < \%0,3 = \text{SH}$	Sınırlı Hasar düzeyindedir.
Erzincan (1992) (N-S)	$74,679/8100 \text{ mm} = \%0,92$ $\% 0,92 > \% 0,7$	Kontrollü hasar düzeyini aşmış, Göçme Öncesi (GÖ) hasar düzeyindedir.

5.4. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analizler

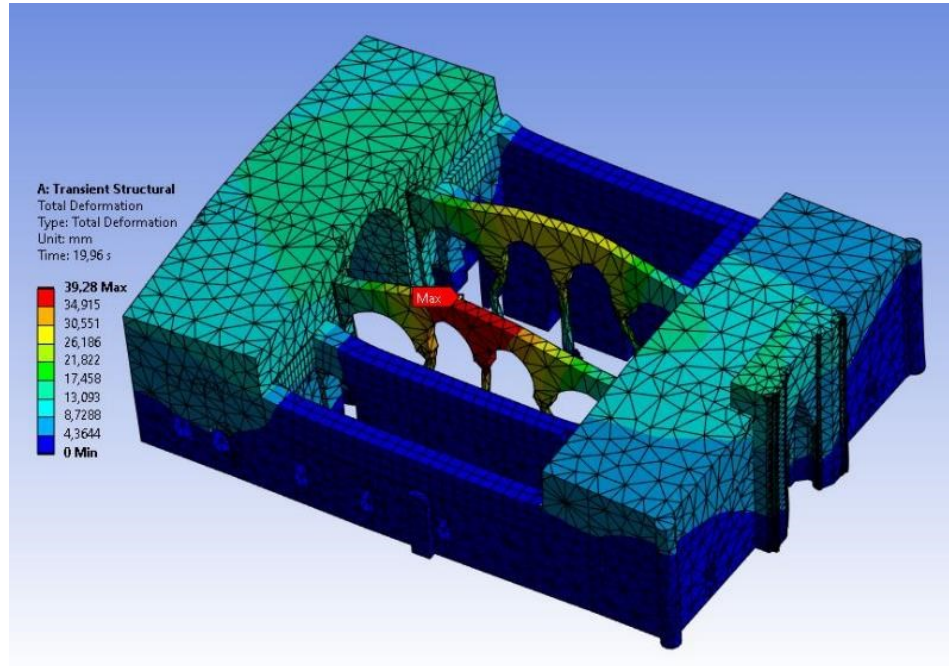
Doğrusal analizler, yapının elastik davranışını iyi bir şekilde belirlemesine karşın, yapının göçme mekanizmasının belirlenmesi ve elastik ötesi davranışının belirlenmesi konusunda yetersiz kalmaktadır. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerle, yapıda başlangıçtan limit durumuna kadar meydana gelen hasarlar ve tepkiler daha detaylı incelenebilir.

Bu bölümde Bimarhane’nin deprem performansının belirlenmesi için doğrusal olmayan dinamik analizlerine yer verilecektir. Doğrusal analizlerde kullanılan üç farklı deprem ivme kayıtları kullanılarak doğrusal olmayan (non-lineer) dinamik

analizler yapılmaya çalışılmıştır ancak Kahramanmaraş_Pazarcık Depremi ivme kayıtları ile yapılan doğrusal olmayan analizlerde ANSYS programında yakınsama problemiyle karşılaşmış ve analizler sonlandırılmıştır. Eleman Ağı (Mesh) değeri küçültülerek tekrar analiz yapılmaya çalışılsa da belirli sürelerle geldiğinde analiz hata vererek sonlanmış. Diğer iki deprem verilerinde böyle bir sorunla karşılaşmamış olması sorunun modelle ilgili olmadığını Kahramanmaraş_Pazarcık Depremi ivme değerlerinin çok yüksek (Doğu- Batı bileşeninde 2039.20 cm/sn^2 , kuzey-güney bileşeninde 2016.99 cm/sn^2) değerlerlerde olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Sonuç olarak Kahramanmaraş-Elbistan ve Erzincan depremi (1992) ivme kayıtlarının bileşenleri kullanılarak doğrusal olmayan analizler gerçekleştirilmiştir.

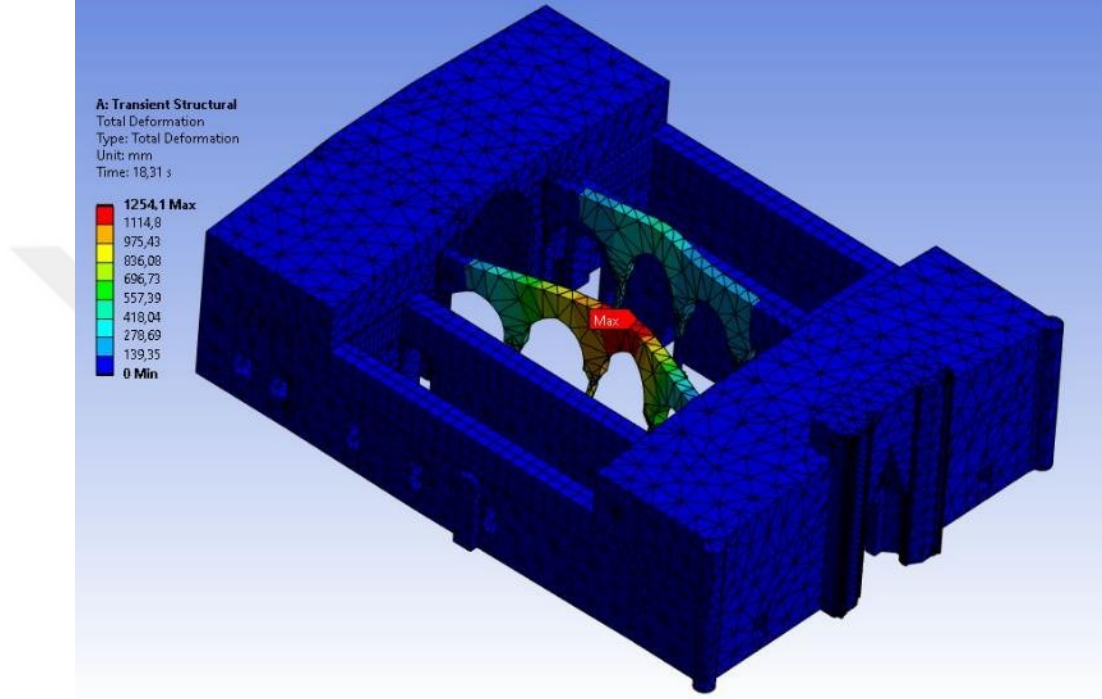
5.4.1. Kahramanmaraş-Elbistan Depremi Doğrusal Olmayan Analizler

Kahramanmaraş-Elbistan Depreminde Doğu-Batı doğrultusundaki yer değiştirmeler Şekil 5.41.'de görüldüğü üzere; giriş taç kapının üst köşesinde, tonozların tepe noktalarında, revakların orta bölümlerinde yoğunlaşmakta ve maksimum yer değiştirme ise sol revağın orta kemerinin üstünde $39,28 \text{ mm}$ olduğu görülmektedir. Maksimum yatay yer değiştirmenin ilgili revak duvarı yüksekliğine oranı $39,28/8100 = \% 0,48$ olup Sınırlı Hasar (SH) sınır değeri olan $\%0,3$ 'ü aşmış ve bu durumda revakların Kontrollü Hasar (KH) durumunda olduğu söylenebilir.



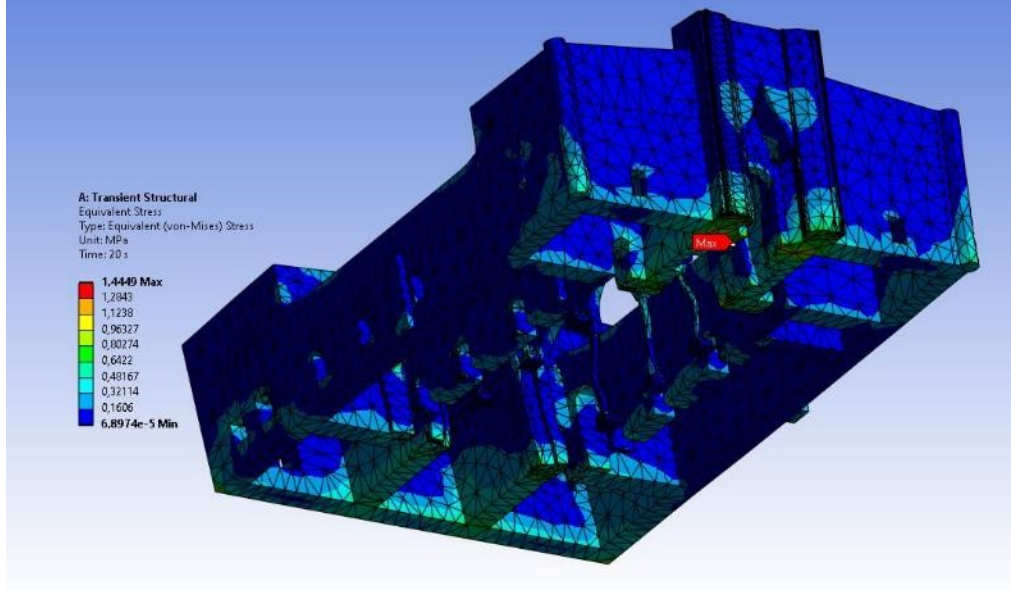
Şekil 5.41. Kahramanmaraş-Elbistan Depremi (E-W) doğrusal olmayan analiz yer değiştirmeler

Kuzey-Güney doğrultusunda Bimarhane modeli üzerindeki yatay ötelenmelerin özellikle revaklarda büyük değerlere ulaştığı görülmektedir. Maksimum yer değiştirmenin ise 18,31.sn'de soldaki revağın orta bölümünde 1254,1 mm değerine ulaştığı görülmektedir (Şekil5.42.). Maksimum yatay yer değiştirmenin ilgili duvarın yüksekliğine oranı $1254,1/8100 = \%15$ olup, bu değer Göçme öncesi sınır durumunu aştığı için revaklarda göçme düzeyinde hasarların görülebileceği söylenebilir.



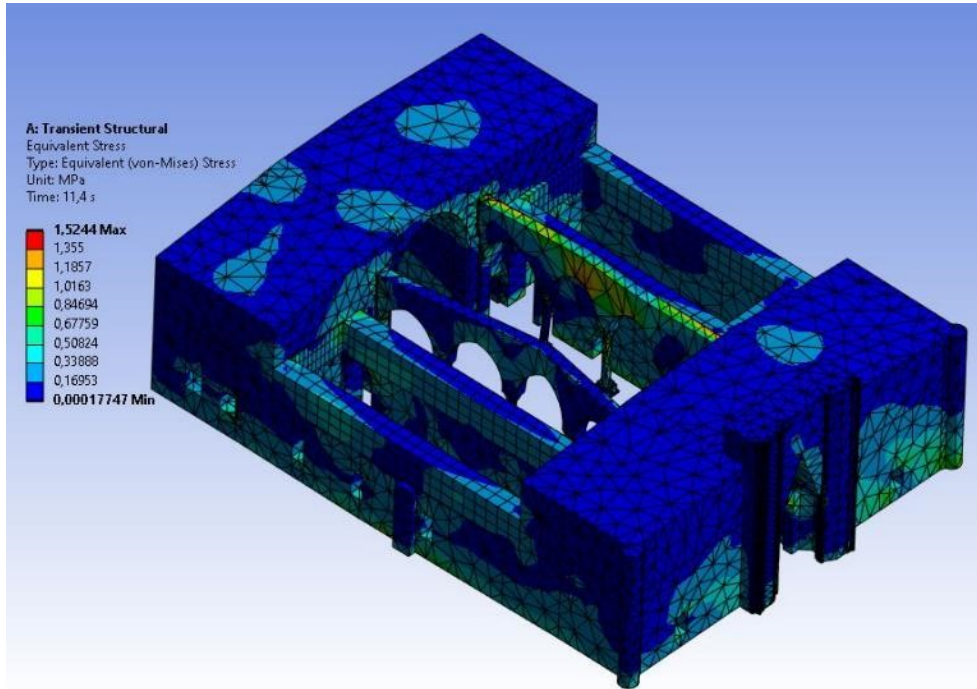
Şekil 5.42. Kahramanmaraş-Elbistan Depremi (N-S) doğrusal olmayan analiz yer değiştirmeler

Doğu-Batı doğrultusundaki eşdeğer gerilmelerin dağılımı Şekil 5.43.'de verilmiştir. Gerilmelerin ön cephedeki duvar tabanları ile pencere açıklıklarının köşelerinde revakların ön-arka duvarlarla mesnet bölümleri ile revakları taşıyan sütunların üst ve alt uçlarında yoğunlaştığı görülmektedir. Maksimum gerilme değeri ise 1,4449 MPa ile taç kapının yan duvar tabanında tespit edilmiştir.

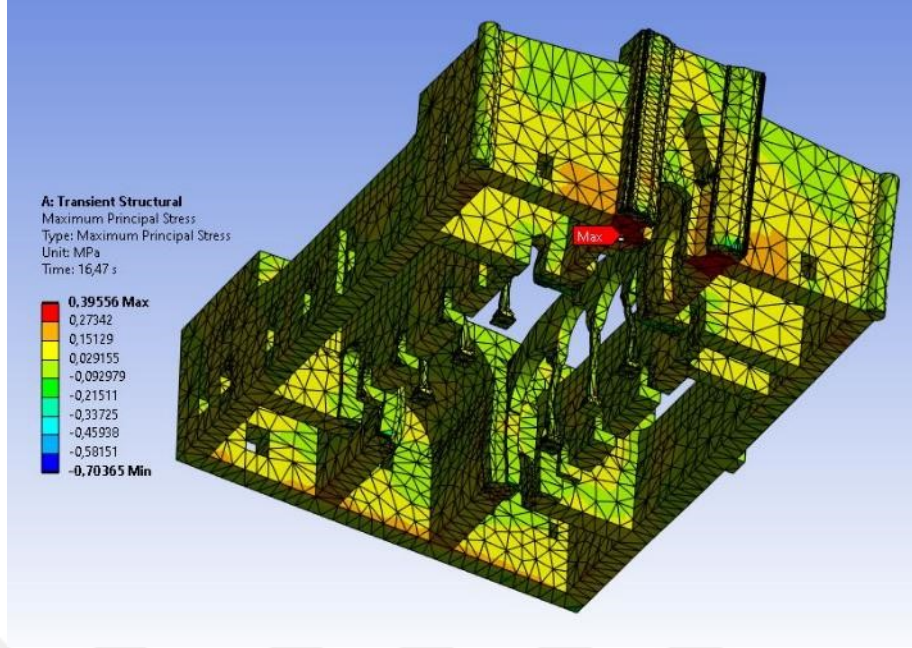


Şekil 5.43. Kahramanmaraş-Elbistan Depremi (E-W) doğrusal olmayan analiz eşdeğer gerilmeler

Kuzey-Güney doğrultusundaki eşdeğer gerilmelerin dağılımı Şekil 5.44. incelendiğinde gerilmelerin revakların duvarlarla mesnet bölgelerinde, hücre yan duvarlarında ve dış duvarlardaki pencere açıklıklarının köşelerinde yoğunlaştığı ve özellikle sağdaki revağın ortadaki kemerinde maksimum 1,5244 MPa değerine ulaştığı görülmektedir.

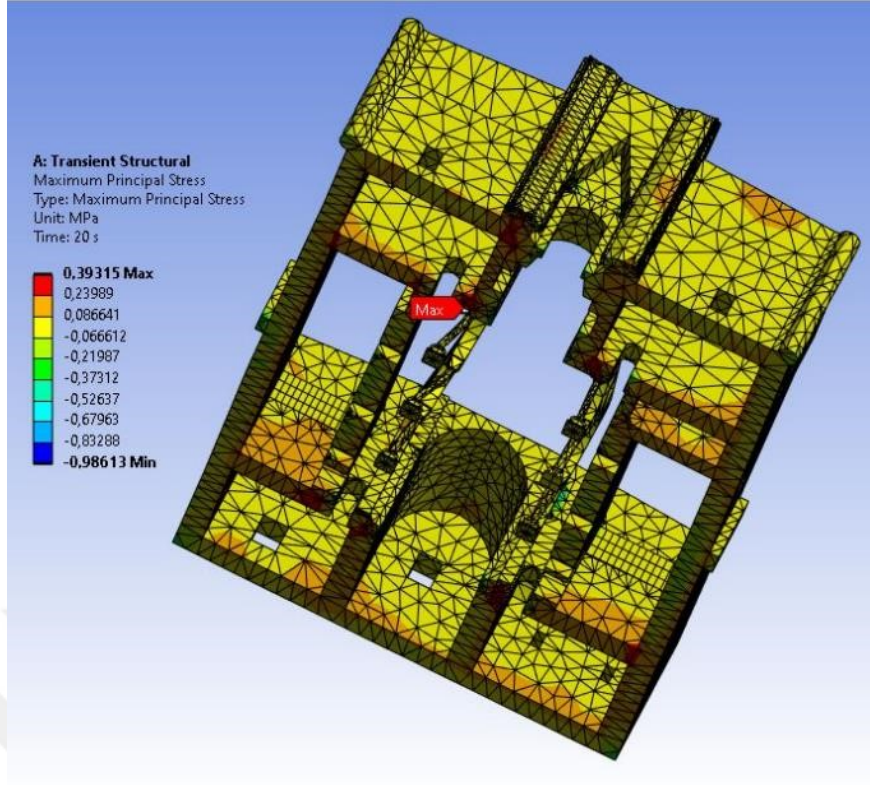


Şekil 5.44. Kahramanmaraş-Elbistan Depremi (N-S) doğrusal olmayan analiz eşdeğer gerilmeler



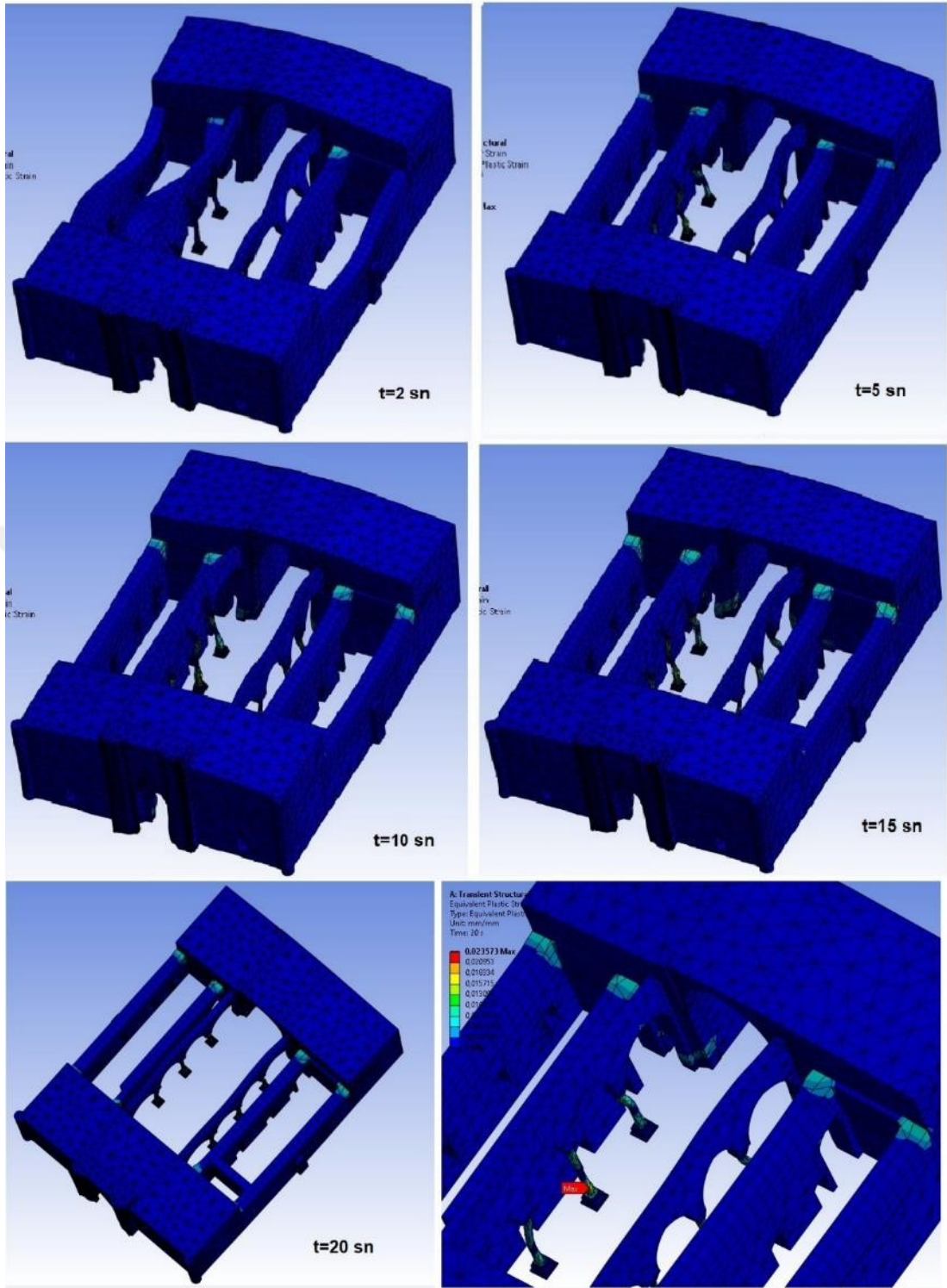
Şekil 5.45. Kahramanmaraş-Elbistan (E-W) Depremi Maksimum Asal gerilmeler

Doğu-Batı doğrultusundaki asal çekme gerilmeleri dağılımı incelendiğinde ön - arka cephe duvarlarının tabanlarında yoğunlaştığı ve ön cephede taç kapının sağ ve sol yanlarında maksimum 0,39556 MPa değerine ulaştığı görülmektedir. Kuzey-Güney doğrultusundaki asal çekme gerilmelerinin dağılımı Şekil 5.46.'da görüldüğü üzere; gerilmeler özellikle revaklar ve hücre yan duvarlarında yoğunlaşmış ve maksimum 0,39315 MPa değerine ulaşmıştır ve oluşan bu asal çekme gerilmeleri, 0,135 MPa çekme dayanımını aşmaktadır.



Şekil 5.46. Kahramanmaraş-Elbistan (N-S) Depremi Maksimum Asal gerilmeler

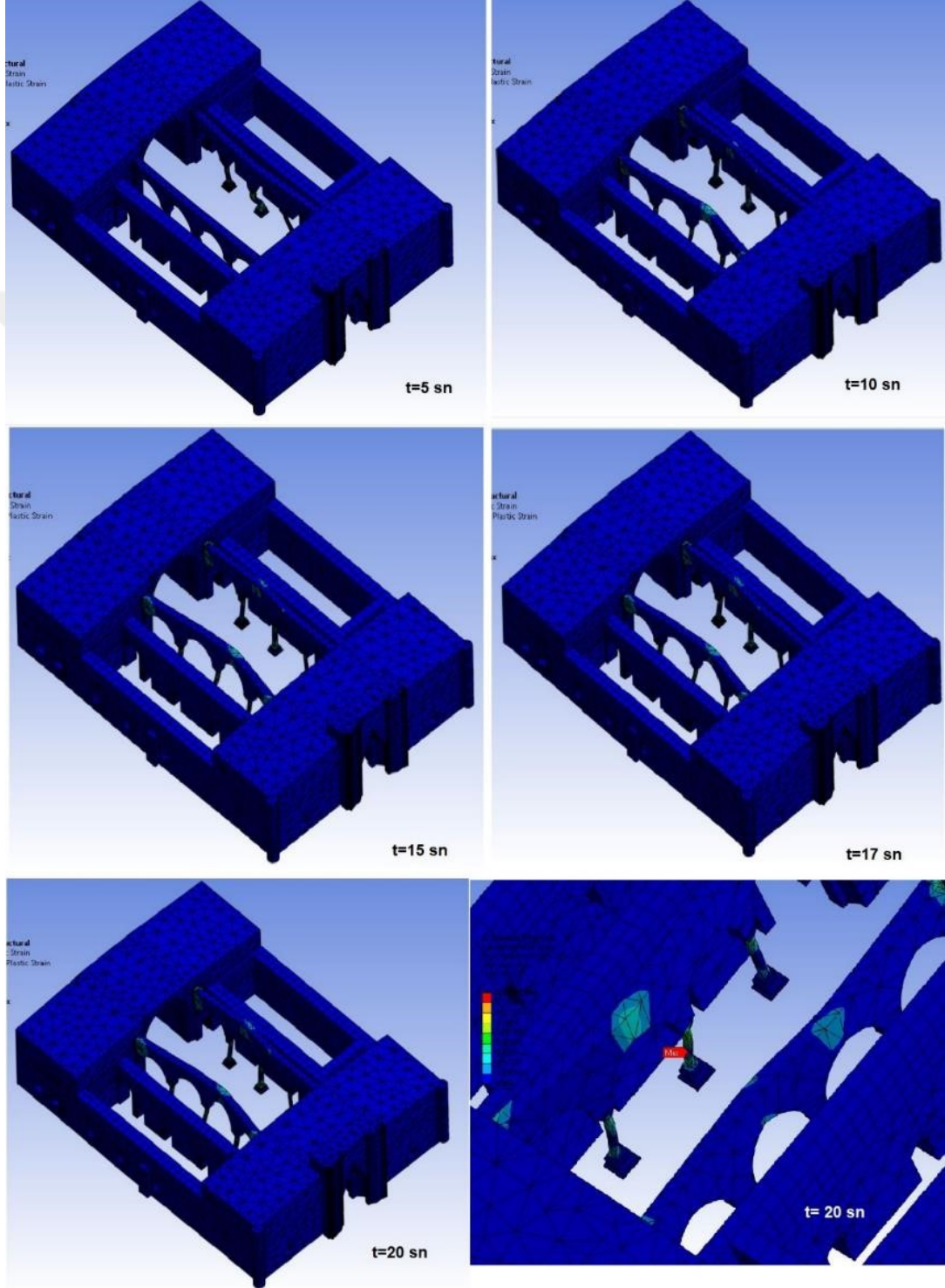
Bimarhane modelinin doğrusal olmayan analizinde Doğu-Batı doğrultusundaki plastik deformasyonların zamanla yayılımı Şekil 5.47.'de verilmiştir. İlk deformasyonun revakları taşıyan sütunların alt ve üst mesnet noktalarında olduğu ve 2. Saniyede hücre duvarlarının ön-arka duvarlarla mesnetlendiği noktalarda da hasarların olduğu görülmekte, ilerleyen saniyelerde bu bölgelerdeki plastik deformasyonlar genişleyerek tonozların duvarlarla mesnet noktalarında da çatlaklar olduğu görülmektedir ve 20. saniyede değerine soldaki revağın orta sütununun alt ucunda 0,0235 mm değerine ulaşmaktadır.



Şekil 5.47. Kahramanmaraş-Elbistan Depremi (E-W) plastik deformasyonların

Kuzey-Güney doğrultusundaki plastik deformasyonların farklı zamanlardaki değerleri ve zaman içindeki yayılımı Şekil 5.48.'de verilmiştir. Bu doğrultudaki ilk çatlağın revakları taşıyan sütunların alt ve üst mesnet noktalarında oluştuğu ve 5. saniyede bu çatlakların yayıldığı ve revakların ön-arka duvarlarla mesnetlendiği

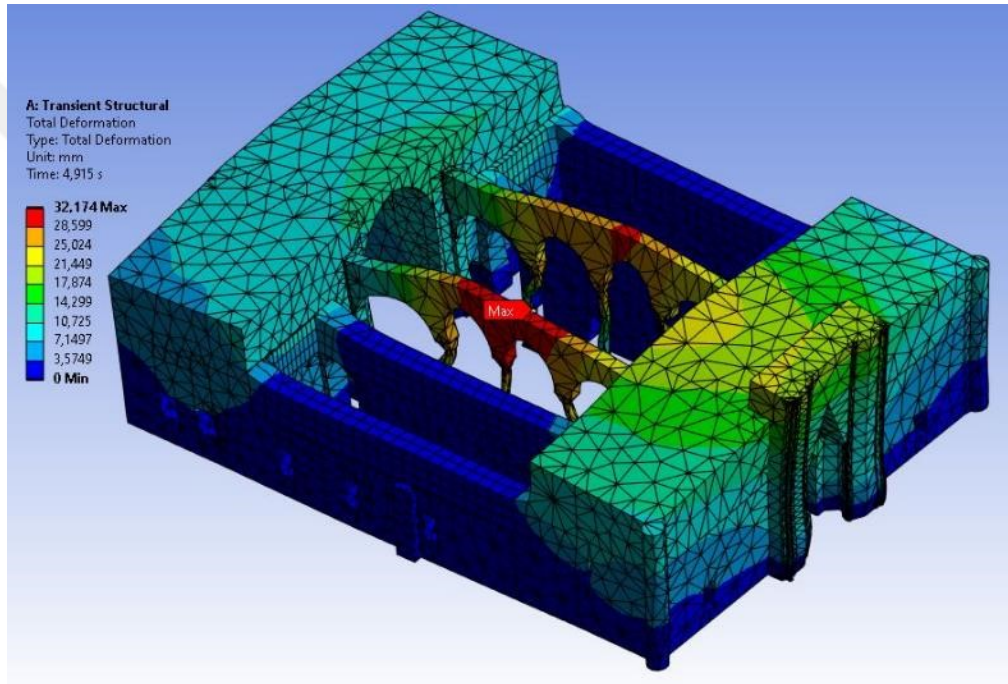
noktalarda hasarların oluştuğu görülmekte, ilerleyen saniyelerde bu bölgelerdeki plastik deformasyonlar genişlemiş ve 10.saniyeden sonra revak orta kemerlerinde de hasarlar oluşmuş 15.saniyede revak kemer açıklıklarında hasarlar yayılmış ve sütunlardaki çatlaklar ilerlemiş ve 20. saniyede orta sütundaki plastik deformasyon maksimum 0,15 mm değerine ulaşmıştır.



şekil 5.48. Kahramanmaraş-Elbistan Depremi (N-S) plastik deformasyonlar

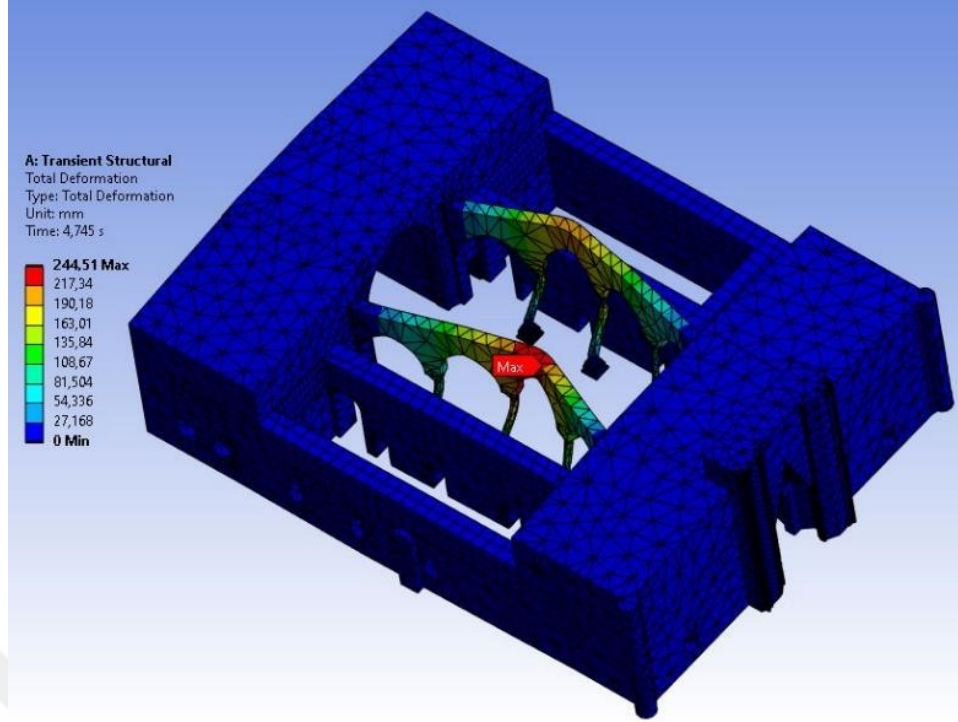
5.4.2. Erzincan Depremi Doğrusal Olmayan Analizler

Erzincan Depremi (1992) Doğu-Batı doğrultusundaki ivme kayıtları ile yapılan doğrusal olmayan dinamik analizlerin neticesinde yatay yer değiştirme (mm) değerlerinin renkli dağılımı Şekil 5.49.'da verilmiştir. Doğu-Batı doğrultusunda en büyük yatay yer değiştirmeler taç kapının üst bölümünde ve giriş ve ana eyvan tonozlarında, her iki revağın orta bölümlerinde meydana gelmiş ve maksimum yatay ötelenme 32,174 mm değeri ile soldaki revağın orta bölümünde oluşmuştur. Revak kemerinin üstünde oluşan maksimum yatay yer değiştirmenin ilgili duvar yüksekliğine oranı $32,174/8100 \text{ mm} = \%0,40$ olup, Sınırlı Hasar (SH) sınır durumu olan $\%0,3$ 'ü aşarak, Kontrollü Hasar (KH) durumuna geçmiştir.



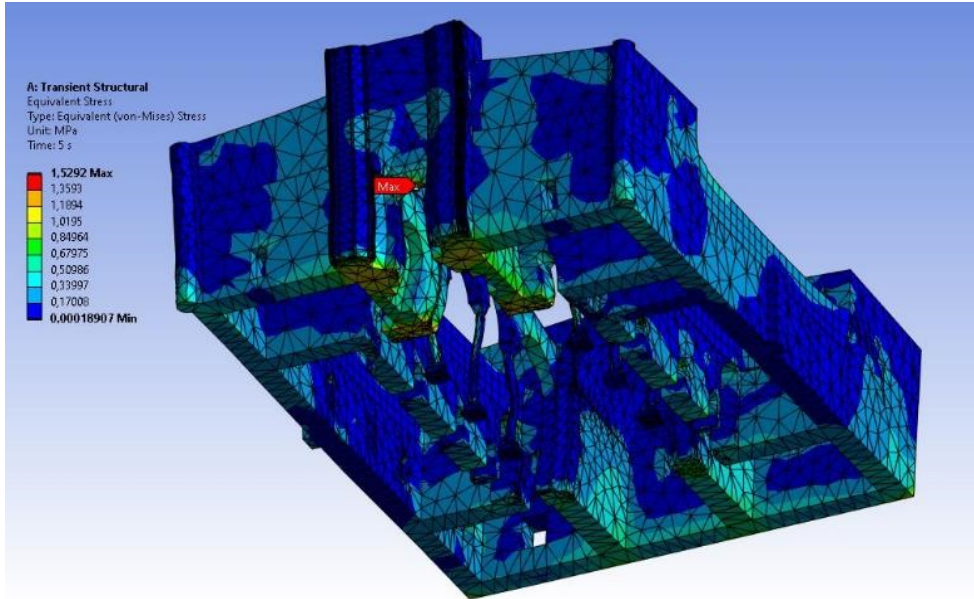
Şekil 5.49. Erzincan Depremi (E-W) doğrusal olmayan analiz-yer değiştirmeler

Kuzey-Güney doğrultusundaki yatay yer değiştirmeler revaklarda büyük değerlere ulaşmış ve en büyük yatay yer değiştirme ise 244,51 mm değerinde soldaki revağın orta bölümünde oluşmuştur (Şekil 5.50). Maksimum yatay yer değiştirmenin ilgili duvar yüksekliğine oranı $244,51/8100 = \%3,02$ olup Göçme Öncesi (GÖ) sınır durumu olan $\%1$ değerini aşarak, göçme durumuna geçeceği öngörülmektedir.

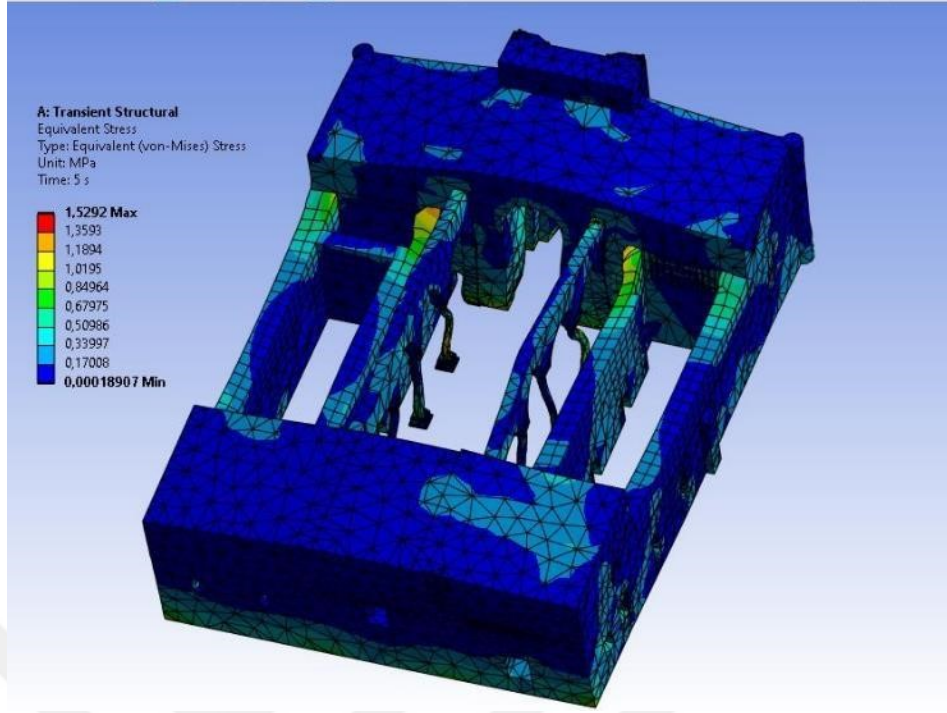


Şekil 5.50. Erzincan Depremi (N-S) doğrusal olmayan analiz-yer değiştirmeler

Bimarhane modeli üzerinde doğu-batı doğrultusunda oluşan eşdeğer gerilme dağılımı Şekil 5.51. ve Şekil 5.52’de görüldüğü üzere; revakların duvarlarla mesnetlendiği noktalarda, revaklara paralel olan hücre duvarlarının ön-arka duvarlarla mesnetlendikleri noktalarda, giriş cephe duvarlarının alt bölümleri ile pencere açıklıklarının köşelerinde yoğunlaşmış ve maksimum 1,5292 MPa değerine taş kapının kemerinde ulaşmıştır.

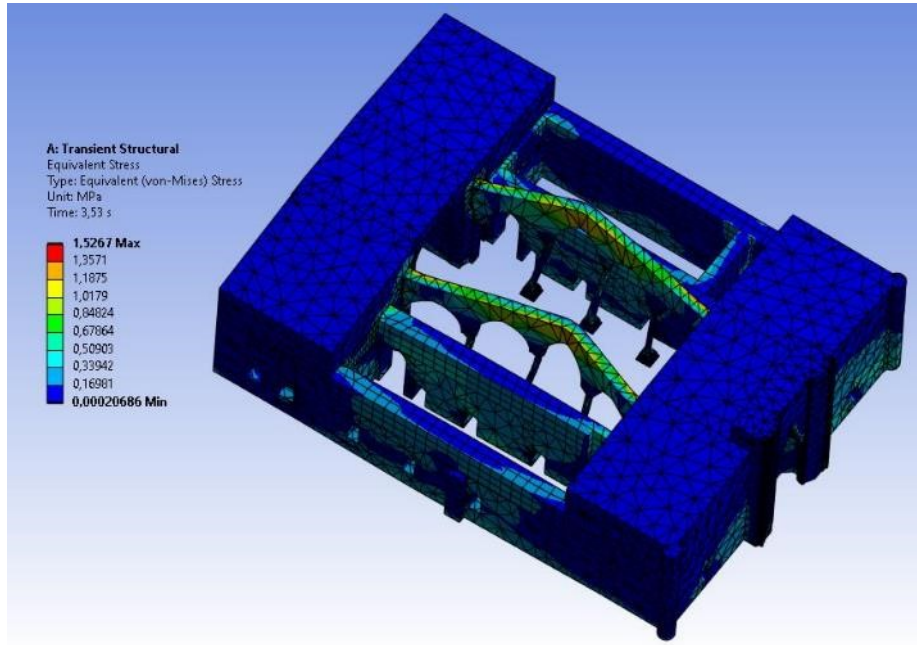


Şekil.5.51. Erzincan Depremi (E-W) doğrusal olmayan analiz-eşdeğer gerilmeler



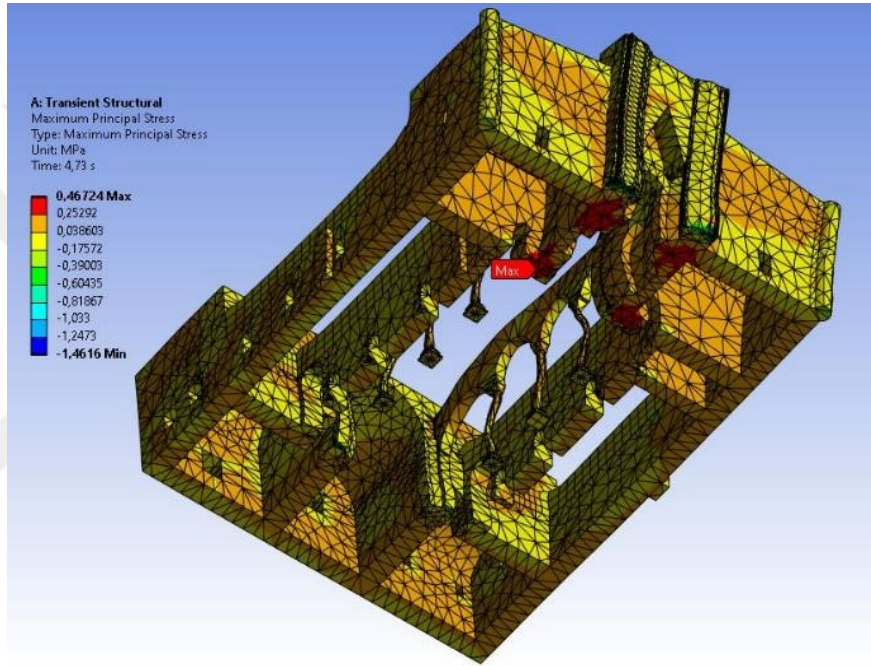
Şekil 5.52. Erzincan Depremi (E-W) doğrusal olmayan analiz-eşdeğer gerilmeler

Kuzey-Güney doğrultusunda oluşan eşdeğer gerilme dağılımı Şekil 5.53'te görüldüğü gibi revakların mesnet noktaları ile revaklardaki taşıyıcı sütunların kaidelerinde ve sütun başlarında özellikle ortadaki sütunlarda gerilmelerin yoğunlaştığı görülmekte, maksimum gerilmenin 1,5267 MPa değerine ulaştığı görülmektedir.

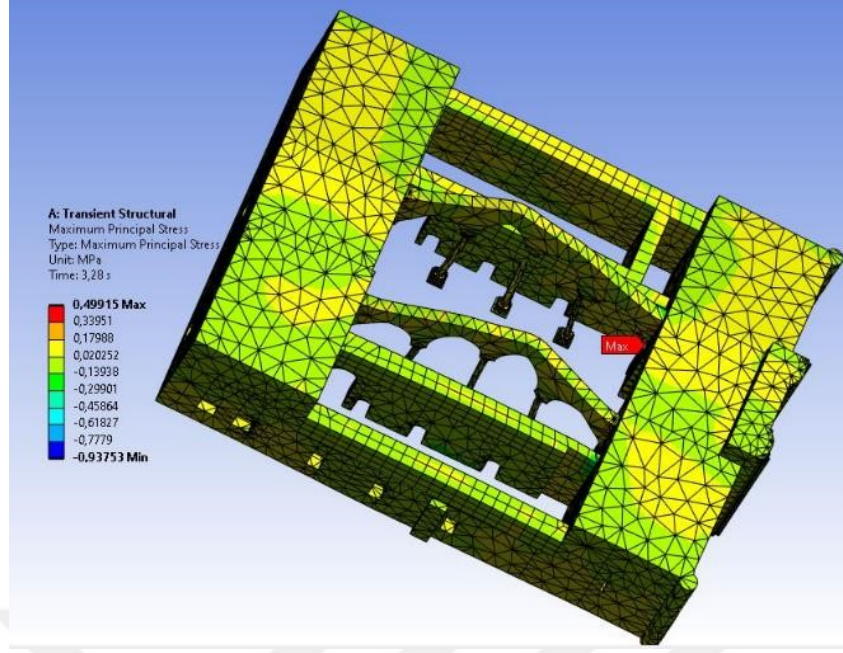


Şekil 5.53. Erzincan Depremi (N-S) doğrusal olmayan analiz-eşdeğer gerilmeler

Bimarhane modelinde Doğu-Batı doğrultusundaki maksimum asal çekme gerilmeleri Şekil 5.54.'de görüldüğü üzere, giriş kapısının yan duvarının tabanında, kemerlerin mesnet noktaları, sütun kaidesi, eyvanların tonozunda 0,4672 MPa değerine ulaşmıştır. Kuzey-Güney doğrultusundaki maksimum asal çekme gerilmeleri incelendiğinde; gerilmelerin revakların mesnet noktalarında yoğunlaştığı ve maksimum çekme gerilmesinin 0,499 MPa değerine ön duvara mesnetlendiği noktada meydana geldiği görülmektedir (Şekil 5.55.). Erzincan Depreminde oluşan bu asal çekme gerilmeleri, 0,135 MPa çekme dayanım sınırını aşmaktadır.

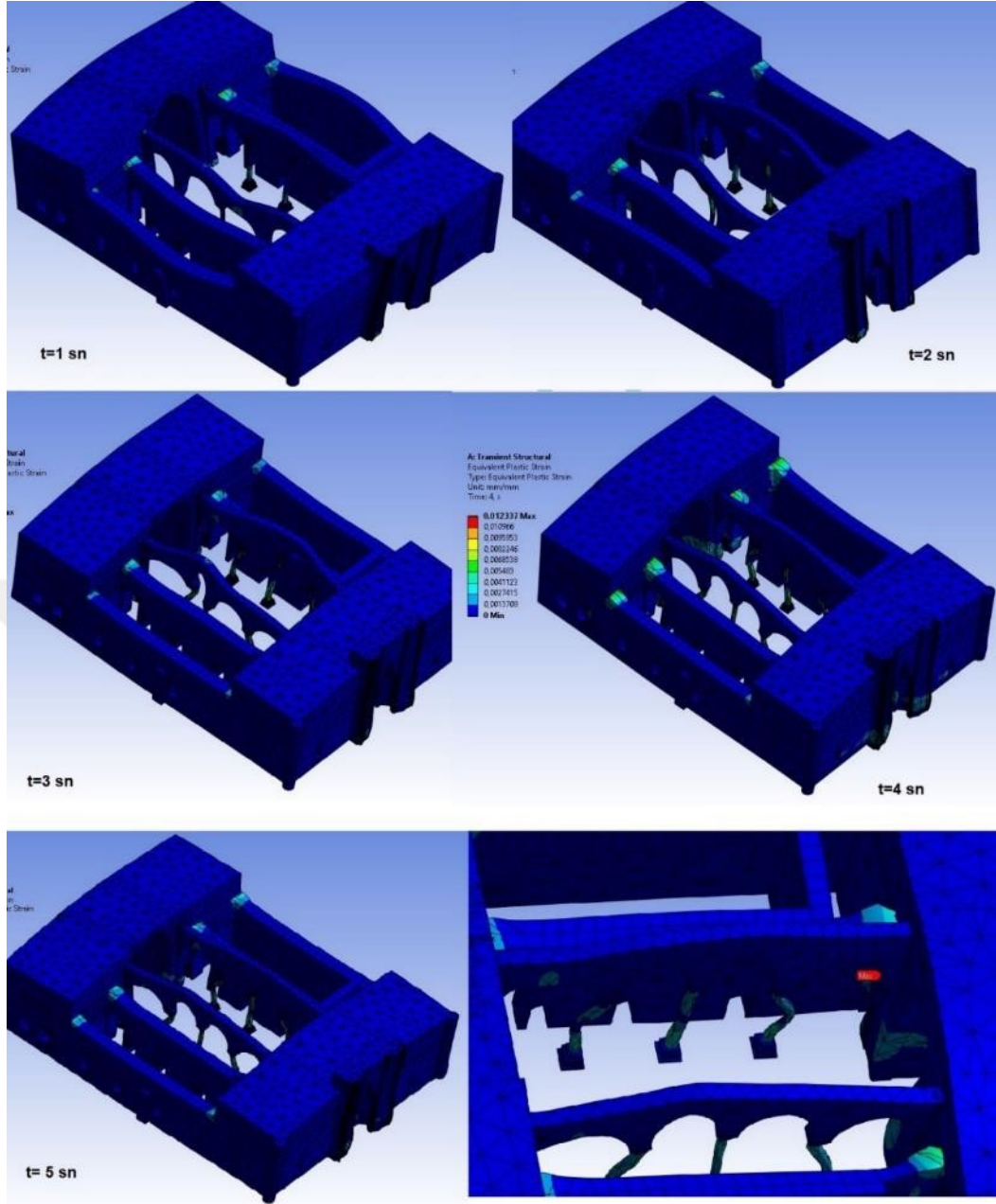


Şekil 5.54. Erzincan Depremi (E-W) doğrusal olmayan analiz asal çekme gerilmeleri



Şekil 5.55. Erzincan Depremi (N-S) doğrusal olmayan analiz asal çekme gerilmeleri

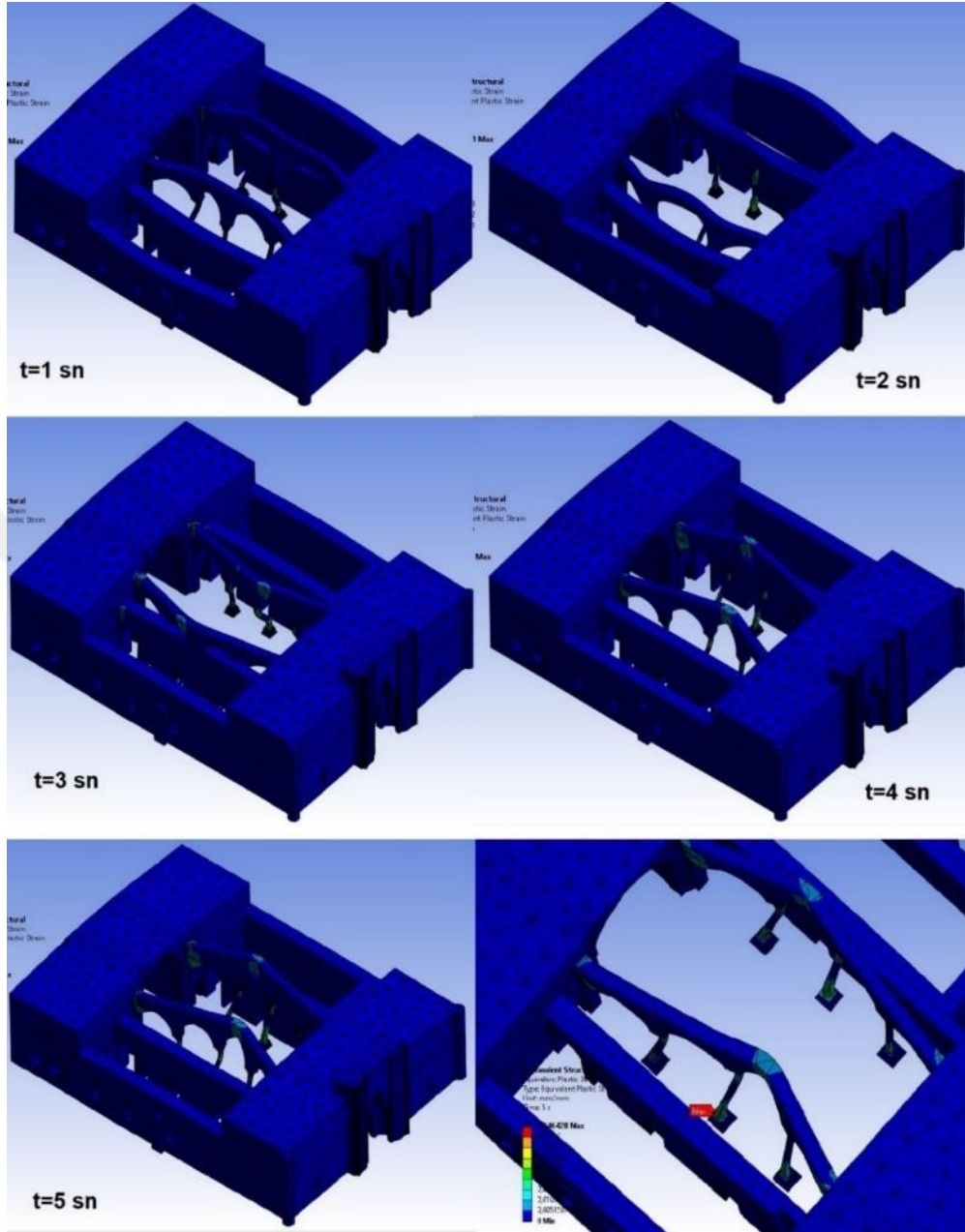
Bimarhane modelinin doğrusal olmayan analizinde Doğu-Batı doğrultusundaki plastik deformasyonların zamanla yayılımı Şekil 5.55.'de verilmiştir. İlk deformasyonun revakları taşıyan sütunların alt ve üst mesnet noktalarında olduğu ve 1. Saniyede hücre iç ve dış duvarlarının ön-arka duvarlarla mesnetlendiği noktalarda da hasarların olduğu görülmekte, 2. ve 3. saniyelerde bu bölgelerdeki plastik deformasyonlar genişlemiş ve 4.saniyede taç kapının sağ ve solundaki duvarların pencere açıklıklarının köşelerinde ve tonozların duvarlarla mesnet noktalarında çatlaklar olduğu görülmektedir ve 5. Saniyede revakların ayaklarındaki hasarlar büyürken, hücre duvarlarının arka duvarla mesnetlendiği noktada 0,025475 mm değerine ulaşmaktadır.



Şekil 5.55. Erzincan Depremi (E-W) doğrusal olmayan analiz plastik deformasyonlar

Kuzey-Güney doğrultusundaki plastik deformasyonların farklı zamanlardaki değerleri ve zaman içindeki yayılımı Şekil 5.56.'da verilmiştir. Bu doğrultudaki ilk çatlağın revakları taşıyan sütunların alt ve üst mesnet noktalarında oluştuğu ve 5. saniyede bu çatlakların yayıldığı ve revakların ön-arka duvarlarla mesnetlendiği noktalarda hasarların oluştuğu görülmekte, ilerleyen saniyelerde bu bölgelerdeki plastik deformasyonlar genişlemiş ve 3.saniyeden sonra revak orta kemerlerinde de hasarlar oluşmuş, 4.saniyede revak kemer açıklıklarındaki hasarlar yayılmış ve sütunların alt ve üst ucundaki çatlaklar ilerlemiş ve 5. Saniyede soldaki revağın orta

sütununun alt ucunda plastik deformasyon maksimum 0,046428 mm değerine ulaşmıştır.



Şekil 5.56. Erzincan Depremi (N-S) doğrusal olmayan analiz plastik deformasyonlar

TYDRYK (2017)'daki hesap yöntemleri ve sınır durumları kullanılarak, doğrusal olmayan analiz sonuçlarına göre elde edilen maksimum ötelenme değerinin (mm) ilgili duvar yüksekliğine (mm) oranı yüzde olarak hesaplanıp, sınır durumu değerleri ile karşılaştırılarak, Bimarhane'nin deprem performans düzeyleri belirlenmeye çalışılmıştır. Doğrusal olmayan analiz sonuçlarına göre Bimarhane'nin performans düzeyleri Tablo 5.3.'te özetlenmiştir.

Tablo 5.3. Doğrusal olmayan analiz sonuçlarına göre Bimarhane'nin deprem performans düzeyleri

Deprem Adı ve Yönü	Öteleme Oranı ve Sınır Durumu	Performans Düzeyi
Kahramanmaraş-Elbistan (E-W)	$39,28/8100\text{mm}=\%0,48$ $\%0,48 > \%0,3$	Sınırlı Hasar düzeyini aşmış ve Kontrollü Hasar (KH) düzeyinde.
Kahramanmaraş-Elbistan (N-S)	$1254,1/8100\text{ mm}=\%15$ $\%15 > \%1$	Göçme Öncesi sınırını aşmış, Göçme düzeyinde
Erzincan (1992) (E-W)	$32,174/8100\text{ mm}=\%0,40$ $\%0,40 > \%0,3$ 'ü	Sınırlı Hasar düzeyini aşarak, Kontrollü Hasar (KH) düzeyinde
Erzincan (1992) (N-S)	$244,51/8100=\%3,02$ $\%3,02 > \%1$	Göçme Öncesi sınırını aşmış, Göçme düzeyinde

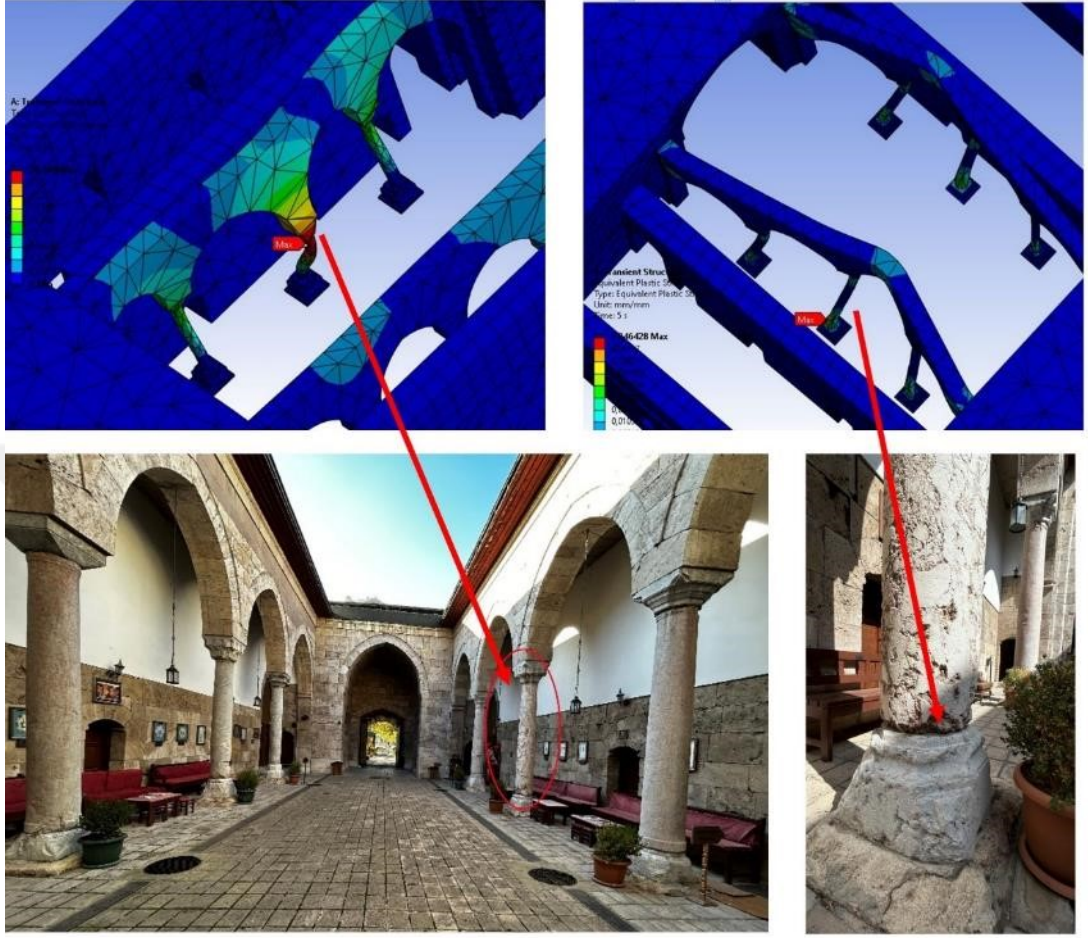
Doğrusal olmayan analiz sonuçlarına göre; Kahramanmaraş-Elbistan ve Erzincan (1992) depremlerinin etkisinde Doğu- Batı doğrultusundaki ötelenme oranlarına göre Bimarhane, Sınırlı Hasar düzeyini aşmış ve Kontrollü Hasar (KH) durumuna gelmiştir. Kontrollü Hasar performans düzeyinde, can güvenliğini sağlamak üzere bina taşıyıcı sistem elemanlarında çok ağır olmayan ve çoğunlukla onarılması mümkün olan hasarlar görülebilmektedir.

Kahramanmaraş-Elbistan ve Erzincan (1992) depremlerinin etkisiyle Kuzey-Güney doğrultusunda ötelenme oranlarına göre Bimarhane, Göçme Öncesi sınırını ($\%1$) aşmış, Göçme düzeyine geçmiştir. Bu performans düzeyi, bina taşıyıcı sistem elemanlarında ileri düzeyde ağır hasarın meydana geldiğini ve binanın kısmen veya tamamen göçmesi beklenmektedir.

5.5. Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Analizlerin Değerlendirilmesi

Yapılan doğrusal ve doğrusal olmayan analizlerin sonuçlarına göre gerilme ve deformasyonların yoğunlaştığı bölgelerin bütün analizlerde genel olarak aynı noktalar olduğu görülmektedir. Her üç depremde de yatay ötelenme değerlerine bakıldığında Bimarhane'nin özellikle Kuzey-Güney doğrultusunda daha zayıf olduğu görülmektedir. Gerilme ve deformasyonların yoğunlaştığı bölgeler olan: revakların orta açıklıkları, revak kemerini taşıyan orta sütunun üst ve alt ucu, revakların ön-arka duvarlarla mesnetlendikleri noktalar ve revakların arkasındaki uzun doğrultudaki hücre duvarlarının mesnet noktalarında, hücre duvarlarının ve revakların taşıdığı tonozların duvarlarla mesnetlendikleri noktalarda hasarların beklendiği söylenebilir.

Örneğin yapılan bütün analizlerde giriş soldaki revağın orta sütunun alt ve üst ucunda gerilmelerin yoğunlaştığı görülmektedir. Şekil 5.57. de sütun alt ucunda ezilme, parçalanma ve kopma gibi deformasyonların olduğu görülmektedir.



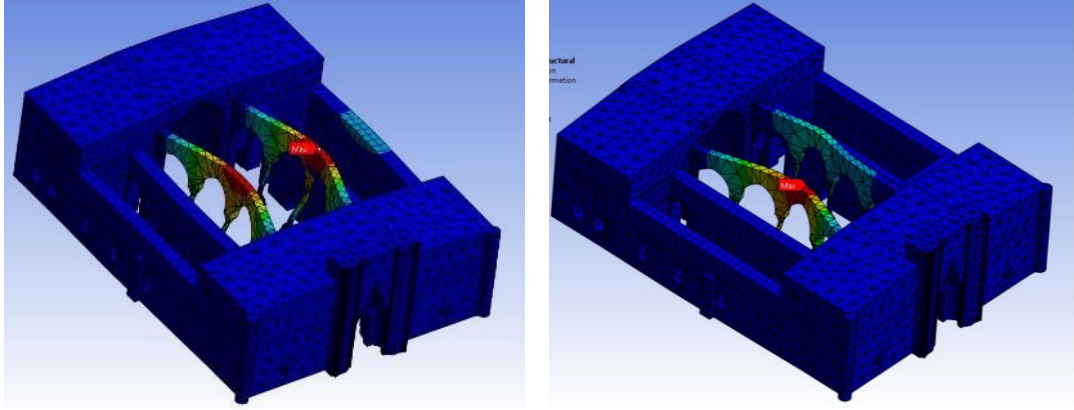
Şekil 5.57.Revağın orta sütununda oluşan gerilme ve deformasyonların gerçekte örtüşmesi

Şekil 5.58.de Revaklarda kullanılan sütunlar, sütun başları ve kaidelerinin hem boyutlarının hem de üsluplarının farklı olduğu görülmektedir. Bu da bazı malzemelerin devşirme olduğu düşüncesini oluşturmaktadır. Yapının simetrik yapısına rağmen bu elemanlardaki kesit değişimleri ve malzeme farklılıkları, mesnet noktalarındaki kuvvetlerin aktarımı açısından farklı gerilimlere sebep olmaktadır. Revak kemerlerinin üzengi noktalarında sütun başlarının geometrilerinin birbirlerinden farklı olmasından dolayı mesnet noktalarında derz boşalmaları ayrışmalar ve taşlarda parça kayıplarının olduğu gözlemlenmiştir. Aynı şekilde revak kemerlerinin üzerindeki duvarlarda kullanılan taşların farklı renklerde olması daha önce de revak duvarlarının bu kısımlarından hasar aldığını ve bu bölümlerdeki farklı taşlarla bütünleme yapıldığı anlaşılmaktadır. Kuzey-Güney doğrultusundaki

analizlerin çoğunda revak kemerlerinin üstündeki duvarın orta bölümlerinde gerilme ve deformasyonların yoğunlaştığı belirlenmiştir (Şekil 5.59.). Bulunan analiz sonuçlarıyla mevcut durumun (Şekil 5.58.) uyuşması analiz sonuçlarının doğruluğu ve güvenilirliğini artırmaktadır.



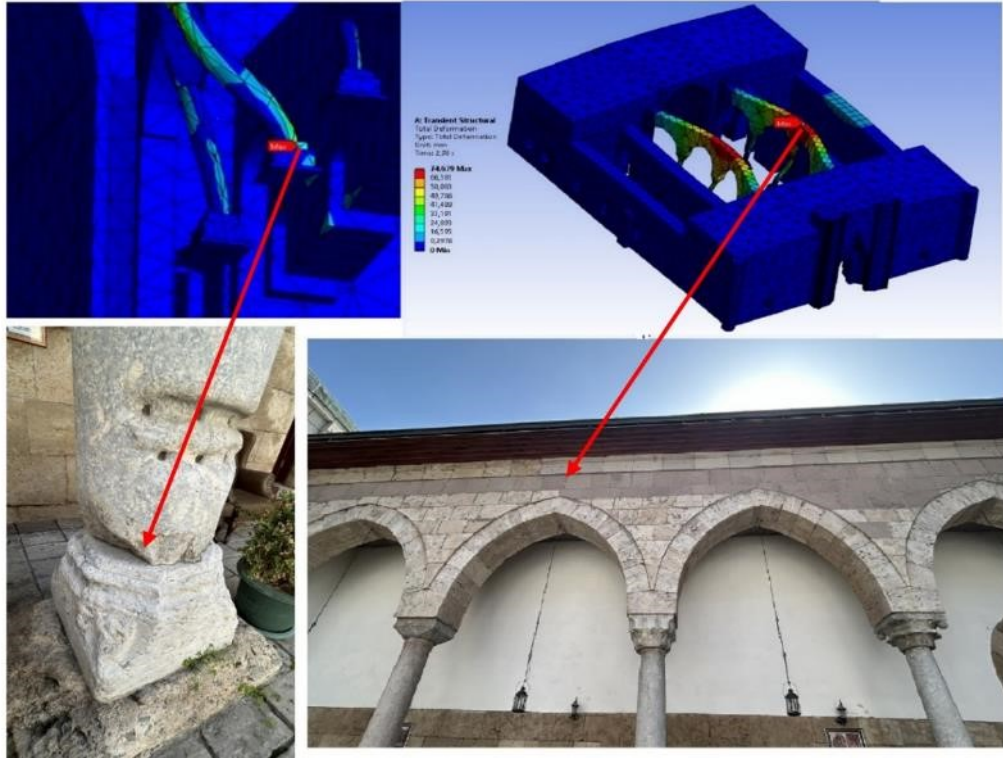
Şekil 5.58.Revaktaki sütun, sütun başlarının ve revak duvarındaki taşların farklı olması



Şekil 5.59.Revaktarın orta bölümlerinde görülen deformasyonlar

Kuzey-Güney doğrultusundaki analizlerde sağdaki revağın orta sütunun alt ucunda ve revak kemerlerinin üstündeki duvarın orta bölümlerinde gerilmelerin yoğunlaştığı ve mevcut durumda da orta sütunun devşirme olduğu üzerindeki

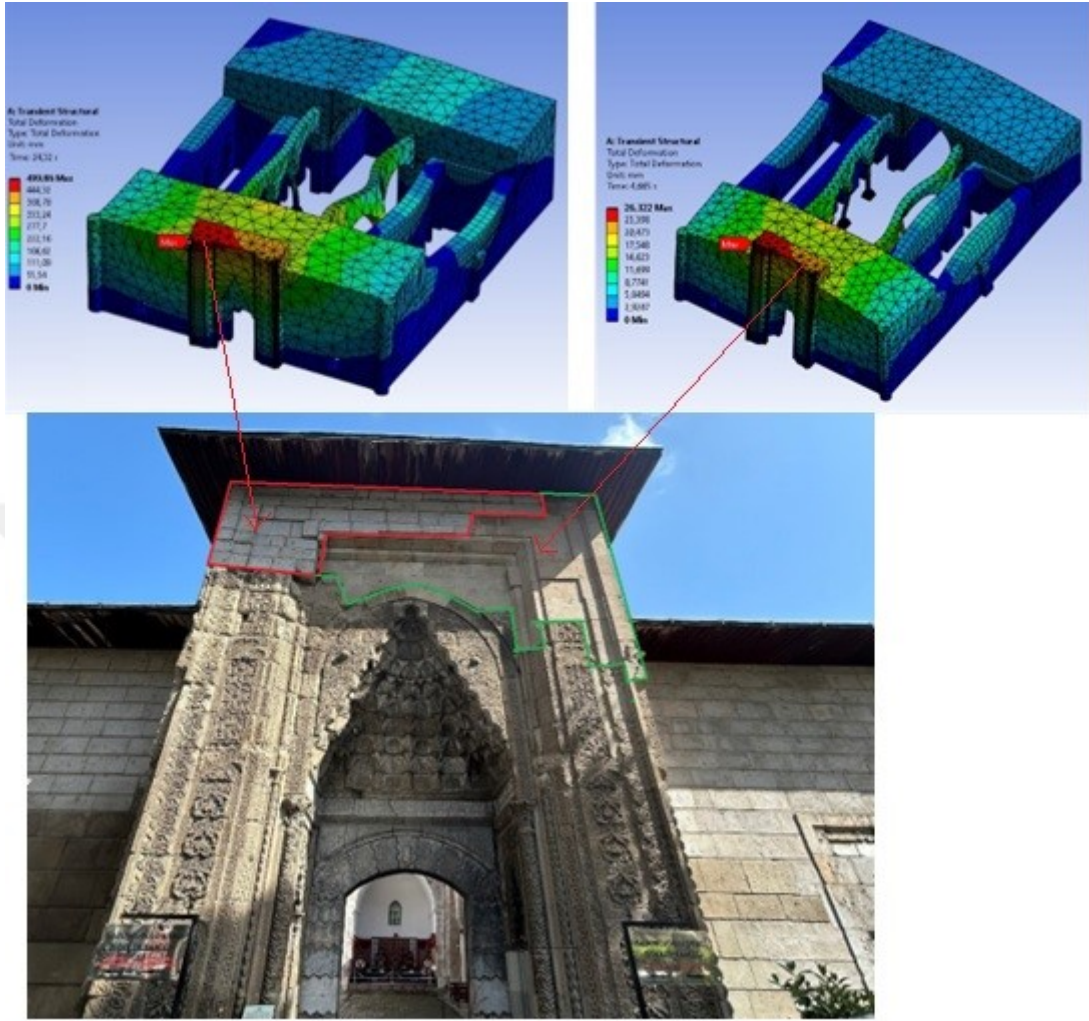
yuvalardan anlaşılmaktadır ayrıca sütunun alt ucunda kaideyle mesnetlendiği noktalarda ezilme, kopma sonucu kesitin daraldığı, kaide ve sütun mesnet noktasındaki derzler döküldüğü için kuvvet aktarımının sürekliliğin bozulduğu ve kayma gerilmelerine karşı emniyetsiz olduğu Şekil 5.60.'da görülmektedir. Ayrıca Kuzey-Güney doğrultusundaki analizlerde, sağdaki revağın duvarının üst orta bölümlerinde yatay ötelenmenin fazla olduğu görülürken, mevcut durumda da revak duvarlarındaki farklı renkteki taşlardan bu bölümlerden daha önce de hasar aldığı ve onarıldığı anlaşılmaktadır.



Şekil 5.60. Sağdaki revağın ortasındaki sütunun alt ucunda görülen deformasyonlar ve sağdaki revak duvarlarının üst bölümünde farklı dönemlere ait onarımlar

Doğrusal ve doğrusal olmayan analizlerde Doğu-Batı doğrultusundaki gerilme ve deformasyonların yoğunlaştığı bölgeler ise; özellikle taç kapının bulunduğu duvarın üst bölgelerinde, pencere açıklarının köşe noktalarında, giriş kapısının üst kemerinde, giriş ve ana eyvandaki tonozların mesnet noktalarında, revak kemerleri ile duvar birleşim bölgelerinde, revakları taşıyan sütunların üst ve alt uç birleşim bölgelerinde yoğunlaştığı görülmektedir (Şekil 5.61.). Şekil 5.61'de Bimarhane'nin giriş cephesindeki taç kapının bulunduğu duvarın üst bölgelerindeki hasarlı bölgelerin farklı dönemlerde onarımlar geçirdiği farklı renk taşlarla yapılan bütünlemelerden fark edilmektedir. Yapıyla ilgili olarak Vakıflar Arşivi'ndeki

kaynaklarda; revak kemer taşları, tonozlar ve özellikle taç kapının üst bölümündeki hasar ve onarımlardan bahsedilmektedir (İnan Ocak ve Tanyeli, 2019).



Şekil 5.61. Analizlerde bulunan taç kapının üst bölümündeki deformasyonlar ve Bimarhane'nin taç kapısının üst bölümündeki farklı dönemlere ait onarımlar

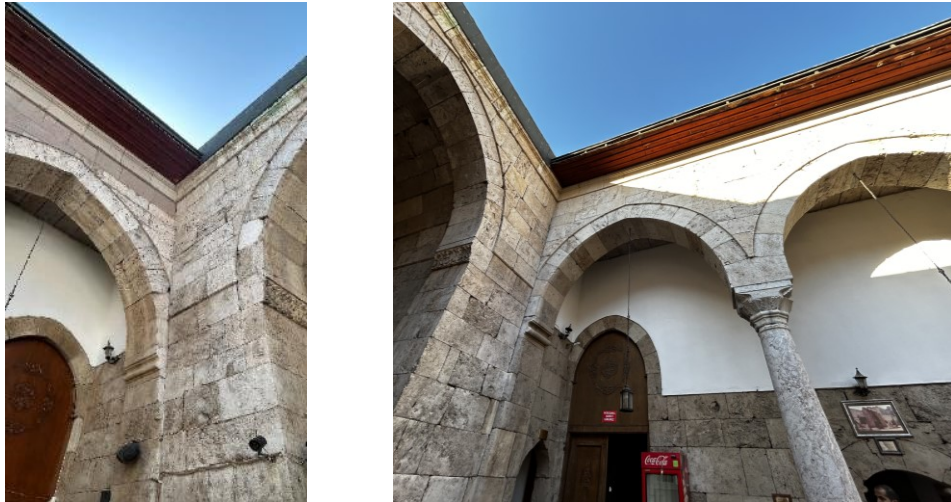
Bu tespitlere ek olarak analizlerde çıkan ve hasar görülen diğer bölgeler; pencere açıklıklarının çevresinde küçük çatlaklar ve derz açılmaları, giriş kapısının kemerinde ve üzerindeki kitabede çatlaklar, revakların mesnetlendiği duvarlarda derz açılmaları ve ayrışmalar görülürken ön cephe ile yan cephe duvarlarının birleşim bölgelerinde derz boşalmaları ve ayrışmalar olduğu görülmektedir (Şekil 5.62., Şekil 5.63. ve Şekil 5.64.)



Şekil 5.62. Giriş kapısının kemerinde ve üzerindeki kitabede görülen çatlaklar



Şekil 5.63. Giriş cephesi ile güney duvarının birleşim bölgelerindeki ayrışmalar



Şekil 5.64. Revakların duvarlarla birleşim bölgelerindeki ayrışmalar

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada yığma kâgir bir yapı olan Amasya Bimarhanesi'nin deprem performansını belirlemek amacıyla sonlu elemanlar yöntemi ile yapının üç boyutlu sayısal modeli oluşturulmuştur. Model üzerinde malzeme tanımlamaları yapılarak statik ve dinamik analizleri gerçekleştirilmiştir. Zaman-tanım alanında üç farklı gerçek deprem ivme kaydı kullanılarak doğrusal analizleri ve iki farklı deprem ivme kaydı kullanılarak doğrusal olmayan dinamik analizleri yapılarak, depremlerinin sebep olduğu dinamik davranışlar incelenerek, yer değiştirme, eşdeğer gerilme, asal çekme gerilmeleri ve kayma gerilmeleri hesaplanmış ve bulgular tartışılmıştır.

Bu çalışmada kabul edilen malzeme özelliklerine göre, elde edilen bulgular aşağıda özetlenmiştir:

- Statik analiz sonucunda:
 - Yatay yer değiştirmelerin revaklı bölümlerde meydana geldiği ve soldaki revağın orta bölümünde maksimum 4 mm değerine ulaştığı görülmekte statik durumda; yapının deprem performans düzeyinin “*Sınırlı Hasar*” düzeyinde kaldığı ve taşıyıcı sistemin güvenli olduğu söylenebilir.
 - Maksimum asal çekme gerilmelerinin revakların duvarlarla birleştiği mesnet noktaları ile revakların kemer açıklıklarında yoğunlaştığı 0,69 MPa olduğu, minimum asal gerilmelerin de revakları taşıyan sütunların mesnet bölgelerinde yoğunlaştığı ve -2,36 MPa olduğu, Eşdeğer gerilmelerin kemerleri taşıyan sütunlarda ve kaidelerin mesnet noktalarında yoğunlaştığı ve 2.2878 MPa değerine ulaştığı görülmüştür. Bu gerilme değerlerinin hepsi belirlenen dayanım değerlerinden büyük olduğu için bu bölgelerde uzun vadede hasarlar görülebileceği söylenebilir.
- Toplam kütle katılım oranı % 95 olacak şekilde yapılan modal analiz neticesinde:
 - Kuzey-Güney doğrultusunda ilk modlarda zorlanan bölümler revakların mesnet noktaları ve orta bölümleri iken, 3. ve 4. modda ise revakların arkasındaki hücre duvarlarının da yatay ötelenmesi ile bu bölümlerde de gerilme artışı ve büyük deformasyonların olması beklenmektedir.
 - Depremin doğu-batı doğrultusuna göre etkili olabilecek diğer mod şeklinde ise, öteleme hareketi ile giriş cephesinin duvarının yatay ötelenmeye zorlanması ile taç kapının üst bölümlerinde ve tonozların tepe noktalarında

deformasyonlar artmaktadır.

- Zaman tanım alanında doğrusal analizler neticesinde:
 - Kahramanmaraş-Pazarcık Depremi; hem Kuzey-Güney hem de Doğu-Batı doğrultusundaki ötelenme oranlarına göre performans düzeyi “*Göçme*” durumundadır.
 - Kahramanmaraş-Elbistan Depremi; Doğu-Batı doğrultusundaki ötelenme oranlarına göre “*Kontrollü Hasar*” düzeyinde, Kahramanmaraş-Elbistan Depremi; Kuzey-Güney doğrultusundaki ötelenme oranlarına göre “*Göçme*” durumundadır.
 - Erzincan (1992) Depremi Doğu-Batı doğrultusundaki ötelenme oranlarına göre “*Sınırlı Hasar*” düzeyinde, Erzincan (1992) Depremi Kuzey-Güney doğrultusundaki ötelenme oranlarına göre “*Göçme Öncesi*” hasar düzeyindedir.
- Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler neticesinde:
 - Kahramanmaraş-Elbistan ve Erzincan (1992) depremlerinin etkisinde Doğu-Batı doğrultusundaki ötelenme oranlarına göre Bimarhane’nin performans düzeyi, “*Kontrollü Hasar*” durumundadır. TBDY 2018’e göre Kontrollü Hasar (KH), can güvenliği sağlanmak üzere taşıyıcı sistem elemanlarında çok ağır olmayan ve genellikle onarılması mümkün olan hasar düzeyindedir.
 - Kahramanmaraş-Elbistan ve Erzincan (1992) depremlerinin etkisiyle Kuzey-Güney doğrultusunda ötelenme oranlarına göre Bimarhane’nin performans düzeyi, “*Göçme*” durumundadır. Bimarhane, yığma kâgir yapı olarak rijit davranış göstermektedir. Basınç dayanımı yüksek olmasına rağmen çekme dayanımı düşük olduğu için, depremde meydana gelen yatay kuvvetlerin etkisinde duvarlar kesme kuvveti ile zorlanır ve sünek olmayan bu davranışla zorlanan elemanların ani göçmelerine sebep olabilir.
- Doğrusal ve doğrusal olmayan analizlerin hepsinde de gerilme ve deformasyonların yoğunlaştığı bölgelerin genel olarak aynı noktalar olduğu görülmektedir. Her üç depremde de yatay ötelenme değerlerine bakıldığında Bimarhane’nin özellikle Kuzey-Güney doğrultusunda daha zayıf olduğu tespit edilmiştir. Gerilme ve deformasyonların yoğunlaştığı bölgeler olan: revakların orta açıklıkları, revak kemerini taşıyan orta sütunların alt ve üst uçları (sütun başı ve kaideyle birleştiği noktalar), revakların ön-arka duvarlarla mesnetlendikleri

noktalar ve revakların arkasındaki uzun doğrultudaki hücre duvarlarının mesnet noktalarında, hücre duvarlarının ve revakların taşıdığı tonozların duvarlarla mesnetlendikleri noktalarda hasarların beklendiği söylenebilir.

- Doğrusal ve doğrusal olmayan analizlerde Doğu-Batı doğrultusundaki gerilme ve deformasyonların yoğunlaştığı bölgeler ise; özellikle taç kapının bulunduğu duvarın üst bölgelerinde, pencere açıklarının köşe noktalarında, giriş kapısının üst kemerinde, giriş ve ana eyvandaki tonozların mesnet noktalarında, revak kemerleri ile duvar birleşim bölgelerinde, revakları taşıyan sütunların üst ve alt uç birleşim bölgelerinde yoğunlaştığı görülmektedir.

Yapıyla ilgili olarak Vakıflar Arşivi'ndeki (İnan Ocak ve Tanyeli, 2019) kaynaklara göre revak kemer taşlarının, tonozların ve taç kapının üst bölümündeki hasar ve onarımlarından bahsedilmektedir. Ayrıca mevcut durumda değişmiş veya tamamlanmış olan taşların yerleri incelendiğinde de bu çalışmada bulunan analiz sonuçlarındaki hasar alabilecek bölgelerle mevcut durumun örtüşüyor olması, çalışmanın doğruluğunu ve güvenilirliğini arttırmaktadır.

Elde edilen analizlerden çıkan sonuçlardan hareketle yapının hasar beklenen bölgelerinin güçlendirilmesi gerektiği kanaatine varılmıştır. Bu kapsamda hasar alacak bölgelere yönelik önerilen güçlendirme yöntemleri aşağıda verilmiştir:

- Mevcut durumda özellikle dış cephedeki taşlarda siyah kabukların oluştuğu ve taşlarda kabuklanıp soyulmaların olduğu, bu kesit kayıplarından kaynaklı olarak ön cephedeki bezemelerin detaylarının kaybolmaya başladığı görülmüştür. Ön cephe hariç diğer üç moloz taş duvar olan cephelerin temizliği mekanik veya kimyasal temizlik yöntemleri ile yapılabilir ancak ön cephedeki taş temizliğinde bezeme detaylarının kaybolmaması için daha hassas bir taş temizliğinin yapılması gerekmektedir.
- Bimarhane'nin özellikle Kuzey ve Batı cephelerinde zemindeki hatalı eğimden kaynaklı biriken yağmur suları duvar altlarında ve sütun kaidelerinin yüzeylerinde yosunlaşmalara sebep olduğu ve bitkilerin türediği görülmektedir. Zaman içinde yosun ve bitkiler üreyerek derzlerin ayrışmasına ve duvarın mukavemetinin zayıflamasına sebebiyet verecektir. Zemindeki sular duvar içerisinde kılcal yollarla ilerleyerek zaman içinde taş ve harcın fiziksel ve kimyasal yapısını zayıflatabilmektedir. Özellikle dış cephenin etrafındaki

zeminin eğimi yeniden düzenlenerek yağmur sularının drenajının sağlanması ve zemin sularının yapıdan uzaklaştırılması gerekmektedir.

- Yığma taşıyıcı elemanlardaki taşlarda ezilme, kırılma vb. kesit kaybı ile derzlerde yer yer boşalmalar görülmektedir. Yığma taşıyıcı elemanlardaki harç eksiklikleri ve yetersizliklerinden kaynaklanan dayanım kayıplarının giderilmesi için gerekli yerlere harç enjeksiyonu yapılması önerilmektedir.
- Yapının mevcut halinin gerekli performans seviyesine ulaşabilmesi için; yığma duvarların dayanımı artırmak amacıyla duvarların sıvalı olan iç yüzeylerine FRP şeritler yüzeye uygulanabilir ya da FRP ızgara donatılar kullanılabilir. Bu yöntemde FRP esaslı ızgara donatılar duvara yapışma mukavemeti yüksek olan doğal hidrolik kireç esaslı bir harç ile yapıştırılarak yığma kagir duvarların kayma dayanımı ve sünekliği artırılmış olacaktır. Sıvasız dış cephe duvarlarında ise yer yer görülen çimentolu harçlardan oluşan derzlerin boşaltılarak boşalan yere fiber çubukların yerleştirilip boş kalan derzler özgün harca uyumlu geleneksel harçla doldurması ile uygulama tamamlanır ve böylece özgün cephe düzeni bozulmamış olacaktır.
- Olası bir depremde ön cephede taç kapının üst bölümünde büyük ötelenmeler beklenmektedir mevcut durumda Bimarhane'nin taç kapısının üst bölümünde farklı zamanlarda yapılan bütünleme çalışmalarında farklı dönemlerde kullanılan farklı renkteki taşların özgün taşlarla geometrisinin de uyumsuz olduğu görülmektedir. Taç kapının bütünlemesi yeniden yapılırsa bu mimari hatalar da düzeltilebilir ve yeni duvar örgüsü yapılırken özgün duvara kenetlenmesi için duvar örgüsü içine donatılar eklenerek duvarın kayma dayanımı ve sünekliği artırılmış olacaktır.
- Olası deprem senaryosunda, yapının mevcut durumunda özellikle revaklarda göçmelerin önüne geçilmesi amacıyla revak kemerlerinin açılmasını önlemek için gergi çubuklarının kullanılması önerilmektedir. Revak kemerlerinin üzengi noktalarından gergi çubukları ile birbirine bağlanması yanal ötelenmeleri büyük ölçüde engelleyecektir. Ayrıca revak duvarlarının diğer duvarlarla birleşim noktalarında çelik L köşebentler ve ankrajlar kullanılarak yığma duvarlara bağlanması suretiyle süreklilik sağlanmış olur ve böylece deprem anında bu noktalarda oluşacak plastik deformasyonlar da engellenmiş olacaktır.

- Revakları taşıyan mermer sütunların özellikle orta sütunların uç kısımlarındaki ezilme ve dağılmaları engellemek ve narin yapıdaki sütunların kesme kuvvetlerine karşı dayanımı artırmak için çember şeklinde donatı ile sütunların sarılarak, dıştan ön gerilmeler verilerek güçlendirilmesi önerilmektedir.
- Revakları taşıyan mermer sütunların, sütun başı ve kaidelerinin farklı geometrilerde ve farklı malzeme özelliklerinde olmasından kaynaklı derz boşalması, taşlarda ezilme ve dağılma ile parça kaybı olan yerlerde taşlara sağlamlaştırma amaçlı enjeksiyon yapılması, mesnet noktalarındaki boşalan derzlere ise harç takviyesi önerilmektedir.
- Bir diğer hasar beklenen bölge olan tonozlarda sıvalı olan hücrelerdeki beşik tonozlara içten ve dıştan FRP şeritler sarılarak güçlendirme yapılabilir. Tonozların alt yüzeyi sıvalı üst yüzeyi ise çatı örtüsü ile kaplı olduğu için bu şeritler görünmeyecek ve özgünlüğü bozulmayacaktır. Böylece tonozlarda oluşabilecek ötelenmelerden kaynaklı hasarlar önlenmiş olacaktır. Sıvalı olmayan giriş ve ana eyvanın üzerindeki tonozlarda ise yanal ötelenmeyi önlemek için gergi çubukları kullanılabilir.

Önerilen güçlendirme yöntemlerinden hangilerinin uygulanabileceğine karar verilirken yapının tarihi özelliklerinin korunması önceliği ile fayda ve maliyet analizlerinin de yapılması büyük önem arz etmektedir.

Mimarlık ve Tıp tarihi açısından değerli olan Amasya Bimarhanesi 'nin gelecek nesillere aktarılması açısından yapının olası depremlere karşı dayanımı artırmak maksadıyla yapılacak restorasyonunda kullanılabilecek onarım ve güçlendirme yöntemlerinin seçimi açısından bu çalışmanın faydalı olabileceği düşünülmektedir.

Bu çalışmada tahribatsız yöntemler ve literatürde kullanılan değerler ve TYDRYK 2017 kılavuzu kullanılarak TDBY 2018'e göre deprem performansı belirlenmeye çalışılmıştır. Bir başka çalışmada ise tahribatlı deneysel yöntemler kullanılarak malzeme özellikleri belirlenip farklı yönetmeliklere göre değerlendirmeler yapılabilir.

KAYNAKLAR

- Ahunbay, Z. (1999). Tarihi Çevre Koruma ve Restorasyon. Yem yayınevi, İstanbul.
- Akan, A.E., Özen, G.Ö. (2005) "Bursa Yeşil Türbe nin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Deprem Analizi", Deprem Sempozyumu, 758-762pp, Kocaeli, Türkiye.
- Akgül, T., Apay, A., & Sarıbıyık, M., 2009. Ahşap birleşim bölgelerinin cam elyaf takviyeli plastiklerle güçlendirilmesi reinforcement of timber connection areas with glass fiber reinforced plastic. 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), 13-15 Mayıs 2009, Karabük, Türkiye
- Akdeniz, 2011. Tarihi Yapıların Lineer Olmayan Dinamik Analizi. Fırat Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 73s. Elazığ.
- Aköz, A. H. (2008). Deprem Etkisi Altındaki Tarihi Yığma Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- AKSOY, H. S., & KARATON, M. (2019). Tarihi Yığma Yapıların Malzeme Karakteristiklerinin Hasarsız Yöntemlerle Belirlenmesi: Diyarbakır Ulu Camii. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 8(1), 109-117.
- Alıcıoğlu M.B.,2012, Van İli Hasar Tespiti ve Deprem Yapılar Üstündeki Etkisi, 13.05.2016,<http://www.csb.gov.tr/iller/manisa/index.php?Sayfa=etkinlikdetay&Id=505>
- Altunok, H. (2022). Tarihi İshak Paşa Türbesi'nin Deprem Davranışının Sonlu Elemanlar Yöntemi Kullanılarak İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Amman. B., 2012, Tarihi Yapıların Hasar Onarım Tespiti ve Restorasyon Çalışmaları Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, Manisa.
- Anadolu Ajansı (2017). <https://www.aa.com.tr/tr/turkiye/tarihi-zeynel-bey-turbesinin-tasinma-islemi-basladi/816703> (12.05.2017)
- Anadut, H.,O. 2016. Tarihi Yapıların Dinamik Davranışlarının İncelenmesi. Yüksek lisans tezi, Bozok Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 80s,Yozgat.
- Arıoğlu E., Tokgöz N. (1993): "A Statistical Study on Relationships Between the Uniaxial Compressive and Tensile Strengths of Rocks", Geosound, No.23, p. 17-25, Adana.
- Arun G., 2005, Yığma Kagir Yapı Davranışı, YDGA 2005- Yığma Yapıların Deprem Güvenliğinin Arttırılması Çalıştayı, 17 Şubat, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 76-89.
- Ashurst, J., Ashurst N., (1990). Practical Building Conservation: English Heritage Technical Book, Volume 2: Brick,
- Bangash, M.Y.H. (1989) Concrete and Concrete Structures: Numerical Modelling and Applications,Middlesex Polytechnic Faculty of Engineering, Elsevier Applied Science, London.
- Baş, K. (2006). Temel takviye yöntemleri ve uygulamadan örnekler, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Başgöl, M. ve İlerisoy, Z. Y. (2021), Yeniden İşlevlendirme Kapsamında Tarihi Yapı Örneği; Kırşehir Cacabey Cami Analizi, Ahi Ervan Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 7 (1), s. 163- 182.

- Bayülke, N., (1999). Yapıların Onarımı ve Güçlendirilmesi İnşaat Mühendisliği Odası, İzmir Şubesi Yayın No: 15
- Bayülke, N., 2011, Yığma Yapıların Deprem Davranışı ve Güvenliği, 1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, 11- 14 Ekim, ODTÜ, Ankara, 23-36.
- Cantay, G. (1991). Amasya Darüşşifası. Türkiye Diyanet Vakfı İslam Ansiklopedisi (C.3,5-6) İstanbul.
- Celep, Z., Kumbasar, N., Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, İstanbul, 2004.
- Ceylan O. ve Ocakcan, T.K., 2013. Fatih Camii 2007-2012 Restorasyonu. Vakıf Restorasyon Yıllığı,2013, Sayı: 7
- Chamaky, R.Y. (2014) Tarihi Yığma Yapıların Deprem Analizi ve Uygun Güçlendirme Teknikleri. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Corradi, M., Grazini, A., Borri, A., 2007, Confinement of brick masonry columns with CFRP materials, Composites science and technology, 67(9), 1772-1783.
- Çamlıbel, A.N., 2000. Temellerin Takviyesi, Birsan Yayınevi, İstanbul.
- Çelik T., (2020). Tarihi Cami Kubbelerinde Güçlendirme Yöntemlerinin Deneysel Metotlarla İncelenmesi, Doktora Tezi. Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.Aksaray. 230s
- Çılı, F. ve Yıldız, H., 2013. Fatih camii ve I. Mahmut Kütüphanesi güçlendirme çalışmaları, Vakıflar Restorasyon Yıllığı, 7, 66-84.
- Dabanlı Ö.,2008. Tarihi Yığma Yapıların Deprem Performansının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Değirmenci İ. ve Sarıbıyık M., 2015.Tarihi Yapıların Güçlendirilmesinde Yenilikçi Yaklaşımlar ve FRP Malzemelerin Kullanımı. Conference: 3rd International Symposium On Innovative Technologies In Engineering And Science, Valencia
- Döndüren M.S., Şişik Ö., Demiröz A., (2017). Tarihi yapılarda görülen hasar türleri. Selçuk Üniversitesi Sosyal ve Teknik Araştırmalar Dergisi, Sayı: 13, 2017, ss. 45-58
- Durgunoğlu, H. T., Kulaç, H. F., Oruç, K., Öge, C. E. ve Eker, F. Ş. (1998). Jet Grout Yöntemi ile Zemin İyileştirmesi Üzerine Bir Uygulama, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 7. Ulusal Kongresi.
- Drucker, D.C., Prager, W. (1952). Soil Mechanics and Plastic Analysis or Limit Design, Quarterly of Applied Mechanics, 10 (1952), 157-165.
- Ercan, E. (2010). Tarihi Yığma Yapıların Güvenliklerinin Analitik ve Deneysel Yöntemlerle Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Erdoğan, M., 2008, In plane seismic strengthening of brick masonry walls using rebars, Master's thesis. Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Eren A.,2018. Tarihi Yapılardaki Kemerlerin Frp Kullanılarak Onarılması, Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi,Fen Bilimleri Enstitüsü,Aksaray.
- Ergun, U., 1994. Temel takviyesi ve eski eserlerin korunması, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği III. Ulusal Kongresi, ODTÜ, Ankara, s.887-917.
- Erkmen E. 2022. Tarihi Bir Kümbet Yapısı Üzerinde Dinamik Kimliklendirme Çalışması: Erzurum Üç Kümbetler Anonim-2 Kümbeti Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi. Erzurum Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.

- Erkul, B.(2018). Tarihi Yığma Yapıların Performans Analizi:Geleneksel Bayburt Evi Örneği, Yüksek Lisans Tezi. Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,183s, Bayburt.
- Ertekin, B. (2020). Mevcut bir yığma yapının sismik performansının belirlenmesi ve güçlendirme yöntemi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Cerrahpaşa
- Ertürk,E. (2020) Tarihi Çorum Saat Kulesi İçin Sahaya Özel Tasarım Spektrumlarının Oluşturulması ve TBDY-2018 Deprem Yer Hareketi Ölçeklendirme Yöntemlerine Dayalı Dinamik Davranışın İncelenmesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Eyüpgiller, K. K., & Zakar, L. (2015). Mimari Restorasyon Koruma Teknik ve Yöntemleri. İstanbul, Yapı Endüstri Merkezi Yayınları.
- Gabriel, A. (1934) Monuments Turcs d'Anatolie Tome Deuxieme Amasya, Tokat, Sivas, Libraire des Ecoles Françaises d'Athenes et de Rome 1,Paris.
- Gökçe, G. (2010). Kubbe Bezemeleri Koruma Ve Onarım Uygulamaları:Ayasofya, Restorasyon ve Konservasyon Çalışmaları Dergisi, (4), 48-79.
- Güzel, C.N., 2019. Urla helvacılar camindeki hasarın temel sebebinin yapısal model bazlı araştırılması ve güçlendirme önerisi, Yüksek Lisans Tezi, İzmir Yüksek Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü. İzmir.
- Hökelekli, E. (2015). Manisa Hafsa Sultan Camii Deprem Davranışının Operasyonel Modal Analiz Yöntemiyle İncelenmesi. Doktora Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa.
- Hutton, D.V., (2004). Fundamentals of The Finite Element Analysis, The Mc-Graw Hill Companies, London.
- İnan, Ocak, Z. ve Tanyeli, G. (2019), Amasya Bimarhanesi'nin Tamamlanamayan Taçkapısı, METU JFA (2019/2), s. 221-246.
- İzgi R.,2020. Tarihi Yapıların Yapısal Analizi: Diyarbakır Surları Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.
- Kara, H., G. (2009). Yığma yapıların Taşıyıcı Sistemleri, Güvenliğinin İncelenmesi, Onarımı ve Güçlendirmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kocaman, I., & Kazaz, I. 2024. Tarihi bir caminin hasar sınırlarının irdelenmesi, Konya Sultan Selim Cami örneği. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 39(1), 51-64.
- Koç, V. (2016). Depreme Maruz Kalmış Yığma ve Kırsal Yapı Davranışlarının İncelenerek Yığma Yapı Yapımında Dikkat Edilmesi Gereken Kuralların Derlenmesi. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2(1), 36-57. <https://doi.org/10.28979/comufbed.307874>
- Koçyiğit, F., 2022. "Sabuncuoğlu Şerefeddin Darüşşifası'nın Renovasyonu Üzerine Gözlemler". Amasya Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi / Özel sayı: Amasya Özel Sayısı (Eylül 2022): 27-48 .
- Köroğlu, Ç., Kudde, E., 2011, "Bir Ahşap Yapıda Koruma-Uygulama Metodolojisi 4", Restorasyon Konservasyon Çalışmaları
- Kumbasaroğlu, A., & Çelik, A. (2019). Eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılarak tarihi bir yığma yapının sismik performans düzeyinin belirlenmesi. *Erzincan University Journal of Science and Technology*, 12(3), 1590-1600.

- Küban, D. 1998. Mimarlık Kavramları. Yapı Endüstri Merkezi Yayınları, İstanbul, 91s.
- Küçük, C., 2010. Filibe Cuma camii'nin yapısal restorasyonu, Restorasyon ve Konservasyon Çalışmaları Dergisi, 5, 40-47.
- Lourenço, P.B.1996. Computational Strategies For Masonry Structures, Doctoral Dissertation, Universidade do Minho, Portekiz.
- Macabuag J., 2007. An introduction to modelling and retrofitting of non-engineered masonry buildings under seismic loading. MEng Research Report, Oxford University
- Menç, H. (2000). Tarih İçinde Amasya. 440s. Ankara.
- Mezrea, P.E., Yılmaz, İ., A. ve diğerleri. (2013). Tarihi Tuğla Duvarların Tekstil Donatılı Harç (TRM) ile Güçlendirilmesi. Dördüncü Tarihi Yapıların Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu, İstanbul.
- Mutlu Ö., 2015. Bursa Ulu Camii Ve Yeşil Camii'nin Dinamik Davranışlarının Değerlendirilmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Nayak, S., Dutta, S. C., 2016, Failure of masonry structures in earthquake: A few simple cost effective techniques as possible solutions, Engineering Structures, 106, 53-67.
- Oyguc, R., & Oyguc, E. (2017). 2011 Van earthquakes: lessons from damaged masonry structures. Journal of Performance of Constructed Facilities, 31(5), 04017062.
- Oyguç, R. A., (2017). 2011 Van depremlerinden sonra yığma yapılarda gözlemlenen hasarlar. Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 19 (2), 296-315.
- Özdemir, H.,(2018). Tarihi yapıların bilgisayar destekli analizi: Patara Antik Kent Tiyatrosu Sahne Yapısı Örneği. Yüksek Lisans Tezi. Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya.
- Özkaya S. G., 2013. Tek Açıklıklı Yığma Kemer Köprülerin (Ordu, Sarpdere Köprüsü) Göçme Yüklerinin Sonlu Elemanlar Yöntemi İle İncelenmesi.Yüksek Lisans Tezi. Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Özen O.,2021. Akseki Düğmeli Evlerin İncelenmesi ve Restorasyon Öncesi Malzeme Araştırması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Özgünler, S. A., Gürdal, E., Dünden Bugüne Toprak Yapı Malzemesi: Kerpiç, Restorasyon Konservasyon Dergisi, 9. Sayı, İstanbul
- Özkaya, S. G., & Özdemir, M. A. (2023). Erzurum İli Tarihi Muratpaşa Cami'sinin Sismik Değerlendirmesi. Mühendislikte Öncü Ve Çağdaş Çalışmalar, 187-203.
- Pekgökgöz, R. K., Gamze, İ. Z. O. L., AVCİL, F., & GÜREL, M. A. (2018). Şanlıurfa Ulu Cami Minaresi Yapı Taşının Elastisite Modülünün Ultra-sonik Test Cihazı Kullanılarak Belirlenmesi. Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi, 3(1), 35-45.
- Penelis, G., Venkov, V., Zambas, C., Csak, B., Popp, T., and Kuban, D., 1984. Repair and Strengthening of Historical Monuments and Buildings in Urban Nuclei, Building Construction under Seismic Conditions in the Balkan Region, Vienna.
- Saraç, M.M., 2003, Tarihi Yığma Kargir Yapıların Güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, İstanbul.
- Sarı, MS, 2008. Temellerin takviyesi ve uygulamadan örnekler, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- SAV, Murat, Kıvanç H. Kuşüzümü. "Restorasyon Çalışmaları Çerçevesinde Mihrimah Sultan Camii." Restorasyon Yıllığı Dergisi, 1 (2010): 46-55.

- Sesigür, H., Çelik, O.C. ve Çılı F., (2007). Tarihi Yapılarda Taşıyıcı Bileşenler, Hasar Biçimleri, Onarım ve Güçlendirme, İMO İstanbul Bülten, sayı: 89, sayfa: 10-21.
- Steiger, R. 2003. Fiber Reinforced Plastics (FRP) in Timber Structures. Wood Department EMPA, Dübendorf, Switzerland, 1-9.
- Şeker, B. Ş. (2017). Alaca Minare Mescidi Yapısal Performansının İncelenmesi . Vakıflar Dergisi , (48) , 137-143 . DOI: 10.16971/vakiflar.373734
- Şeker, B Ş and Büyükgüner, G 2021. An Assessment of the Performance of the Amasya Bayezid II Mosque Under Static and Dynamic Loads. Journal of Applied Engineering Sciences 11, 53-60. doi: doi:10.2478/jaes-2021-0008
- Şeker, B. Ş., & Noroozinejad Farsangi, E. (2022). Assessment of Structural Performance of a historical Mosque under Static and dynamic loads: Burmalı Mosque in Amasya, Turkey. *Journal of Building Pathology and Rehabilitation*, 7(1), 64.
- Tarun R., Naik T.R., Malhotra V.M., Popovics J.S. 2004. The Ultrasonic Pulse Velocity Method, In: V.M. Malhotra and N.J. Carino”, Edited 2004, Handbook on Nondestructive Testing of Concrete, Crc Press, 331s, New York.
- Tetik, T.(2015).Tarihi Yığma Yapıların Deprem Performansı Ve Güçlendirme Teknikleri, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Deprem Mühendisliği Ve Afet Yönetimi Enstitüsü,İstanbul.139s.
- Timur,T. 2001. Edirnekapı Mihrimah Sultan Camii Taşıyıcı Sistem Deprem Davranışının İncelenmesi.Yüksek Lisans Tezi.Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,48s, İstanbul.
- Tomaževič, M. 1999. Earthquake Resistant Design of Masonry Buildings, Singapore: Imperial College Press, 268 s.
- TYDRYK, 2018, Tarihi yapılar için deprem risklerinin yönetimi kılavuzu, T.C. Vakıflar Genel Müdürlüğü, İstanbul.
- Urak, G. (1994), Amasya'nın Türk Devri Şehir Dokusu ve Yapılarının Analiz ve Değerlendirmesi, (Yayımlanmamış Doktora Tezi), Gazi Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Ural, A. 2005. Tarihi Kemer Köprülerin Sonlu Eleman Metoduyla Analizi. Deprem Sempozyumu, Kocaeli, 408-413.
- Ural, A., Doğançün, A., Sezen, H. ve Angın, Z., Seismic performance of masonry buildings during the 2007 Bala, Turkey earthquakes, Natural Hazards, 60, 1013-1026, (2012).Ünay, A.İ., 2000. Tarihi Yapıların Depreme Dayanımı, ODTÜ, Ankara
- Ural, A. 2009. Yığma Yapıların Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Davranışlarının İncelenmesi, Doktora tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon. 230s.
- Uray A.,(2018). Tarihi Yapıların Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Analizinin İznik Yeşil Camii Örneğinde İncelenmesi, YÜKSEK LİSANS TEZİ. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,93s. Eskişehir.
- Uzdil O., 2020. Mevcut Tarihi Yığma Yapıların Sismik Performansının Belirlenmesi Ve Güçlendirme Yöntemi: İstanbul Üniversitesi Rektörlük Binası, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Lisansüstü Eğitim Enstitüsü,İstanbul.
- Üsküdar Belediyesi, <https://www.uskudar.bel.tr/tr/main/pages/mihrimah-sultan-camii/39>
- Venedik Tüzüğü (1964). Erişim 27/03/2024
http://www.icomos.org.tr/Dosyalar/ICOMOSTR_tr0243603001536681730.pdf

Wikipedia,https://tr.wikipedia.org/wiki/Amasya_Saray%C3%BCz%C3%BC_K%C4%B1%C5%9Flas%C4%B1 Erişim 20.12.2022

Wilson, E. L. 2018. Analysis Reference Manual for SAP2000. Berkeley, CA, USA: CSI, Computers and Structures.

Yıldızoğlu, H. (2019). Tarihi Yığma Yapıların Performans Analizi:Okul Binası Örneği, Yüksek Lisans Tezi. Bayburt Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 112s. Bayburt.

Yılmaz, P.,2006. Tarihi Yapıların Modellenmesi ve Deprem Güvenliklerinin Belirlenmesi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

Zakar, L. Ve Eyüpgiller K. K., (2015). Mimari Restorasyon Koruma Teknik ve Yöntemleri. İstanbul, Yapı Endüstri Merkezi Yayınları.

Zienkiewicz, Olek. C., Taylor, Robert. L., Zhu, J. Z., (2013). The Finite Element Method, Its Basis and Fundamentals



ÖZ GEÇMİŞ

Lale Yılmaz 1999'da Yozgat Atatürk Sağlık Meslek Lisesi'ni bitirdikten sonra Trakya Üniversitesi'nde hemşire olarak ilk görevine başladı. Hacettepe Üniversitesi Hemşirelik bölümünde lisans eğitimine devam edebilmek için naklen tayinle Hacettepe Üniversitesi'nde görevine devam etti. Yorucu ve yıpratıcı hemşirelik deneyiminin ardından Süleyman Demirel Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Tasarımı Öğretmenliği bölümünü okumak için çalışma hayatına Süleyman Demirel Üniversitesi'nde devam etti ve 2008 yılında Yapı Tasarımı Öğretmenliği'nden bölüm birincisi olarak mezun olduktan sonra SDÜ Eğitim Teknolojileri'nde yüksek lisansa başladı ve 2010 yılında hemşirelik mesleğiyle vedalaşarak, SDÜ Yalvaç Teknik Bilimler MYO' da İnşaat Teknolojileri Bölümü'nde Öğretim Görevlisi olarak akademisyenliğe başladı. 2015 yılından bu yana Amasya Üniversitesi Tasarım MYO Mimari Restorasyon bölümünde Öğretim Görevlisi olarak görev yapmaya devam etmektedir. 2017 yılında Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. 2024 yılında OMÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Programını bitirdi. Orta derecede İngilizce bilmektedir.

Geleneksel El Sanatları (Tezhip, Çini, Kalemşi) , Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD), 3D Mimari Modelleme alanlarında kendini geliştirmiştir. AutoCAD, SketchUp, Vray, SolidWorks, ideCAD, ANSYS programlarına hâkim olup, yaratıcı düşünme ve problem çözme becerilerine sahiptir. Haziran/2024

İletişim Bilgileri

ORCID ID : 0000-0003-3480-6208

Yayınlar:

1. Yılmaz L., 2016. Teknoloji Destekli Eğitimde Uygulanan Sınıf Yönetim Modelleri, 5th International Vocational Schools Symposium,18-20 May, 2016, Prizren/Kosovo.
2. Yılmaz L., Karaca Z., 2023. Kahramanmaraş Depremi (6 Şubat 2023) Verileri Işığında Amasya Bimarhanesi'nin Deprem Performansının Belirlenmesi, 6. Uluslararası Mühendislik Bilimleri ve Multidisipliner Yaklaşımlar Kongresi, 03.12.2023, İstanbul.

Projeler:

1. Amasya Kaleköy ve Şeyhler Köyü Ahşap Camileri Rölöve Çalışması
Görevi : Araştırmacı, Yıl : 2015, Amasya Üniversitesi BAP Projesi