



**TARİHİ GAZİANTEP HÜSEYİN PAŞA CAMİ HASAR ALMIŞ VE KİSMİ  
YIKILMIŞ MİNARESİNİN DEPREM ÖNCESİ VE SONRASI VOKSEL  
MODELLE MODELLENMESİ, İÇERİDEN YAPILACAK ÇELİK  
TAŞIYICI SİSTEMLE ONARIMI VE DİRİLTİLMESİ**

**Miraç PEHLİVANOĞLU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ŞUBAT 2025**

## ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
  - Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
  - Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
  - Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
  - Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,
- bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Miraç PEHLİVANOĞLU

27/02/2025

TARİHİ GAZİANTEP HÜSEYİN PAŞA CAMİ HASAR ALMIŞ VE KISMİ YIKILMIŞ  
MİNARESİNİN DEPREM ÖNCESİ VE SONRASI VOKSEL MODELLE  
MODELLENMESİ, İÇERİDEN YAPILACAK ÇELİK TAŞIYICI SİSTEMLE ONARIMI  
VE DİRİLTİLMESİ  
(Yüksek Lisans Tezi)

Miraç PEHLIVANOĞLU

GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Şubat 2025

ÖZET

Tarihi yapılar ülkelerin kültürel mirasları arasında önemli bir yer tutmaktadır. Deprem gibi doğal afetlerde yıkılan tarihi ve kültürel taşınmazlar milli mirasımızdan kaybettiğimiz değerlerdir. Bu değerleri korumak ve geleceğe taşımak önem arz etmektedir. Bu çalışmada 6 Şubat 2023'te Kahramanmaraş'ta gerçekleşen yıkıcı depremlerin ardından 9 m.'lik kısmı yıkılan Gaziantep'te bulunan Hüseyin Paşa Camii minaresi için deprem öncesi ve deprem sonrası yapı durumu incelenmiştir. Minarenin yeniden kullanılabilir hale getirilmesine yönelik içten çelik takviye yöntemi önerilmiş ve bu yöntemin analitik sonuçları sunulmuştur. Önerilen yöntem hem statik açıdan incelenmiş hem yapının yıkılmadan önceki halini yaşatmak için yapılacak restorasyon çalışmaları için zemin oluşturması amaçlanmıştır. Minarenin deprem öncesi durumu analiz edilmiş ve yıkımın minarenin bitişinde bulunan caminin deprem sırasında minarede oluşan ötelenmeleri kürsü hizasında engellemesi, minarenin üst kısmında yer değiştirmelerin artmasına neden olmuş ve yıkım gerçekleşmiştir. Önerilen çelik takviye yöntemi minarenin gelecek depremlere karşı dayanımı artırılmış ve yıkımın olduğu 9 m.'lik üst kısım için restorasyon çalışmalarında yapılması planlanan aslına uygun kaplama içinde taşıyıcı sistem görevini üstlenmesi sağlanmıştır.

Bilim Kodu : 91104  
Anahtar Kelimeler : Restorasyon, onarım, diriltme, çelik, cami, deprem, yığma, voksel, tarihi yapılar  
Sayfa Adedi : 77  
Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Yusuf DEMİREL

MODELING THE DAMAGED AND PARTIALLY COLLAPSED MINARET OF THE  
HISTORICAL GAZIANTEP HÜSEYİN PAŞA MOSQUE BEFORE AND AFTER THE  
EARTHQUAKE USING VOXEL MODELING, AND ITS REPAIR AND  
RESTORATION WITH AN INTERNAL STEEL SUPPORTING SYSTEM

(M. Sc. Thesis)

Miraç PEHLİVANOĞLU

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

February 2025

ABSTRACT

Historical structures occupy an important place among the cultural heritages of nations. The historical and cultural immovable properties destroyed in natural disasters such as earthquakes are values lost from our national heritage. Preserving these values and transmitting them to the future is of paramount importance. In this study, the pre- and post-earthquake conditions of the Hüseyin Pasha Mosque minaret located in Gaziantep—which suffered a 9-m collapse following the destructive earthquakes that occurred in Kahramanmaraş on February 6, 2023—were examined. An internal steel reinforcement method was proposed to restore the minaret to a usable condition, and the analytical results of this method were presented. The proposed method was evaluated from a static perspective and is intended to serve as the basis for restoration work aimed at reviving the structure’s pre-collapse state. The pre-earthquake condition of the minaret was analyzed, and it was found that the collapse occurred because the adjacent mosque inhibited the displacements in the minaret at the level of the pulpit during the earthquake, which caused increased displacements in the upper part of the minaret and resulted in the collapse. The proposed steel reinforcement method increased the minaret’s resistance against future earthquakes and ensured that, within the original-like cladding planned for the restoration works of the collapsed 9-m upper section, a load-bearing system is provided.

Science Code : 91104  
Key Words : Restoration, repair, resurrection, steel, mosque, earthquake,  
masonry, voxel, historical structures  
Page Number : 77  
Supervisor : Assist. Prof. Dr. Yusuf DEMİREL

## TEŞEKKÜR

Tez alışman sũresince yardım ve y¶nlendirmelerinden ¶tũrũ Dr. ¶đretim Őyesi Yusuf DEMİREL'e, uzun alışma saatlerimi anlayışla karşılayıp desteklerini esirgemeyen Hayrunisa PEHLİVANOğLU'na ve babasıyla geireceği vakitleri sabırla bekleyen kızım Nil Vera PEHLİVANOğLU'na ve eğitimim iin ellerindeki tũm imkanları sonuna kadar kullanan, desteklerini hi eksik etmeyen değerli aileme teőekkũrlerimi sunarım.



## İÇİNDEKİLER

|   | <b>Sayfa</b> |
|---|--------------|
| ÖZET .....  | iv           |
| ABSTRACT.....   | v            |
| TEŞEKKÜR.....   | vi           |
| İÇİNDEKİLER .....   | vii          |
| ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....   | ix           |
| ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....   | x            |
| RESİMLERİN LİSTESİ.....   | xii          |
| HARİTALARIN LİSTESİ.....  | xiii         |
| SİMGELER VE KISALTMALAR.....  | xiv          |
| 1. GİRİŞ.....   | 1            |
| 2. YAPILARDA GÜÇLENDİRME, ONARIM VE DİRİTLME VE<br>TARİHİ YIĞMA YAPILARDAKİ YERİ..... | 7            |
| 2.1. Yığma Yapılar.....   | 7            |
| 2.2. Gaziantep Yöresi Yığma Tarihi Yapıların Malzeme Özellikleri.....                 | 10           |
| 2.3. Yığma Yapıların Davranışı.....   | 13           |
| 2.4. Tarihi Yığma Yapılarda Güçlendirme ve Diriltme Yöntemleri.....                   | 14           |
| 2.5. Tarihi Yapılarda Modelleme Teknikleri.....                                       | 17           |
| 2.5.1. Detaylı mikro modelleme.....   | 18           |
| 2.5.2. Basitleştirilmiş mikro modelleme.....  | 19           |
| 2.5.3. Makro modelleme.....   | 20           |
| 2.5.4. Voksel modelleme.....  | 20           |
| 3. HÜSEYİN PAŞA CAMİ MİNARESİNİN İRDELENMESİ.....                                     | 25           |
| 3.1. Hüseyin Paşa Camii Tarihi.....   | 25           |
| 3.2. Gaziantep'in Depremselliği.....  | 27           |
| 3.3. Gaziantep Bölgesindeki Tarihi Depremler.....                                     | 28           |

|  | <b>Sayfa</b> |
|--|--------------|
| 3.4. 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Depremi .....                            | 29           |
| 3.4.1. Deprem verileri .....   | 32           |
| 3.5. Minare Özellikleri Üzerine Yapılan Çalışmalar .....                 | 36           |
| 3.6. Pazarcık Depremi Öncesi Hüseyin Paşa Cami Minaresinin Durumu .....  | 42           |
| 3.7. Pazarcık Depremi Sonrası Hüseyin Paşa Cami Minaresinin Durumu ..... | 46           |
| 4. ANALİTİK ÇALIŞMA VE DEĞERLENDİRME .....                               | 55           |
| 4.1. Minarenin Yıkım Öncesi Durumu Analizi .....                         | 55           |
| 4.2. Minarenin Onarım ve Diriltme Sonrası Analizi .....                  | 60           |
| 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....  | 69           |
| KAYNAKLAR .....  | 73           |
| ÖZGEÇMİŞ .....   | 77           |

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

| Çizelge   | Sayfa |
|---|-------|
| Çizelge 3.1. TK.2703 istasyon bilgileri .....                           | 33    |
| Çizelge 3.2. Tek eksenli basınç deneyi sonuçları .....                  | 41    |
| Çizelge 3.3. Yarmada çekme deneyi sonuçları.....                        | 41    |
| Çizelge 4.1. Minare modları ve tepe noktası yer değiştirmeleri .....    | 58    |
| Çizelge 4.2. Diriltme sonrası minare modları ve yer değiştirmeleri..... | 64    |
| Çizelge 4.3. HEA120 mekanik özellikleri .....                           | 67    |



## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

| <b>Şekil</b>  | <b>Sayfa</b> |
|---|--------------|
| Şekil 2.1. Mimar Sinan'ın su getirme kemerleri .....                                | 8            |
| Şekil 2.2. Tipik taş yığma duvar, köşe ve birleşimi yapımı .....                    | 8            |
| Şekil 2.3. Tipik tuğla duvar, köşe ve birleşimi yapımı .....                        | 9            |
| Şekil 2.4. Yığma yapılarda tipik donatılandırma .....                               | 9            |
| Şekil 2.5. Çatlakların doldurulması .....   | 16           |
| Şekil 2.6. Yığma yapılarda düşey çatlakların onarımı .....                          | 16           |
| Şekil 2.7. Destek payanda duvarlar .....  | 17           |
| Şekil 2.8. Detaylı mikro modelleme yöntemi .....                                    | 19           |
| Şekil 2.9. Basitleştirilmiş mikro modelleme yöntemi .....                           | 19           |
| Şekil 2.10. Makro modelleme yöntemi .....   | 20           |
| Şekil 2.11. Karasal lazer tarayıcı ölçüm yerleri .....                              | 21           |
| Şekil 2.12. Plan düzleminde dilimleme .....   | 22           |
| Şekil 2.13. Elde edilen dilimler.....   | 22           |
| Şekil 2.14. Dilimleri üst üste yerleştirme .....                                    | 23           |
| Şekil 2.15. Voksel modeli .....   | 23           |
| Şekil 3.1. Avrasya, Afrika ve Arap Levhaları arasındaki Göreceli Hareketler .....   | 27           |
| Şekil 3.2. MTA Türkiye diri fay haritası .....                                      | 28           |
| Şekil 3.3. TK.2703 istasyonu ve minarenin konumlarını gösteren uydu görüntüsü.....  | 33           |
| Şekil 3.4. TK.2703 istasyonu Pazarcık depremi E doğrultusu ivme.zaman grafiği ..... | 34           |
| Şekil 3.5. TK.2703 istasyonu Pazarcık depremi N doğrultusu ivme.zaman grafiği.....  | 34           |
| Şekil 3.6. TK.2703 istasyonu Pazarcık depremi U doğrultusu ivme.zaman grafiği.....  | 34           |
| Şekil 3.7. TK.2703 istasyonu Elbistan depremi E doğrultusu ivme.zaman grafiği.....  | 35           |
| Şekil 3.8. TK.2703 istasyonu Elbistan depremi N doğrultusu ivme.zaman grafiği ..... | 35           |
| Şekil 3.9. TK.2703 istasyonu Elbistan depremi U doğrultusu ivme.zaman grafiği ..... | 35           |
| Şekil 3.10. Analitik modeldeki zaman tanım verileri .....                           | 36           |

| <b>Şekil</b>   | <b>Sayfa</b> |
|--|--------------|
| Şekil 3.11. Minare kesme taşı tipik kesiti ve tipik minare halkası .....                               | 38           |
| Şekil 3.12. Minare tipik kesiti.....   | 38           |
| Şekil 3.13. Deprem sonrası minare ve cami nokta bulutu modeli ile Pazarcık depremi doğu.batı yönü..... | 46           |
| Şekil 3.14. Yapı anahtar planı.....  | 47           |
| Şekil 3.15. I kesiti (solda) ve II kesiti (sağda) .....  | 48           |
| Şekil 3.16. III kesiti (solda) ve IV kesiti (sağda) .....  | 48           |
| Şekil 3.17. Ön görünüşü (solda) ve arka görünüşü (sağda) .....   | 49           |
| Şekil 3.18. Sol görünüş (solda) ve sağ görünüş (sağda) .....   | 49           |
| Şekil 3.19. Nokta bulutu verilerinden çıkarılan rölöveler.....   | 50           |
| Şekil 4.1. Sap2000 yazılımı katı elemanın bileşenleri.....   | 55           |
| Şekil 4.2. Voksel model oluşturma aşamaları.....   | 56           |
| Şekil 4.3. Voksel Sap2000 modeli 3d görünüşü.....  | 57           |
| Şekil 4.4. Voksel Sap2000 modeli değişen kat kesitleri.....  | 57           |
| Şekil 4.5. Minare modları ve toplam yer değiştirmeleri .....   | 58           |
| Şekil 4.6. Minare S33 düşey eksenel gerilmeleri, MPa .....   | 59           |
| Şekil 4.7. Minare için önerilen çelik takviye 3D görsel modeli .....                                   | 60           |
| Şekil 4.8. Çelik kolon yerleşimi.....  | 61           |
| Şekil 4.9. Spiral delikli çelik levha ve minare kesiti.....  | 62           |
| Şekil 4.10. Onarılan kısım için tipik onarım detayı.....   | 62           |
| Şekil 4.11. Yıkılan kısım için taş levha detayı.....   | 63           |
| Şekil 4.12. Çelik kolon mesnet detayı .....  | 64           |
| Şekil 4.13. Diriltme sonrası minare modları ve toplam yer değiştirmeleri.....                          | 65           |
| Şekil 4.14. Diriltme sonrası minare S33 düşey eksenel gerilmeleri, MPa.....                            | 66           |
| Şekil 4.15. Profil özelliklerinin gösterimi.....   | 67           |
| Şekil 4.16. Diriltme sonrası sac S22 eksenel gerilmeleri, MPa.....                                     | 68           |

## RESİMLERİN LİSTESİ

| <b>Resim</b>   | <b>Sayfa</b> |
|--|--------------|
| Resim 2.1. Hüseyin Paşa Cami Minaresi'nde keymik taşı akçe geçmez derz kullanılması..... | 13           |
| Resim 3.1. 1890 yılında Camii ve minarenin görünüşü.....                                 | 25           |
| Resim 3.2. Yıkılan kubbe ve minarenin 1920 yılındaki görünüşü .....                      | 26           |
| Resim 3.3. Farklı zamanlarda inşa edilen şerefe motifleri.....                           | 26           |
| Resim 3.4. Deprem sonrası bölgeden çekilen görüntüler .....                              | 32           |
| Resim 3.5. Camiden alınan karot numuneleri.....  | 39           |
| Resim 3.6. a) Tek eksenli basınç testi, b) Yarmada kesme testi.....                      | 40           |
| Resim 3.7. Kürsü içi düzensiz dolgu görüntüsü.....                                       | 42           |
| Resim 3.8. Cami ve minarenin plan görüntüsü.....   | 43           |
| Resim 3.9. Minarenin 2016 yılındaki bir görüntüsü .....                                  | 43           |
| Resim 3.10. Güney cephedeki yağmur iniş borusu.....                                      | 44           |
| Resim 3.11. Güney cephede yosun oluşumu .....  | 45           |
| Resim 3.12. Minare merdiven ve kaidesindeki çatlaklar .....                              | 45           |
| Resim 3.13. Minarenin kalan kısmı ve hasar gören alt kısım.....                          | 51           |
| Resim 3.14. Minarenin depremden sonraki durumu.....                                      | 52           |
| Resim 3.15. Minarenin cami üzerine yıkılan parçaları .....                               | 52           |
| Resim 3.16. Minare gövdesinde derz açılmaları.....                                       | 53           |
| Resim 3.17. Kopan minare parçalarının cami kubbesine hasarı .....                        | 53           |
| Resim 3.18. Hasar alan kubbeye güvenlik iskelesi uygulaması .....                        | 54           |

## HARİTALARIN LİSTESİ

| <b>Harita</b>   | <b>Sayfa</b> |
|---|--------------|
| Harita 3.1. 1900 yılı ile 6 Şubat 2023 tarihleri arasında büyüklüğü 6,0 üzeri gerçekleşen depremler (AFAD)..... | 29           |
| Harita 3.2. Pazarcık Depremi merkez üssü (AFAD) .....   | 30           |
| Harita 3.3. Elbistan Depremi merkez üssü (AFAD).....  | 30           |
| Harita 3.4. 6 Şubat-6 Mayıs 2023 arası deprem ve artçı şok aktiviteleri (AFAD) .....                            | 31           |



## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

### Simgeler

### Açıklamalar

|                       |   |
|-----------------------|---|
| <b>A</b>              | Alan  |
| <b>cm</b>             | Santimetre  |
| <b>d</b>              | Çap   |
| <b>g</b>              | Yer çekimi ivmesi                                       |
| <b>kN</b>             | Kilo Newton   |
| <b>l</b>              | Yükseklik   |
| <b>mm</b>             | Milimetre   |
| <b>MPa</b>            | Mega paskal   |
| <b>N</b>              | Newton  |
| <b>PGA</b>            | En büyük yer ivmesi [g]                                 |
| <b>PGV</b>            | En büyük yer hızı [cm/sn]                               |
| <b>S<sub>1</sub></b>  | 1,0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı  |
| <b>S<sub>D1</sub></b> | 1,0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı |
| <b>S<sub>DS</sub></b> | Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı            |
| <b>S<sub>s</sub></b>  | Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı             |
| <b>TSİ</b>            | Türkiye saati ile (UTC+3)                               |

### Kısaltmalar

### Açıklamalar

|               |  |
|---------------|--|
| <b>AFAD</b>   | Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı     |
| <b>ICOM</b>   | Uluslararası Müzeler Konseyi               |
| <b>ICOMOS</b> | Uluslararası Anıtlar ve Sitler Konseyi     |
| <b>MTA</b>    | Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü      |
| <b>TADAS</b>  | Türkiye İvme Veri Tabanı ve Analiz Sistemi |

## 1. GİRİŞ

Tarihi yapıların kavramı ve korunmasının amacı ile ilgili olarak ICOMOS (Uluslararası Anıtlar ve Sitler Konseyi) tarafından 1964 yılında hazırlanan Venedik Tüzüğü'nün ilk üç maddesi şöyledir;

Tarihi anıt kavramı sadece bir mimari eseri içine almaz, bunun yanında belli bir uygarlığın, önemli bir gelişmenin, tarihi bir olayın tanıklığını yapan kentsel ya da kırsal bir yerleşmeyi de kapsar. Bu kavram yalnız büyük sanat eserlerini değil, ayrıca zamanla kültürel anlam kazanmış daha basit eserleri de kapsar. Anıtların korunması ve onarımı için, mimari mirasın incelenmesine ve korunmasına yardımcı olabilecek bütün bilim ve tekniklerden yararlanılmalıdır. Anıtların korunmasında ve onarılmasındaki amaç, onları bir sanat eseri olduğu kadar, bir tarihi belge olarak da korumaktır [1].

Depremlerin yıkıcı ve hasar verici etkileri diğer yapılarda olduğu gibi tarihi ve kültürel yapılar üzerinde de ağır etkiler bırakabilir. Yapıldığı dönemden beri insanlara hizmet veren bu yapılar yıllarca ayakta kaldıktan sonra, depremlerde hasar görmüş veya yıkılmıştır. Kültürel miras olarak bu yapıların onarılması, güçlendirilmesi ve diriltilmesi insanlık için önem arz etmektedir.

Özellikle deprem, kullanım amacının değişmesi, çevresel etmenler, yangın ve yanlış güçlendirme yöntemlerinin uygulanması gibi nedenlerle hasar görmüş tarihi yapıların, hasarlarının giderilip gelecekte olası hasarlar içinde önlemlerin alınması kültürel varlıkların korunması ve değerlendirilmesi kapsamı içindedir.

Mezopotamya; Sümerliler, Akadlar, Babiller, Asurlar gibi Anadolu, Hitiler, Frigler, Lidyalılar, Urartular gibi medeniyetlerin tarihler boyunca yaşadığı ve geliştiği bir coğrafya olmuştur. Geçmiş dönemlerden günümüze birçok medeniyet hayat bulmuş ve sonrasında değişim geçirmiştir. Her dönem kendine özgü kültürel etkisini buldukları topraklara miras olarak bırakmıştır. Göbeklitepe, Anzavur Kalesi, Ur Zigguratu, Siirt Ulu Cami, Malabadi Köprüsü gibi miras kalan bu kültürel varlıkların korunması, yaşatılması ve geleceğe de miras bırakılması için çalışmalar yapılmış ve günümüzde de bu çalışmalar sürdürülmektedir.

Osmanlı Devleti döneminde, kültürel varlıkların bakım ve onarımında vakıflar önemli roller üstlenmişlerdir. Devlet ve mülhak vakıfları büyük önem arz etmekteydi, bu nedenle özel imtiyazlar verilmiştir. Bunların başında vergiden muaf olması ve devlet tarafından korunmaya alınması gelir. Bu amaçla kurulan vakıflar kamu kullanımı için yapılan tesislerin varlığını uzun seneler sürdürmesini sağlayama çalışmışlardır. Her vakfın kendine ait olan vakfiyesinde yapı onarımlarından söz edilmemiş olsa dahi, vakıfların işleyişinin tabi olduğu fıkıh hükümleri gereği gerekli onarım ve bakımlarının yapılması zorunludur [2]. Vakıf harcamalarında vakıf yapılarının bakımı ve onarımı öncelikli ödemeler olarak belirlenmiştir. Öyle ki vakıf harcamaları içinde görevlilerin maaş ödemeleri vakfın üstelendiği varlıkların onarım giderlerinin karşılanmasından sonra yapılmıştır [3]. Osmanlı döneminde batılılaşma süreci ile birlikte eski eserlerin (asar-ı atika) korumasına yönelik ilk yasal düzenleme 1869 yılına ait “Arazi Kanunnamesi” ile yapılmıştır. Bu düzenlemeden önce taşınmaz eski eserler vakıflara, özel kişilere veya devlete ait olarak görülmüştür. Sahipsiz arazi üzerinde bulunan ve kimseye ait olmayan taşınmaz eski eserler ise halkın faydalanmasına nispeten korumasız şekilde açık bırakmıştır. Bu nedenle vakıfa ait olan eserler diğer eserlere göre daha iyi korunabilmiştir. Düzenleme ile taşınabilir tarihi eserlerin ülkede kalması ve taşınamaz tarihi eserlerde yapılacak çalışmaların izine tabi olması amaçlanarak eserlerin korunması ile ilgili temeller atılmıştır. 1877 senesinde “Ebniye-i Emiriye (Kamu Yapıları) ve Vakfiye İnşaat Tamirâtı” yasası çıkarılmıştır. Bu yasa ile onarım yapılacak eserler kayıt altına alınmaya ve onarım işleri için pazarlık ile en düşük teklif veren yüklenici ile anlaşılması sağlanmıştır. 1906 senesinde “Asar-ı Atika Nizamnamesi” daha önce 1869 ve 1874 yıllarında yayınlanan ancak yetersiz olan konular üzerinde güncelleme yapılarak yasalaştırılmıştır. Bu düzenlemeler ile taşınmaz tüm eski eserlerin devletin malı olduğu ifadesi İslami eserler içinde geçerli olduğuna yer verilmiştir. 1912 senesinde “Muhafaza-i Abidat Nizamnamesi” yayınlanarak taşınmaz tarihi yapıların korunmasına yönelik çalışmalar yasalaştırılmıştır. Bu düzenlemeler ile tarihi eser olarak nitelendirilen yapıların yıkılması yasaklanmış, yıkılması gerekli olanların ise komisyon araştırmalarından sonra Maarif Vekaleti kararı ile yıkılması şartı getirilmiştir [4].

Osmanlı döneminde yasalarla korunmaya çalışılan tarihi eserlerden bir kısmı Kurtuluş Savaşı sırasında işgal güçleri tarafından hasar almış veya yıkıma uğramıştır. Gaziantep’te günümüze kadar ulaşan 34 tescilli camiden Hüseyin Paşa Camii minaresi de dahil 7 tanesi Kurtuluş Savaşı sırasında kısmen veya tamamen yıkılmıştır [5]. Manisa’da bulunan Çarşı Camii gibi 15 camii, Aydın’da bulunan Üveys Paşa Camii gibi birçok eser tahrip edilmiştir.

Cumhuriyet dönemine geçilmesiyle birlikte 3 Mart 1924 tarihli hilafetin kaldırılmasına ilişkin yasa ile saraylar, kasrılar ve bunlarla ilgili tüm taşınır ve taşınmaz eserler millete ait olmuş, Türk milleti adına Türkiye Büyük Millet Meclisi yönetimine verilmiştir, ancak soydan soya geçen mülhak vakıflarının işletilmesine dokunulmamıştır. 1925 yılında çıkartılan “Tekke ve Zaviyelerle Türbelerin Seddine (Kapatılmasına) ve Türbedarlıklar ile bir Takım Unvanların Men ve İlgasına Dair” yasa ile tekke, zaviye ve türbeler kapatılmış, buralardan değerli olarak belirlenenlerin yönetim ve korunmasının denetim görevi Maarif Vekaletine verilmiştir. Camiler 3 Mart 1924 tarihli “Şer’iye ve Evkaf ve Erkan-ı Harbiyey-i Umumiye Vekaletlerin Kaldırılmasına” ilişkin yasa ile kurulan Diyanet İşleri başkanlığına bağlanmış sonrasında 1931 yılında “Evkaf Umum Müdürlüğü” yönetimine verilmiştir [4]. 1935 yılında mimari ve tarihi değeri olan vakıf mallarının korunması ve onarımı “Vakıflar Genel Müdürlüğü” ne bırakılmıştır. 1951 yılında “Gayrimenkul Eski Eserler ve Anıtlar Yüksek Kurulu” koruma ve onarım için en yüksek karar verici kurum olmuştur. 1973 senesinde ilk koruma yasası “Eski Eserler Kanunu” ile onarım ve koruma faaliyetleri için yeni bir anlayış ve örgütlenme öngörmüştür [6]. 1973 senesinde yayınlanan yasa öncesi Türkiye’nin de taraf olduğu 1964 senesinde Venedik Sözleşmesi, 1972 senesinde Dünya Doğal ve Kültürel Mirasın Korunmasına Dair Sözleşme imzalandı ve Uluslararası Anıtlar ve Sitler Konseyi (ICOMOS) ve Uluslararası Müzeler Konseyi (ICOM) kuruldu. Venedik sözleşmesi ile tarihi yapıların korunması hakkında geniş bir çerçeve çizilmiş ve taraf ülkeler için bu konudaki yaklaşımların temeli atılmıştır. Sonrasında çıkarılacak yasalara öncülük etmiştir. 1982 Anayasası’nda Devlet’in görevlerine tarih ve kültür varlıklarının korunmasını sağlaması eklenmiş ve 1983’te Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kanunu çıkarılmış ve Kültür Bakanlığı yetkili ve sorumlu kılınmıştır. Gayrimenkul Eski Eserler ve Anıtlar Yüksek Kurulu lağvedilmiş ve karar alma yetkisi bölgesel kurullara verilmiştir. Bu kanun ile kültürel ve tarihi varlıkların korunması, geliştirilmesi ve tahribatın önlenmesi amaçlanmıştır. Bununla birlikte bu kültürel değerlerin tanımlanması, kayıt altına alınması ve korunması için gerekli hukuki çerçeveyi oluşturmuştur. Türkiye uluslararası düzeyde yayınlanan 1985 Avrupa Mimari Mirasın Korunması Sözleşmesi ve 1992 Arkeolojik Mirasın Korunmasına İlişkin Avrupa Sözleşmesinde taraf olarak yer almıştır. 1990’larda kültür mirası korunması görevi vakıflara ait olan kültürel mirasın korunmasından sorumlu olacak şekilde Kültür Bakanlığına bağlı Vakıflar Genel Müdürlüğü üzerinden devam etmiştir. 2004’te Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Yasası, Avrupa Birliği’ne uyum süreçleri kapsamında yayınlanmıştır [7].

İlk zamanlarda çekme yükü alacak taşıyıcı eleman ve malzemelerin bulunmaması kalıcı yapıların yalnızca basınç yüklemeleri altında projelendirilmesi ve imalatı gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle de taş veya pişirilmiş toprak tuğlalardan oluşan yapılarda kubbe, kemer, pandatifler ve basınç duvarları ile kolonlarından yapılmıştır. Yapılarda kullanılan kubbe ve kemerlerin geometrik fonksiyonu dahilindeki basınç taşıma özelliğini yitirmemesi amacıyla kemer ve kubbelerin mesnet bölgelerine ağırlık kuleleri veya mesnetlerinin açılmasını engellemek amacıyla mesnetlerin arasına gergi halatı amacıyla zincirleri, ahşap veya demir çekme çubukları kullanılmıştır. Bu nedenle, bu tip yığma yapıların insanlık tarihine ışık tuttuğu söylenebilir. Çelik ve betonarme yapı elemanın yaygınlaşmasından önce döneminin değerli ve önemli yapılarının hepsinin yığma yapı tekniği ile yapılmış olması doğaldır. “Fransız Auguste Choisy’nin 1873 yılında yayınladığı “L’art de bâtir chez les Romains” (Romalılarda yapı sanatı) isimli kitap tarihi açıdan önemli yapılar için ilk bakışın yapıldığı eserdir [8]. Choisy bu eserinde antik Roma yapılarının inşa yöntemleri, kemerler, ahşap duvarlar, yapısal elemanlar ve inşa teknikleri üzerine analizler yapmıştır. Bu eserde Choisy aksiyometrik (üç boyutlu) çizim tekniğini Roma mimarisinin yapısal sistemlerini anlamak için bir araç olarak geliştirmiştir. Romalıların büyük projelerde dahi karmaşık yapısal sistemler yerine basit ve sağlamlığı ön plana çıkardıklarını vurgulamıştır. Yine Auguste Choisy tarafından 1883 yılında yayınlanan “L’Art de bâtir chez les Byzantins” (Bizanslılarda yapı sanatı) ve 1903 yılında yayınlanan “Histoire de l’architecture” (mimarlık tarihi) kitapları ilk eserlerdir [9-10]” olarak literatürde yer almaktadır. Choisy bu eserlerinde mimarlık tarihini yalnızca estetik açıdan değil, aynı zamanda yapısal teknikler açısından da incelemiştir. Tarihsel dönemlerin ve kültürlerin mimari ve mühendislik anlayışındaki değişimini anlatmaya çalışmıştır.

Selahiye, Aydınoglu ve Erdik (1994) yaptığı çalışmada 1549-1557 yılları arasında Mimar Sinan tarafından inşa edilen Süleymaniye Camii’nin üzerinde kapsamlı incelemelerde bulunmuştur. Caminin taşıyıcı sistemi sonlu elemanlar yöntemi ile analizi gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmada yapının doğal titreşim frekansları deneysel ve analitik olarak incelenmiştir. 9 adet ivme kaydedicisinden alınan veriler ile yapılan analizler ile deneysel ve analitik sonuçlar karşılaştırılmıştır. Süleymaniye Camii’nin yapısal sistemi tanımlanmış, deprem davranışı ile performansı belirlenmeye çalışılmıştır. Camide yapılan titreşim deneylerinden elde edilen veriler, analitik modelden elde edilen veriler ile karşılaştırılmış, analitik ve deneysel verilerin kabul edilebilir mertebede olduğu sonucuna varılmıştır [11].

Giordano, Mele ve De Luca, 2002 yılında yaptığı bir çalışmada makro modelleme (FEM), basitleştirilmiş mikro modelleme (FEMDE) ve detaylı mikro modelleme (DEM) yöntemleri yapılan analiz sonuçlarının tam ölçekli bir duvar numunesi ile karşılaştırılması üzerine çalışma yapmışlardır. Yapılan çalışmada detaylı mikro modellemenin görece küçük yapılarda detaylı analizler için uygun olduğu, büyük yapılarda ise makro modellemenin hem uygulanabilirlik hem de doğruluk açısından daha uygun olabileceği sonucuna varılmıştır [12].

Roca, Cervera, Gariup ve Pela (2010) tarafından yapılan bir çalışmada makro modelleme (FEM), basitleştirilmiş mikro modelleme (FEMDE) ve detaylı mikro modelleme (DEM) yöntemlerini incelemiş ve bu yöntemler arasındaki farkları karşılaştırmışlardır. Çalışmada çeşitli yapılara ait belirtilen modelleme yöntemleri ile analizle gerçekleştirilmiştir. Karmaşık ve büyük yapılarda gerek malzeme tanımlamalarının yetersizliği, modelleme için harcanan zaman ve fazla bilgisayar gücü gereksinimlerinden dolayı mikro modelleme yöntemini oldukça basit taşıyıcı elemanlar için uygun olduğunu, karmaşık yapılarda makro modelleme yönteminin daha geçerli olduğunu sonucuna varmışlardır [13].

Aslan ve Şahin (2016) Süleymaniye Cami için Düzce depremi, Kobe depremi ve Northridge depremlerine ait kayıtları kullanarak sonlu elemanlar yöntemi ile analizlerini gerçekleştirmiştir. Çalışmada cami ve minare SAP2000 yazılımı ile analiz edilmiştir. Analitik model AutoCad yazılımı ile elde edilen kılavuz çizgiler ile oluşturulmuştur. Analizler, analitik modelde tanımlanan kabuk (area) ve katı (solid) elemanlar ile taşıyıcı duvarlar, kubbeler ve minareler ile birlikte modellenerek yapılmıştır. Malzeme bilgileri daha önce yapılan çalışmalardan elde edilmiştir. Çalışmaya konu olan deprem verilerine göre yapılardaki gerilmeler, yer değiştirmeler ve periyotlar sunulmuştur. Yapının çalışmaya konu olan deprem verileri için davranışı elde edilmiştir [14].

Demirel ve Aydoğmuş (2019) tarafından yapılan çalışmada nokta bulutu verileri kullanarak Tarihi Edirne Mihalbey Hamamı'nı incelemiştir. Klasik yöntem ve voksel yöntemi ile hazırlanan analitik modeller incelenmiş ve bu yöntemlerin karşılaştırmaları yapılmıştır. Mihalbey Hamamı için nokta bulutu (point cloud) verileri kullanılarak elde edilen voksel analitik modeli ve klasik yöntem ile oluşturulan analitik model sonuçları irdelenmiştir. Voksel modelleme tekniğinde mühendis analitik modelde yapı davranışına müdahil olmadığı ancak klasik modelleme yönteminde mühendislik yaklaşımı ile yük aktarımının

göre çatıdan temele olacak şekilde eleman tanımı yapıldığı vurgulanmıştır. Bununla birlikte günümüzde verilen mühendislik eğitiminin yığma yapılarda taşıyıcı sistem bilgilerini yeteri kadar irdelenmediğine de değinilmiştir. Çalışmaya göre yığma yapılar için voksel modelleme ile yapıların hem geometrik olarak hem de davranış olarak gerçeğe daha yakın olduğu sonucuna varılmıştır [15].

Kocaman ve Kazaz (2023) yaptığı çalışmada Konya Sultan Selim Cami'ye beş farklı yer hareketi kullanarak zaman tanım alanında sonlu elemanlar analizleri gerçekleştirmiştir. Analizler baz alınarak caminin yıkılma mekanizmaları ortaya konmuştur. Analizler makro modelleme tekniği kullanılarak ve zaman tanım aralığında yapılmıştır. Malzeme özelliği olarak iki farklı elastisite modülü kullanılmış ve bu farklı malzemelere göre uygulanan beş deprem etkisi özelinde caminin yıkılma mekanizmaları elde edilmiştir [16].

Erkek ve Yetkin (2023) tarafından yapılan çalışmada Osmaniye'de bulunan Envar-ül Hamit Cami minaresinin 6 Şubat 2023 tarihli depremlerdeki sismik performansı incelenmiştir. Minareden alınan malzemeler ile testler yapılmış, bu bilgiler ışığında minarenin makro modelleme yöntemi ile sonlu elemanlar modeli oluşturulmuştur. Sonlu elemanlar modeli sonuçları ile minare üzerine yerleştirilen titreşim sensörlerinden elde edilen değerler karşılaştırılmış ve sonlu elemanlar modelinde bu bilgiler ışığında düzenlemeler yapılmıştır. Minarenin yıkılma mekanizması incelenmiş, minarenin deprem anındaki yer değiştirme, frekans ve gerilme değerleri sunulmuştur [17].

Kocaman ve diğerleri (2024) tarafından yapılan çalışmada Malatya Yeni Cami'nin 6 Şubat 2023 tarihli deprem nedeniyle oluşan göçme mekanizmaları ortaya konulmuştur. Minarelerin ince ve uzun formlarından ötürü, özellikle şerefelerden sonra merdivenlerin devam etmeyen kısımlarında yetersiz yer değiştirme rijitliğine sahip olduğu görülmüştür. Sınırlı yer değiştirme kapasitesine sahip taş elemanların kullanımı gevrek kırılmalara yol açabileceği varılan sonuçlardandır. Makro modelleme yöntemi ile oluşturulan sonlu eleman modelleri tarihi yığma yapılarda çökme ve hasar mekanizmaların anlaşılmasında önemli katkıda bulunabileceği belirtilmiştir. Çelik elemanlarla yapılacak güçlendirmelerin tarihi yapılar için önemi ve mevcut yönetmeliklerdeki bu konu hakkındaki eksiklikler vurgulanmıştır [18].

## 2. YAPILARDA GÜÇLENDİRME, ONARIM VE DİRİTLME VE TARİHİ YIĞMA YAPILARDAKİ YERİ

*Güçlendirme:* Mevcut bir yapının gelebilecek yükler altında muhtelif hasarlarının giderilmesi veya günümüz yönetmelik ve standartlar seviyesine yükseltmesi için yapılan uygulamadır. Güçlendirmede yapı hasar uğramamış durumdadır. Müdahalenin amacı gelecekte uğraması öngörülen hasarların önlemesidir.

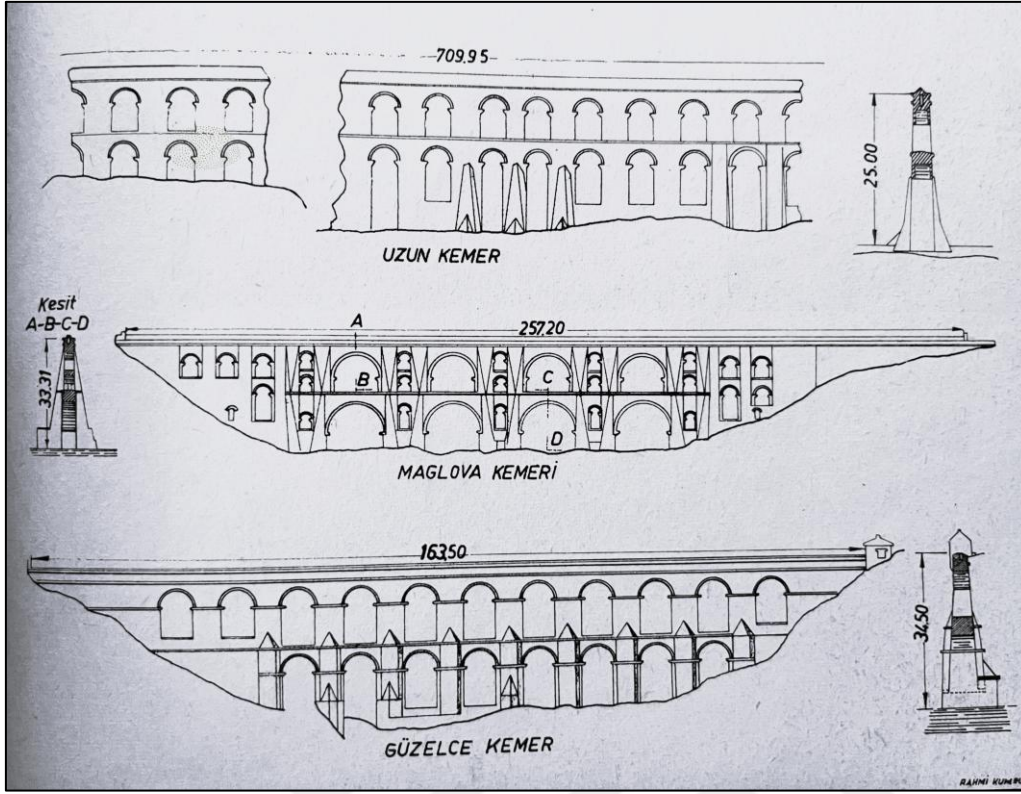
*Onarım:* Mevcut binanın muhtelif yüklemelerden dolayı (deprem, kullanım amacının değiştirilmesi, kullanım yüklerinin artırılması vs.) kısmi hasara uğramış ve bu hasar düzeyinin ortadan kaldırılması için yapılan müdahalelere denir.

*Diriltme:* Yapının büyük hasar ve deplasmanlara uğraması, muhtelif yıkımların, çökmelerin oluşması durumunda fonksiyonlarını yerine getirebilecek ve eski özelliğine yükseltilmesi işidir.

Bu çalışmanın devamında kullanılacak olan güçlendirme, onarım ve diriltme kelimelerinin anlamı yukarıdaki kapsamda ele alınacaktır.

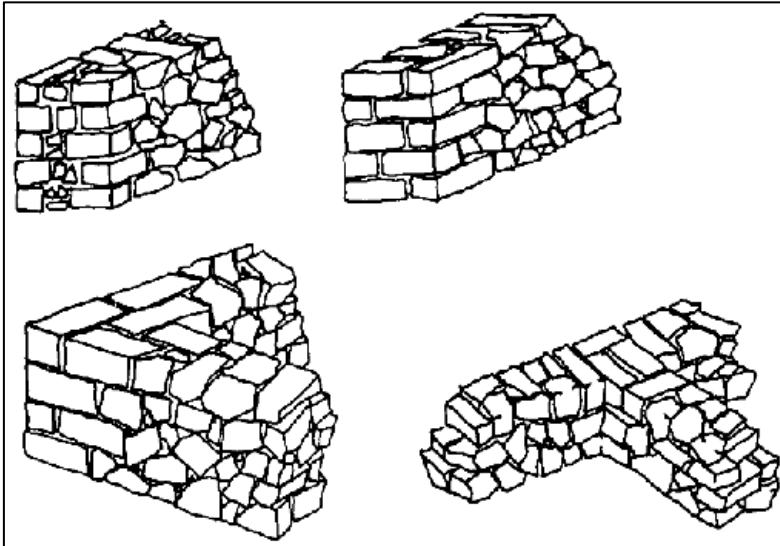
### 2.1. Yığma Yapılar

Çelik ve betonarme yapı malzemelerinin üretim ve kullanımının yaygınlaşmasından önce yapılar için tercih edilen yapım tekniği yığma olmuştur. Yığma yapılar taş veya tuğlaları taşıyıcı olacak şekilde üst üste koyarak, bağlayıcı bir harç ile bağlanmasıyla elde edilen taşıyıcı duvar sistemine ait yapılar yığma yapı olarak değerlendirilmektedir. Bu duvarlar yapılarda hem taşıyıcı eleman görevini hem de yapıda mekânsal bölmelerin oluşmasını da sağlarlar. Yığma yapılarda bu taşıyıcı duvarlar, döşeme ve çatıdan gelen düşey yükleri ve yapıya gelen yatay yükleri taşırlar [6]. Mimar Sinan tarafından yığma yapı tekniği kullanılarak yapılan su getirme kemerlerinden bazı örnekler Şekil 2.1’de gösterilmiştir.

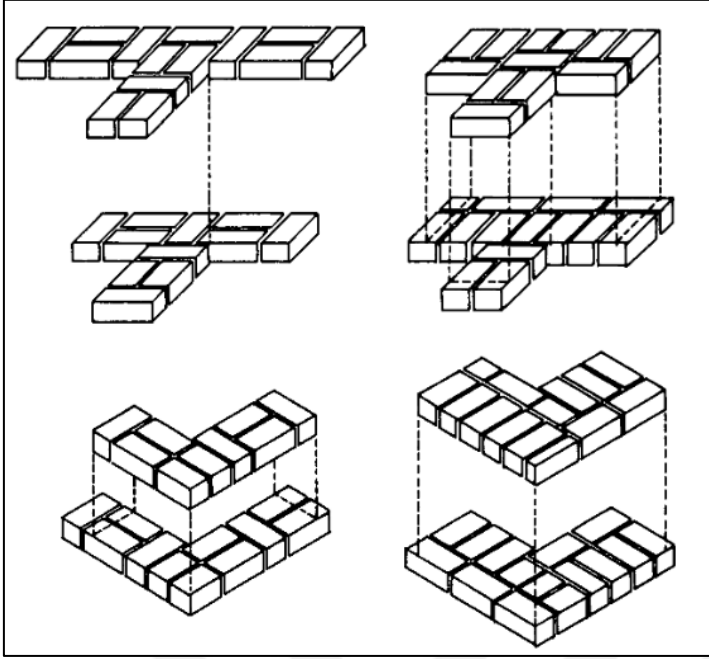


Şekil 2.1. Mimar Sinan'ın su getirme kemerleri [19]

Yığma yapılar taş, tuğla veya kerpiç gibi yapı malzemelerinin bağlayıcı harç ile üst üste dizilerek örülmesiyle yapılan yapı türüdür. Diğer yığma yapı türlerine göre en gevrek davranışı gösteren yapılar bu türdedir. Şekil 2.2'de tipik yığma taş duvar, Şekil 2.3'de tipik tuğla duvar gösterilmiştir [20].

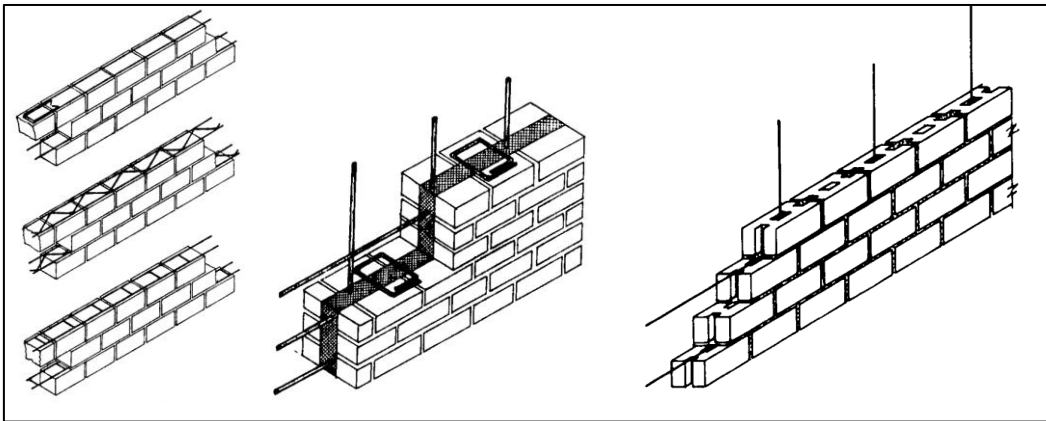


Şekil 2.2. Tipik taş yığma duvar, köşe ve birleşimi yapımı [20]



Şekil 2.3. Tipik tuğla duvar, köşe ve birleşimi yapımı [20]

Donatılı yığma yapılar taşıyıcı duvarlarda tuğla veya taş sıralarının aralarına yatay olarak donatı döşenmesiyle yapılan yığma yapılardır. Eklenen bu donatılar yapıya donatısız türe göre depreme karşı daha sünek hale getirir. Donatıların konumları uygulamalarda farklılık gösterebilir. Donatılendirma türleri yatay, yatay ve düşey donatıların birlikte kullanılması ve boşlukların donatılendirılması (Şekil 2.4) şeklinde olabilir [20]. Ancak bu tip donatılı yığma duvarlar günümüz koşulları için geçerli olup, tarihi eserlerde donatı olarak ahşap hatıllar veya tuğla hatıllar kullanılmıştır. Bunlarda donatı olarak adlandırılmaz.



Şekil 2.4. Yığma yapılarda tipik donatılendirma [20]

20. yüzyılın ilk yarısında, özellikle çok katlı yapıların inşasında yığma yapılar yerini büyük ölçüde karkas yapılara bırakmıştır. Bu karkas yapılar çoğunlukla betonarme ile çelik iskeletli yapılardır. Bununla birlikte karkas yapılarda dış kaplamalar ve iç bölmeler tuğla duvar ile yapılmaktadır.

Teknolojinin gelişimi yapı elemanlarında kullanılan malzemeleri de değiştirmiştir. Çeliğin üretiminin artması başlangıçta çelik taşıyıcı eleman temelli yüksek yapıların inşasına izin vermiştir. Daha sonra çimento teknolojisinin gelişimi ile yapısal taşıyıcılar betonarme vasfına ulaşmıştır. Bu sayede kubbe, kemer, pandatif gibi yalnızca basınç gerilmesiyle yük taşıyan yapı elemanları yerine çekme ve moment de taşıyabilen yapı elemanlarının kullanımı mümkün olmuştur. 1950 yıllarında taşıyıcı yığma duvarların deneysel çalışmalar ışığında standartlaştırılması ve uygulama yönetmeliği geliştirilmesi ile davranışı tam olarak ortaya konmuştur. Ancak betonarme ve çelik elemanların kullanımı yük taşıyan yığma binaların kullanımını arka plana ötelemiştir.

2. Dünya Savaşı sonrasındaki nüfus artışı şehirleşmede yüksek binalara talebi arttırmıştır. Bu nedenle de yığma binaların yük taşıyıcı duvarların gerekenden fazla kalın inşa edilmesine, dolayısıyla malzeme ve kullanılan alan israfına yol açmıştır.

Yığma yapılar için yönetmelik ve standartlar yeni araştırma ve uygulama deneyimlerine göre geliştirilmiş, bu sayede duvar kalınlıkları ve malzeme dayanımlarını daha rasyonel biçimde hesaplanmasını sağlamıştır. İlk yayınlanan kurallar başlangıçta oldukça sınırlı bir kapsamı içerse de zaman içinde yapılan daha kapsamlı araştırma ve uygulama tecrübeleri sayesinde geliştirilmiştir. Günümüzde yığma yapıların yapısal tasarımı, betonarme ve çelik yapılarla benzer düzeye ulaşmıştır [21].

## **2.2. Gaziantep Yöresi Yığma Tarihi Yapıların Malzeme Özellikleri**

Gaziantep şehrindeki camilerin geleneksel mimari olarak önemli özelliklerinden biri tamamen yöresel kesme taşların kullanıldığı yığma kâgir yapı tekniği ile inşa edilmiş olmasıdır. Bu yapılarda kullanılan yapı malzemesi taşlar, bölgenin jeolojik yapısından kaynaklanan yerel bir zenginlik olarak ön plana çıkmaktadır. Kullanılan taşlar kireç yapısına sahip, krem renginde ve sert dokuda olup, estetik ve dayanıklılık açısından oldukça uygun bir malzemedir. Bu taşlar bölgede “keymık taşı veya keymih taşı” olarak bilinir. Taşlar

bölgenin iklim ve çevre koşullarına dayanıklı bir yapı malzemesidir. Kireç taşının doğal özellikleri sayesinde sıcak ve soğuk hava koşullarında ısı izolasyonu sergileyen taşlar, zamanla meydana gelen aşınmalara karşı da dirençlidir. Kesilebilir ve şekillendirilebilir olması sayesinde hem fonksiyonel hem de estetik açıdan zengin tasarımlar için imkân sunmaktadır [22].

Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü tarafından 2013 senesinde yayınlanmış “Türkiye’nin Geleneksel Yapı Taşları” isimli çalışmada bölgede çıkan bu taşları “Killi Kireç Taşı” olarak isimlendirilmiştir [23].

Erguvanlı, keymık taşını sert ve donu oldukça dirençli olarak tanımlamış ve taşın Kabak Tepeden çıkarıldığını belirtmiştir [24]. Güzelbey, keymık taşının havara taşından daha sert olduğunu ve hava tesirlerine daha dayanıklı olduğu için yapıların dış duvarlarında bu taşın kullanıldığından bahsetmiştir. Havara taşlarının su yalıtımlarının iyi yapılmadığı takdirde don olayları sonrası kırılıp döküldüğünden ancak keymık taşlarının daha dayanıklı olduğundan bahseder [25].

Cansunar Yetkin’in Gaziantep’teki taşların geleneksel mimari üzerine yaptığı çalışmada keymık taşı için birim hacim ağırlığını  $1,67 \text{ g/cm}^3$ , Poisson oranını 0,25 olarak bulmuştur. Taşlar üzerinde yapılan deneylerden tek eksenli basınç testi sonuçlarına göre basınç dayanımı  $15,20 \text{ N/mm}^2$ , elastisite modülünü 0,90 GPa; tek eksenli yük altında eğilme testi sonuçlarına göre eğilme dayanımı  $4,18 \text{ N/mm}^2$  ve elastisite modülünü 0,50 GPa olarak bulmuştur [26].

Minarenin inşa dönemlerinde, yapılarda taşları bağlayıcı harç olarak genellikle “horasan harcı” kullanılmıştır. Geleneksel olarak yörede “akçe geçmez” olarak bilinen dersiz duvar örgüsü tekniği kullanılmıştır. Bu teknik, taşların arasındaki boşlukların belirgin bir derz bırakılmaksızın sıkı bir şekilde doldurulmasını sağlayarak bütüncül bir yapıya kavuşturulması olarak tanımlanabilir. Akçe geçmez örgü tekniği estetik ve dayanım açısından yöre mimarisi için önemli bir geleneksel yöntemdir. Horasan harcı, kireçle bağlayıcı özellik kazanan, tuğla ve kiremit gibi pişmiş kil malzemelerinin kırılıp öğütülmesiyle elde edilen bir bileşendir. Bu harç hem yapısal dayanıklılık hem de uzun ömürlü performans sağlayan, özellikle tarihi yapılarda tercih edilen yapı malzemesi olmuştur. Pişmiş kille malzemelerin kırık ve öğütülmüş şekli olan horasan ile hava kirecinin

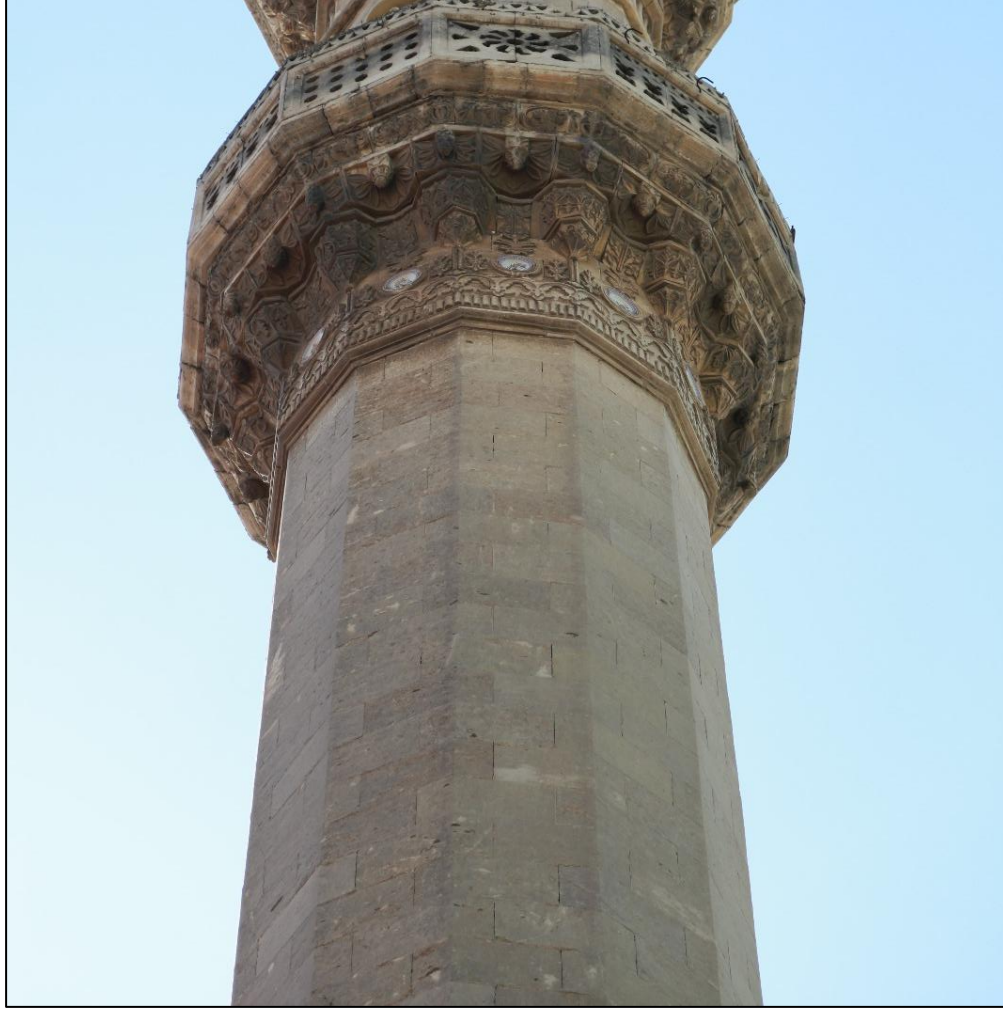
karıştırılmasıyla oluşan horasan harcı, kum veya puzolonik katkı maddeleri de eklenebilen hidrolik bir harçtır [27].

Gaziantep ilindeki camiler, bölgenin karakteristik yapı malzemelerinden biri olan ve yaygın olarak bulunan tercih edilmiş, halk arasında Antep taşı olarak da bilinen kesme taşlardan inşa edilmiştir. Bu taşlar killi kireç taşı olup sarı-krem renge taşlardır [28]. Yörede "keymık taşı" olarak adlandırılır. Gaziantep ilindeki bu ocaklar günümüzde kullanılmamaktadır. Yapıların inşasında taşların dizilimi ve birleştirilmesi sürecinde yörede "akçe geçmez taş derzi" olarak bilinen teknik kullanılmaktadır [5]. Bu terim "İncecik akçe paranın geçmeyeceği kadar taşların bitişik örüldüğü stilli" derzler için kullanılır. Derz dolgusu olarak ise geçmişten günümüze geleneksel yapı malzemelerinden biri olan, "Horasan Harcı" olarak bilinen malzeme kullanılmıştır. Tarihi yapılarda yaygın olarak kullanılan bu harç kısmen çekme yükü almayan bir özelliğe sahiptir [29].

Pişirildikten sonra öğütülen kil olan horasan, kireç ve su ile karıştırılarak elde edilen harçta su ile hidrata olan kireç (kalsiyum hidroksit:  $\text{Ca(OH)}_2$ ) zamanla suyu atarak kristalleşerek katılaştır. Kirecin sertleşme mekanizması, kristalize olmasından kaynaklanır; ancak suyla yeniden temas ettiğinde yumuşama eğilimi gösterir. Kirecin kalıcı olarak sertleşmesi ve suda çözünmeyen bir yapıya dönüşmesi, karbondioksit ( $\text{CO}_2$ ) ile kimyasal reaksiyona girerek kalsiyum karbonata ( $\text{CaCO}_3$ ) dönüşmesiyle mümkün olur. Ancak bu dönüşüm, yalnızca havadaki karbondioksit ile gerçekleşebildiği için, süreç uzun zaman alır. Havadan gelen  $\text{CO}_2$ 'nin duvar katmanlarına nüfuz etmesi yıllar sürebilir. Bu nedenle, hidrasyon sürecinden sonra, kirecin  $\text{CO}_2$  ile reaksiyona girebilmesi için önce kurumması gerekir. Horasan harcındaki pişirilmiş kil tozu, kimyasal açıdan aktif bir silis ( $\text{SiO}_2$ ) kaynağıdır. Silis, zayıf bir asit karakteri gösterir ve kireç gibi güçlü bir baz ile reaksiyona girerek kalsiyum silikat oluşturur. Bu kimyasal reaksiyon, asit-baz etkileşimi sonucunda gerçekleşir ve oluşum için nemli bir ortam gereklidir. Kalsiyum karbonat ve kalsiyum silikat, dış etkenler ve aksel basınca karşı dayanıklılık gösteren ve yapıların uzun ömürlü olmasını sağlayan bileşenlerdir [30].

Akman'ın horasan harcı üzerinde yaptığı çalışmada harcın basınç dayanımını  $3,2 \text{ N/mm}^2$  -  $3,6 \text{ N/mm}^2$  arasında bulmuştur [27]. Ancak söz konusu horasan harcının çekme gerilmeleri altında dayanımı ile ilgili bir çalışma bulunmamaktadır. Buda doğaldır çünkü kullanıldığı dönemde ne eğilmeden kaynaklı çekme elemanı nede direkt çekme elemanı bulunmamaktaydı.

Minarenin inşasında standart şekil verilmiş keymık taşı kullanılmıştır. Tüm minarenin inşası tekbir taş şeklini kullanarak inşa edilmiştir ve taşların birleşimi hem yatayda hem de düşeyde akçe geçmez derz şeklinde inşa edilmiştir. Bu nedenle minare taşları arasında dış görünüşte harç derzi gözükmemektedir (Resim 2.1).



Resim 2.1. Hüseyin Paşa Cami Minaresi'nde keymık taşı akçe geçmez derz kullanılması

### 2.3. Yığma Yapıların Davranışı

Yığma yapılar karkas yapılara göre daha ağır ve sünekliği düşük yapılardır. Ağırlıkları nedeniyle yapıya etkiyen deprem kuvvetleri daha fazla olmaktadır. Düşük süneklikli olmaları nedeniyle enerji sönmüleme kapasiteleri sınırlıdır. Ancak yapım aşamasında yalnızca basınç altında çalışacak şekilde projelendirildikleri için düşey taşıyıcı elemanlarının boyutları karkas yapılara göre daha büyüktür.

Yığma yapılar, taşıyıcıları taş ve tuğladan ibaret olup araları çekme gerilmesi taşımayan harç ile bağlanmıştır. Bu duvarlar aksel yükleri taşımak ve temel yapısına aktarmakta başarılı olmalarına rağmen, yanal etkilerden dolayı (deprem) gelen yükler altında davranışları bağlayıcı harçların kayma dayanımlarının düşük olması nedeniyle sorunludur. Bütün yığma duvarların tüm kesitlerinin aksel yük altında olduğu sürece kayma gerilmelerinin taşıma kapasiteleri mevcut olmasına rağmen deprem etkisiyle aksel yük düzeyinin bölgeselde olsa azalması nedeniyle duvarlarda kayma kapasitesinin düşmesi mümkündür. Taşıyıcı duvarlarda oluşan gerilmeler aksel basınç ile birlikte kayma gerilmesi yapı davranışını ve tasarımını belirlemede önemli rol oynar [21].

Minareler, statik açıdan incelendiğinde, aksel yük taşıyan yığma duvarlardır ancak şekillerinin dairesel olması nedeniyle diğer yığma duvarlardan ayrılırlar. Minarenin dairesel formundan dolayı yanal yük altındaki ataleti sınırlıdır. Taşların arasında kullanılan harç nedeniyle de çekme almayan bir davranışa sahiptirler. Bu nedenle deprem altındaki davranışı yığma duvarlardan daha narindir. Deprem etkisiyle oluşan kayma gerilmeleri kapasitesi yüksek olmasına rağmen, ağırlık merkezinin yanal yükler altında yer değiştirmesi büyük elemanlardır. Bu nedenle de kesit bazında ağırlık merkezinin kayma merkezinin dışına çıkması durumunda devrilme sorunu ile karşılaşılırlar. Emniyet sınırını (basınç dayanımını) az miktarda aşan yüklemelerde dahi plastik şekil değiştirme göstermeden ani ezilme yaşarlar. Eski minare yapım tekniklerinde, kayma gerilmelerini azaltmak amacıyla kesit alanları artırılarak bu yüklerin daha geniş bir alana yayılması sağlanmıştır. Minarelerin iç kısmında yer alan basamaklar, gövdenin kesit alanının %30-50'sini kaplayacak şekilde tasarlanmıştır. Genellikle, basamaklar minarenin gövdesiyle yekpare bir şekilde inşa edilmiş ve bu plakalar dış cidar duvarlarıyla tam bir bütünleşme sağlayacak biçimde birleştirilmiştir. Kesit alanı, dış duvarların alanına kıyasla 1,5 katına kadar artırılmış, böylece kayma gerilmelerine karşı direncin yükseltilmesi hedeflenmiştir. Merdiven plakalarının merkezine ağırlık merkezli delikler bırakılmış, bu delikler içlerine dökülen kurşun ile doldurularak yatay hareketlerde enerji sönmüleyici bir rol üstlenmiştir. Tüm bu yapısal önlemler, minarelerin dayanıklılığını artırma çabalarının bir göstergesi olmuştur [30].

#### **2.4. Tarihi Yığma Yapılarda Güçlendirme ve Diriltme Yöntemleri**

Tarihi yığma yapılarda güçlendirme ve diriltme kavramları yapının hasar alma durumlarıyla alakalıdır. Yığma yapılar, betonarme ve çelik yapılara göre daha ağır olmalarından ötürü

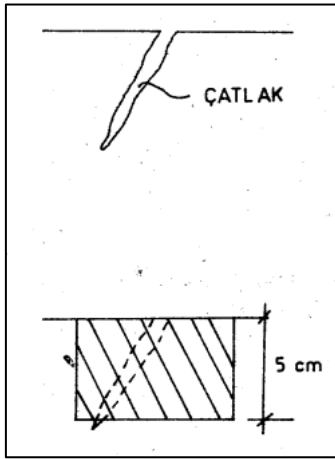
daha yüksek deprem kuvvetlerine maruz kalabilirler. Taşıyıcı sistemin görece sünekliklerinin daha az olması hasar alma olasılıklarını artırır. Henüz hasar almamış ancak hasar alma ihtimali olan yapılarda, yapıyı ileride gelecek yüklere karşı daha dayanımlı kılmak amacıyla yapılan çalışmalar güçlendirme çalışmaları olarak değerlendirilebilir. Bu amaçla yapının mevcut durumu araştırılır ve bu bilgiler ışığında özellikle deprem yüklerine karşı yapı rijitliğini arttırmak için ilave destek gibi taşıyıcı elemanlar eklenebilir veya mevcut kesitlerin dayanımlarını arttıracak tedbirler alınabilir. Diriltme ise hasar almış yapının en az önceki dayanım seviyesine çıkarılması için yapılan çalışmalardır. Bu çalışmalar mevcut taşıyıcı sisteme ilave taşıyıcı elemanlar eklenmesi şeklinde veya mevcut taşıyıcı elemanların taşıyıcı olma görevlerinin tamamının veya bir kısmının yeni taşıyıcı sistem ile desteklenmesi ile yapılabilir. Bu sayede yapılar için hasar önceki dayanımının kazanmasını ve ileride gelmesi muhtemel etkilere karşıda yeterli dayanım ve rijitliğe sahip olması amaçlanır. Böylece yapı önceki fonksiyonlarını tekrar yerine getirebilme kabiliyetine sahip olur. Tarihi yapılarda, hasar alan yapıların servis durumları kısmen veya tamamen durmuş olması nedeniyle yapılacak onarım çalışmaları tekrar servis haline getirmeyi amaçlaması, tarihi değerlerin geleceğe taşınması için korunması ile diriltme olarak değerlendirilir. Diriltme, yapının onarılarak yeniden kazanılması şeklinde özetlenebilir.

Onarımın ilkeleri yapının hasar kaynağı ile ilişkilidir. Esas olarak hasara sebep olan etkinin giderilmesi ve yapıdaki dayanım kaybının telafî edilmesi gerekir. Onarım şekline bağlı olmaksızın aşağıda verilen temel prensipler onarım için özetlenebilir [31].

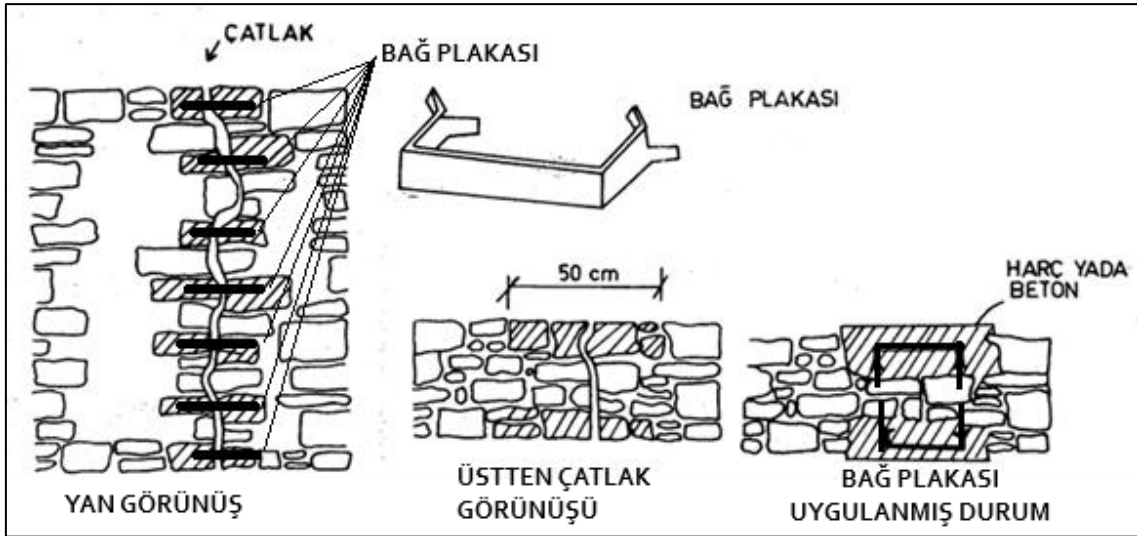
- Yapının ağırlığı azaltılarak gelecek deprem etkisini azaltılabilir.
- Yapının sünekliği artırılarak enerji sönümlene kapasitesi artırılabilir.
- Yapının taşıma kapasitesi mevcut kesitler büyütülerek veya yeni taşıyıcı elemanlar eklenerek artırılabilir.
- Yapının periyodu değiştirilerek gelecek deprem etkisi azaltılabilir [31].

Onarım yöntemleri temel prensiplere paralel olarak geliştirilebilir. Yöntemler yapının geometrisine, çevre koşullarına, hasar durumlarına, malzeme ve işçilik için uygulanabilir olma durumlarına göre özelleştirilebilir. Derin olmayan çatlaklar genişletilerek yüksek dayanımlı çimento harcı ile doldurulabilir. Çatlak olan bölge 5-10 cm genişletilerek açılan boşluğun doldurulmasıyla onarım sağlanabilir (Şekil 2.5). Uzun, sürekli ve düşey çatlaklar bağ plakası ile bir nevi dikiş gibi takviye edilebilir (Şekil 2.6). Taşıyıcı duvar da çok sayıda

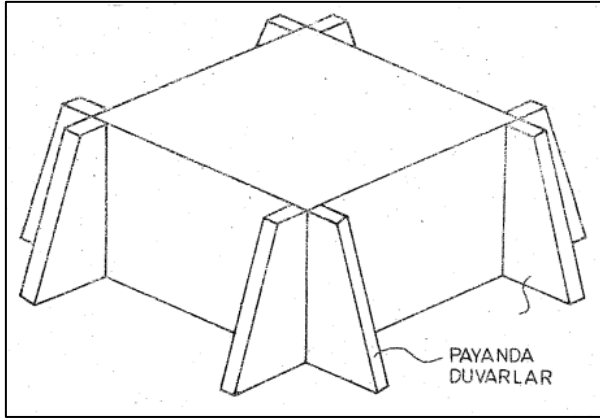
küçük çatlak olması durumunda duvarın iç ve dış yüzüne takviye bantları kullanılabilir. Özellikle yapı köşeleri, deprem sırasında birbirinden ayrılarak veya çatlayarak taşıyıcı özelliklerini büyük ölçüde kaybedebilirler. Bu noktalarda hasarlı kısım kısmen yıkılıp yeniden örülebilir veya yeni taşıyıcı sistem ile takviyesi yapılabilir. Yığma yapı tamamen yeni bir taşıyıcı çerçeve içine alınabilir veya içeriden yeni bir taşıyıcı sistem ile desteklenebilir. Bu şekilde yapıya gelebilecek yatay yüklerin tamamı veya büyük bir kısmı bu yeni taşıyıcı sistem ile karşılanabilir. Yeni bir taşıyıcı sistem yerine destek payandaları eklenerek mevcut taşıyıcı duvarların güçlendirmesi sağlanabilir (Şekil 2.7) [31].



Şekil 2.5. Çatlakların doldurulması [31]



Şekil 2.6. Yığma yapılarda düşey çatlakların onarımı [31]



Şekil 2.7. Destek payanda duvarlar [31]

Yığma yapılarda deprem yüklerinin etkisi, genellikle üst kısımlarda meydana gelen çatlama ve parçalanmalar ile kendini gösterir. Minarelerde ise deprem yüklerinin etkisi, uzun ve ince yapıları nedeniyle yığma elemanlarda çatlama ve derz açılması ile birlikte genellikle kısmen veya tamamen yıkılma şeklinde ortaya çıkar. Bu durum, minarelerin deprem dayanımını artırmak için özel bir çaba gerektirdiğini göstermektedir. Minareler, deprem esnasında yüksek devrilme momentlerine maruz kalan tarihi yapılar arasında en hassas elemanlardan biridir. Özellikle iç kısmında merdiven elemanları iyi tasarlanmış ve sağlam bir şekilde bağlanmış olan minareler, depreme karşı daha fazla dayanıklılık gösterebilmektedir. Ancak bu tür özelliklere sahip olmayan veya zamanla yıpranmış minarelerin depreme karşı güçlendirilmesi hemen hemen her durumda kaçınılmaz bir gereklilik haline gelmiştir. Minarelerin deprem yükleri altında eğilme momentlerini taşıyabilecek şekilde tasarlanması ve güçlendirilmesi hem tarihi yapının korunması hem de işlevselliğin devamı için hayati bir öneme sahiptir. Güçlendirme çalışmalarında esas hedef, depremin neden olduğu yatay yüklerin elastik deformasyonlarla karşılanmasını sağlamak olmalıdır [30].

## 2.5. Tarihi Yapılarda Modelleme Teknikleri

Yığma yapı tekniği kullanılarak yapılan yapılar kırsal kesimlerde hala tercih edilmesinin yanında, tarihi yapıların inşasında da zorunlu olarak tercih edildiği için kültürel ve tarihi değerlerimiz için önemli bir noktadır. Yığma yapı tekniği, kullanılan malzeme özellikleri ve bu malzemelerin bir araya getiriliş biçimleri düşünüldüğünde günümüz yapılarından oldukça farklıdır.

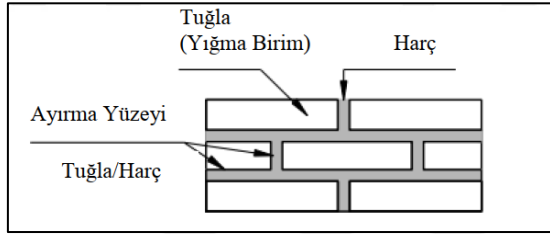
Mevcut tarihi yapıların, günümüzde modellenmesinde bazı sıkıntılar bulunmaktadır. Yapıların inşa edildiği dönemdeki mimar-mühendis düşüncelerinin tam yansıtılamaması bu sıkıntılardan önemli olanlardandır. Günümüzde ise bu yapıların inşaat mantığının anlaşılabilmesi için yığma yapılarda sonlu elemanlar yöntemine uygun modelleme teknikleri geliştirilmiştir. Modelleme tekniklerinden detaylı mikro modelleme, basitleştirilmiş mikro modelleme ve makro modelleme yapının malzemesiyle ilgili iken Voksel modelleme yöntemi yapının geometrisinin oluşturulması ile ilgilidir. Yapının mevcut durumunda yığma birim (taş veya tuğla) ve harç yapıya etkiyen yükler altında dayanımlarından ötürü özellikle çekme yükleri altında zayıf davranış sergilerler. Bunun nedeni özellikle harç elemanlarının çekme kapasitelerinin oldukça düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Analitik modellemede bu elemanlar için yapılacak kabullere ve yapının karmaşıklık durumuna göre modellemenin detay düzeyi belirlenir. Voksel yöntemi ise yapının hasar almış, kısmen veya tamamen yıkılmış kısımlarının analitik modele olduğu gibi aktarılmasını sağlayan yöntem olarak kullanılır. Voksel modelleme yöntemi ile yapı modelinin oluşturulmasının ana nedeni, nokta bulutu ile rölöve alınabilmesidir. Bu sayede hassas ve detaylı olarak yapı rölövesi ve hasar durumu (kırıklar, çatlaklar ve yıkılmış bölgeler) ortaya konulabilmektedir.

Yığma yapı tekniği için sonlu elemanlar yöntemi ile modelleme yapılırken yapıların davranışını anlamak ve analiz edebilmek için bu yapıların betonarme ve çelik yapılar gibi homojen bir malzeme sistemine sahip olmadığı dikkate alınmalıdır. Yığma yapılarda, tuğla veya taş birimlerinin harç ile bir araya getirilmesiyle oluşan ve doğal olarak heterojen bir yapıya sahip taşıyıcı duvarlar kullanılır. Bu heterojen olma durumu yük taşıyan duvarların maruz kaldığı gerilmeler sonucu ortaya çıkacak çatlama şekillerinin değişkenlik göstermesine neden olur. Dolayısıyla yığma yapıların analizinde homojen malzemelerle çalışan diğer yapı türleri için kullanılan modelleme yöntemlerinin doğrudan kullanılması uygun olmayabilir. Heterojen malzemeye sahip elemanların modellenmesi, malzeme farklılıkları ve bu farklılıkların yapısal davranış üzerindeki etkilerinden dolayı oldukça karmaşık bir süreçtir. Bu nedenle genellikle homojenleştirme varsayımları yapısal modellemenin daha pratik hale getirilmesi sağlanır [32].

### **2.5.1. Detaylı mikro modelleme**

Detaylı mikro modelleme yaklaşımında, yığma duvarı oluşturan elemanların mekanik özellikleri (poission oranları, elastisite modülleri) ayrıntılı bir şekilde ele alınır. Yığma birim

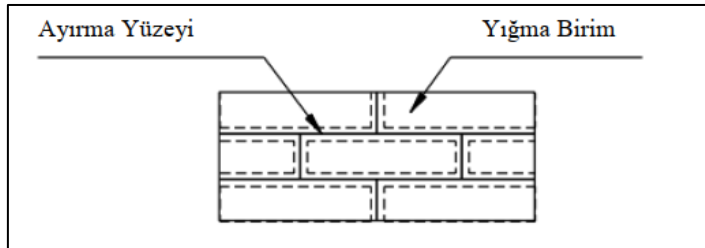
(örneğin tuğla veya taş) ve harç, yapının davranışına ayrı ayrı katkıda bulunan bileşenler olarak değerlendirilir. Bu ayrıştırma, her iki malzemenin de farklı mekanik özelliklere sahip olmasından kaynaklanır ve analizin doğruluğunu artırmayı hedefler. Yapının hasar görmesi durumunda, çatlakların yığma birimler ile harç arasındaki yüzeyde gerçekleştiği varsayılır. Ara yüzeyler (harçlar), genellikle yığma yapıların en zayıf noktalarıdır ve yüklerin iletimi sırasında gerilmelerin yoğunlaştığı bölgeler olarak öne çıkar [33]. Şekil 2.8’te detaylı mikro modelleme için tipik elemanlar gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Detaylı mikro modelleme yöntemi [33]

### 2.5.2. Basitleştirilmiş mikro modelleme

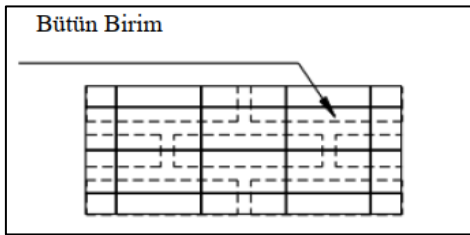
Basitleştirilmiş mikro modelleme yaklaşımında harç tabakası ihmal edilir. Yığma birimlerinin boyutları da harç tabakasının kalınlığı kadar genişletilerek modelleme yapılır. Böylelikle yığma birimler basitleştirilmiş homojen bir yapı olarak ele alınır. Modellemede, yığma duvarda oluşabilecek çatlak türleri ve bu çatlakların meydana gelebileceği bölgeler üzerine belirli varsayımlar yapılır. Yığma duvarlarda oluşabilecek çekme ve kayma çatlaklarının, yığma birim ile harç arasındaki ara yüzeylerde meydana geleceği öngörülmektedir. Yığma birimlerin kendisinde ortaya çıkabilecek potansiyel çatlakların ise tuğlanın orta bölgesinde, düşey doğrultuda gerçekleşeceği varsayılmaktadır [34]. Şekil 2.9’da basitleştirilmiş modelleme için tipik elemanlar gösterilmiştir.



Şekil 2.9. Basitleştirilmiş mikro modelleme yöntemi [33]

### 2.5.3. Makro modelleme

Makro modelleme yaklaşımında, yığma duvarlar bir bütün olarak ele alınır ve harç malzemesi arasındaki farklılıklar çeşitli homojenleştirme teknikleri kullanılarak homojen bir malzeme gibi değerlendirilir. Makro modelleme yaklaşımı özellikle büyük ölçekli yapılar üzerinde yapılacak çalışmalarda tercih edilmektedir. Büyük ve karmaşık sistemlerin modellenmesi çalışmalarında, yığma elemanlar ile harç arasındaki mikro düzeydeki etkileşim genellikle ihmal edilir. Bunun temel nedeni, günümüz bilgisayar teknolojisinin sınırları nedeniyle, doğrusal olmayan veya zaman tanım alanında gerçekleştirilecek çalışmalar için mikro modelleme yaklaşımının uygulanmasındaki zorluklardır. Mikro modellemenin, çok sayıda elemandan oluşan yapılar için gerektirdiği işlem gücü ve depolama kapasitesi, büyük ölçekli analizlerde ciddi kısıtlamalar doğurmaktadır. Büyük boyutlardaki sistemlerin rijitlik matrislerinin oluşturulması ve yapısal analiz programlarının üreteceği sonuç dosyalarının boyutunun aşırı büyük olması, mikro modellemenin pratikte uygulanabilirliğini sınırlamaktadır. Makro modelleme tekniği, büyük ölçekli yapı sistemleri için sistemin genel davranışını temsil edecek şekilde yığma duvarların ortalama mekanik özelliklerini kullanması sebebiyle en uygun teknik olarak uygun görülmektedir [34]. Şekil 2.10'de makro modelleme için tipik elemanlar gösterilmiştir.

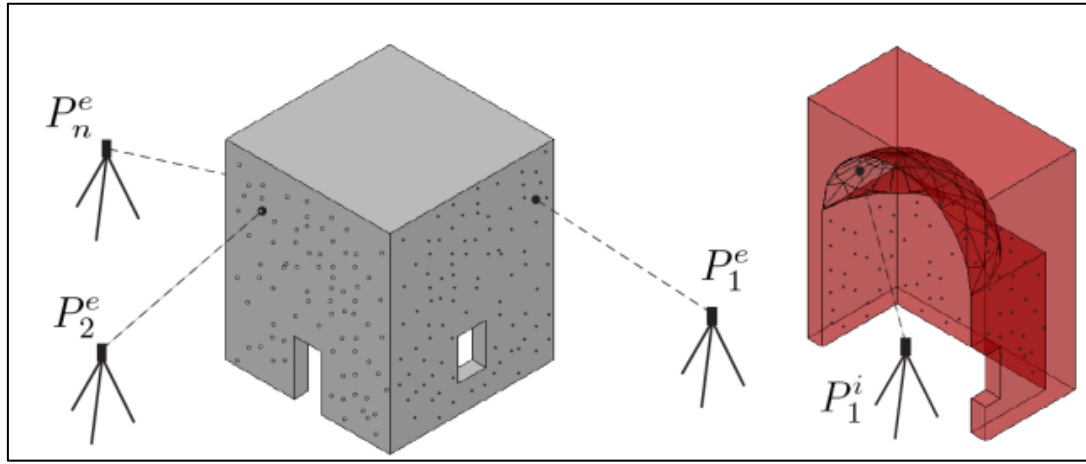


Şekil 2.10. Makro modelleme yöntemi [33]

### 2.5.4. Voksel modelleme

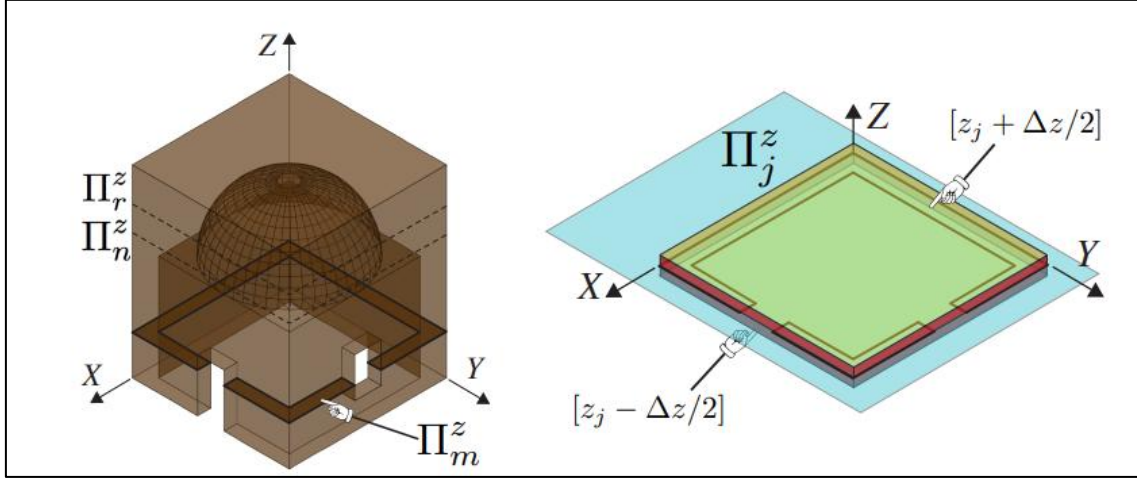
Nokta bulutu, saha ölçümlerinde kullanılan lazer tarayıcılar aracılığıyla elde edilen, üç boyutlu koordinat bilgilerine sahip bir nokta kümesidir. Bu teknoloji, genellikle Karasal Lazer Tarayıcı (TLS - Terrestrial Laser Scanner) olarak adlandırılan optik cihazlar yardımıyla gerçekleştirilir. TLS cihazları, gönderilen lazer ışınlarının yüzeylerden yansımalarını temel alarak yöneltilen yüzeye ilişkin gerçek zamanlı bir nokta kümesi oluşturur. Cihazın çalışma prensibi, lazer ışınlarının hem yatay hem de düşey doğrultularda

360 derece tarama yapmasıyla ilgilidir. Tarama sırasında ölçülen mesafe ve açı değerleri, anlık olarak kodlanır ve polar koordinatlar ( $r$ ,  $\theta$ ,  $\beta$ ) olarak kaydedilir. Ardından bu polar koordinatlar, kartezyen koordinatlara ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ) dönüştürülerek üç boyutlu bir veri seti oluşturulur (Şekil 2.11). Tarihi yapılar gibi karmaşık geometrilere sahip yapıların iç ve dış mekânlarına ilişkin ölçümler, farklı noktalardan elde edilen nokta bulutlarının birleştirilmesiyle detaylı bir şekilde ortaya konabilir. Bu sayede, mevcut yapının iç ve dış koordinat sistemleri yüksek doğrulukla modellenebilir. Nokta bulutu verilerinden yapısal model oluşturmak için kullanılabilen iki temel modelleme tekniği bulunmaktadır. Bu teknikler ağ oluşturma (mesh generation) yöntemi ve Voksel (voxelization) yöntemidir [15].



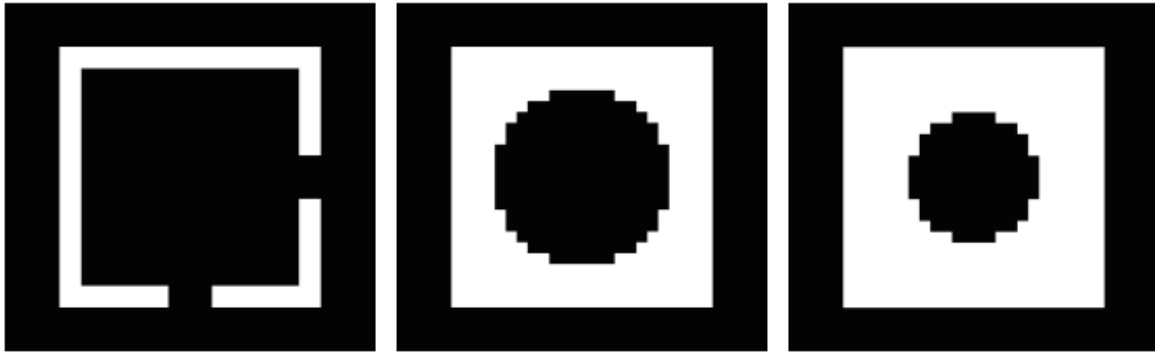
Şekil 2.11. Karasal lazer tarayıcı ölçüm yerleri [35]

Voksel, bir pikselin üç boyutlu karşılığı olarak tanımlanabilir. Piksel, bir noktayı iki boyutlu bir düzlemde ifade ederken, voksel, bir noktayı üç boyutlu uzayda tanımlayan grafiksel bilgiyi ifade etmektedir. Voksel modelleme, nokta bulutu verilerinin belirli aralıklarla dilimlenmesi ve elde edilen plan veya kesit düzlemlerinin üst üste yerleştirilmesi prensibine dayanır. Bu kesim işlemi, yapının özelliklerine bağlı olarak plan düzleminde ya da kesit düzleminde gerçekleştirilebilir (Şekil 2.12).

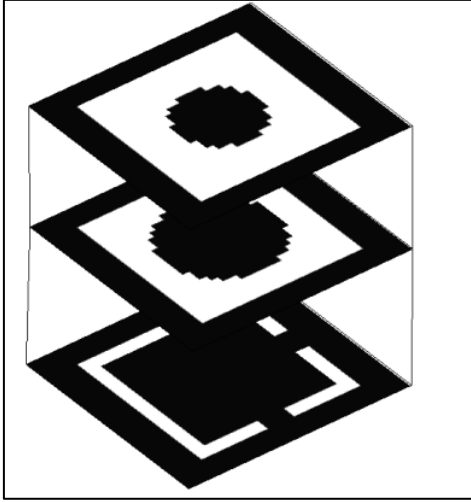


Şekil 2.12. Plan düzleminde dilimleme [35]

Yapısal model oluşturma süreci, nokta bulutu verilerinin işlenmesiyle başlar. İlk adım, nokta bulutu içerisinde analize dâhil edilmeyecek noktaların temizlenmesidir. Verinin optimize edilmesinin ardından, kesim işlemlerinin doğru bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için nokta bulutu üzerinde bir ağ (mesh) oluşturulur. Bu ağ, yüzeylerin kesim düzlemleriyle tam bir uyum içinde olması amacıyla oluşturulur. Ağ oluşturma işleminin ardından, oluşan ağ yapısı detaylı bir şekilde kontrol edilir ve varsa hatalar düzeltilir. Bu hazırlık işlemlerinden sonra, elde edilen dilim görüntüleri (Şekil 2.13) üst üste yerleştirilir (Şekil 2.14) ve voksalizasyon aşamasına geçilir. Bu aşamada, dilim görüntülerine belirlenen dilim aralığına uygun bir yükseklik verilerek nokta bulutu verileri üç boyutlu bir modele dönüştürülür.

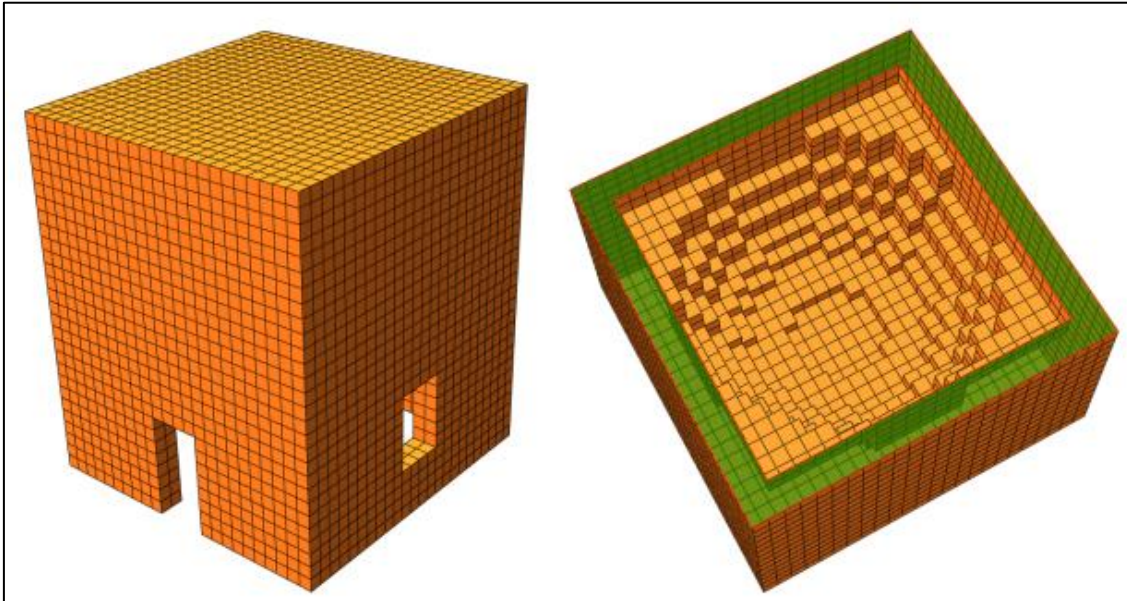


Şekil 2.13. Elde edilen dilimler [35]



Şekil 2.14. Dilimleri üst üste yerleştirme [35]

Böylece, nokta bulutundan başlayarak ağ sistemine ve ardından yapının üç boyutlu modeline geçiş sağlanmış olur. Sonuç olarak, oluşturulan üç boyutlu yapı modeli, yapının taşıyıcı sisteminin analizi için sonlu elemanlar programlarına yönlendirilir. Bu sayede, özellikle tarihi yapılar gibi karmaşık ve hassas sistemlerin yapısal davranışlarının detaylı bir şekilde analiz edilmesi mümkün hale gelir. Şekil 2.15’de, Şekil 2.11’de gösterilen temsili yapı için hazırlanmış sonlu elemanlar voksel modeli gösterilmiştir.



Şekil 2.15. Voksel modeli [35]

Voksel modelleme yöntemi ile klasik modelleme yöntemi arasındaki temel fark analitik modelde tanımlanan elemanlarının yük aktarım davranışı konusunda mühendislik

muhakemesi bulunma durumudur. Klasik modelleme yönteminde mühendis yapı etki eden yüklerin çatıdan temele iletilmesi için gerekli eleman tanımlarının kararını verirken, voksel modelleme yönteminde mühendis yapı davranışına müdahil olmamaktadır. Ancak günümüzde verilen mühendislik eğitiminin yığma yapıların taşıyıcı sistem bilgilerinin yeterli düzeyde irdelememektedir.

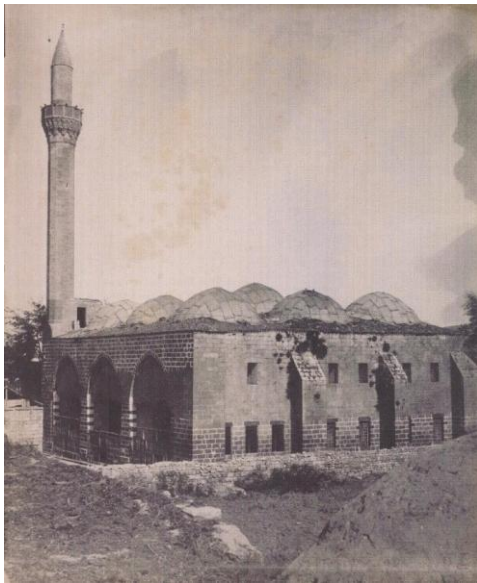


### 3. HÜSEYİN PAŞA CAMİ MİNARESİNİN İRDELENMESİ

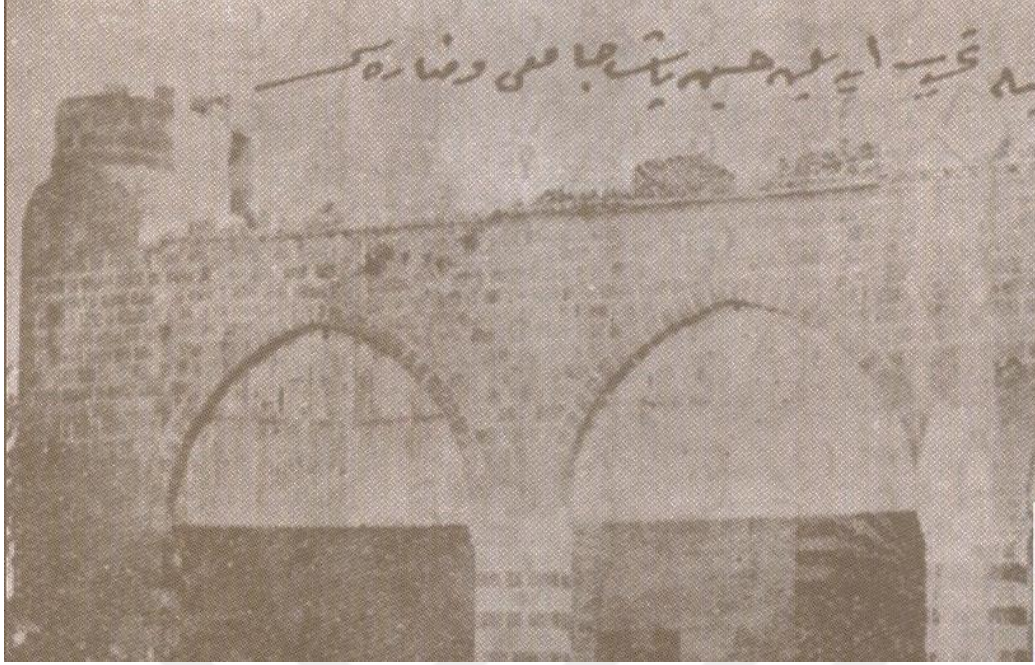
#### 3.1. Hüseyin Paşa Camii Tarihi

Hüseyin Paşa Camii diğer adıyla Çıkrıkçı Camii, Gaziantep ilinde Hicri 1112, Miladi 1700-1701 yılları arasında Rakka Valisi Ali Paşa'nın kethüdası Hüseyin Paşa b. Yusuf Ağa tarafından o dönemki ismi Ammu, günümüzde Alaybey olarak isimlendirilen mahallede yaptırılmıştır. Camii, medresesi, mektebi ve bunları destekleyen vakıfları ile imaret görünümündedir [36]. Ali Paşa'nın kızıyla evlenen Hüseyin Ağa, sonrasında Paşa unvanı ile Rakka, Sivas, Musul ve Amasya'da valilik yapmıştır. Hüseyin Paşa Hicri 1156, Miladi 1743 yılında vefat etmiştir [37].

Hüseyin Paşa Camii, Gaziantep tarihinde çok kubbeli caminin tek örneğidir [38]. Minare, ilk inşa edildiği dönemde tek şerefeli olarak inşa edilmiştir (Resim 3.1). Antep Savunması sırasında (1920- 1921) caminin minaresi ve bazı kubbeleri işgal kuvvetlerinin top atışlarıyla yıkılmıştır. Minaredeki kürsü pabucuna kadar olan yıkım Resim 3.2'de gösterilmiştir. 1953 yılında yeniden tek şerefeli olarak inşa edilmiştir ve sonrasında yeni bir ekleme yapılarak ikinci şerefesi eklenmiştir. Ancak bu şerefenin ne zaman eklendiği tam olarak bilinmemektedir. Mevcut hali ile çift şerefeli olarak kullanılmaktadır. Her şerefenin motifleri ve işçiliği farklılık göstermektedir, motiflerdeki farklılık minarenin farklı zamanda inşa edildiğini tasdikleyen bir özelliğidir. Resim 3.3'de şerife motifleri gösterilmiştir [39] .



Resim 3.1. 1890 yılında Camii ve minarenin görünüşü



Resim 3.2. Yıkılan kubbe ve minarenin 1920 yılındaki görünüşü

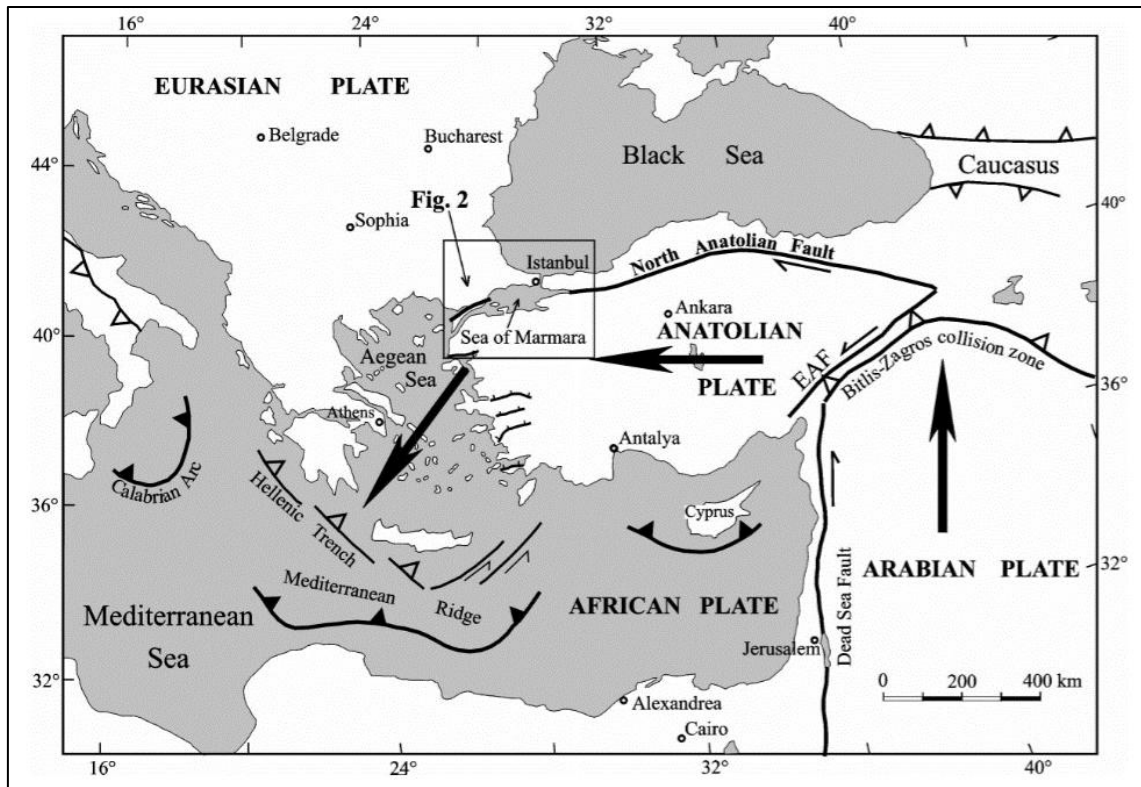


Resim 3.3. Farklı zamanlarda inşa edilen şerefe motifleri

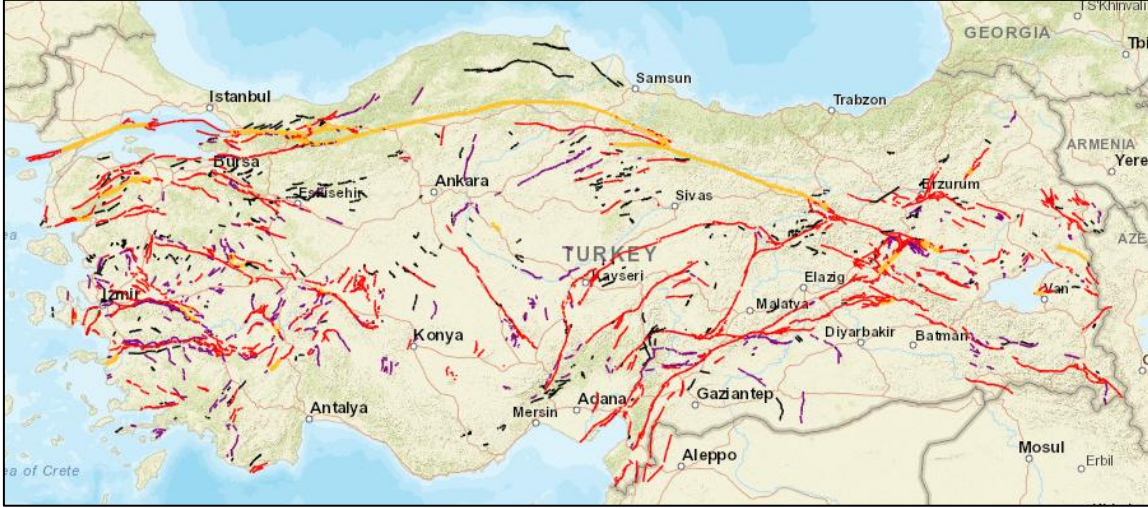
### 3.2. Gaziantep'in Depremselliği

Afrika plakası güney tarafında olan hareketlilik sebebiyle kuzeye doğru yönelmektedir. Arap plakası ise daha hızlı hareket ederek kuzeye doğru kaymıştır. Arap ve Anadolu levhaları Güneydoğu Anadolu Bindirmesi (Bitlis-Zagros Kenet Kuşağı) boyunca Tortoniyen döneminde (günümüzden yaklaşık 10 milyon yıl önce) çarpışmışlardır [40]. Pliyosen dönemine kadar (günümüzden yaklaşık 2-5 milyon yıl önce) levha hareketlerinden kaynaklanan sıkışmalar bindirme fayları ve kıvrım oluşumları ile karşılaşmıştır. Geç Pliyosen döneminde sıkışmalardan kaynaklanan gerilmeler kıvrımlar tarafından karşılanamaz hale gelmiş ve yanal atımlı faylar oluşumu baskın hale gelmiştir (Şekil 3.1). Bu şekilde Kuzey Anadolu Fayı sağ yönlü, Doğu Anadolu Fayı ve Ölü Deniz Fayı sol yönlü doğrultu atım geliştirmiştir [41].

Barka ve diğerlerinin yaptığı çalışmaya göre Arabistan Levhası'nın Avrasya Levhası'na göre hareketi kuzey batı yönünde 20 mm/yıl, Afrika Levhası'nın kuzeye olan hareketi 8 mm/yıl ve Doğu Anadolu Fayı üzerindeki hızın 9mm/yıl olduğunu tespit etmiştir [42]. Türkiye'nin diri fay haritası Şekil 3.2'de verilmiştir [43].



Şekil 3.1. Avrasya, Afrika ve Arap Levhaları arasındaki Göreceli Hareketler [44]



Şekil 3.2. MTA Türkiye diri fay haritası [43]

### 3.3. Gaziantep Bölgesindeki Tarihi Depremler

Mersin'den başlayıp Kahramanmaraş, Bingöl ve Erzincan'a uzanan bölgede 1900 yılından büyük felaketin yaşandığı 06.02.2023 tarihine kadar en büyüğü 6.8 olarak büyüklüğü 4'den büyük olan 224 adet deprem meydana gelmiştir. 1900 yılı öncesi ise 75 adet tarihsel dönem deprem kaydı bulunmaktadır. Doğu Anadolu Fayı 19. yüzyılda 1789 Elâzığ Palu depremi ile başlayan ardından 1822, 1866, 1872, 1874, 1875, 1893 ve son olarak 1905 Malatya ile tamamlanan deprem serisi oluşturmuştur. Bu deprem seriden sonra 20. yüzyılda Doğu Anadolu Fayı görece sakin bir döneme girmiş ancak yine de 7'den büyük olmayan  $M_w > 5,0$  olan 13 hasar yapıcı deprem üretmiştir. Bu depremlerin en büyükleri 22 Mayıs 1971 tarihinde  $M_w:6,8$  ile Bingöl'de, 5 Mayıs 1986 tarihinde  $M_w:6,8$  ve 6 Mayıs 1986 tarihinde  $M_w:5,6$  ile Malatya Doğanşehir'de meydana gelmiştir. 21. yüzyılın başlaması ile daha aktif döneme giren Doğu Anadolu Fayı 1 Mayıs 2003 tarihinde  $M_w:6,3$  ile Bingöl'de, 14 Mart 2005 tarihinde  $M_w:5,8$  ile Bingöl Karlıova'da, 21 Şubat 2007 tarihinde  $M_w:5,7$  ile Malatya Doğanyol'da, 8 Mart 2010 tarihinde  $M_w:6,1$  ile Elâzığ Kovancılar 'da, 24 Ocak 2020 tarihinde  $M_w:6,8$  ile Elazığ Sivrice'de, 14 Haziran 2020 tarihinde  $M_w:5,7$  ile Bingöl Karlıova'da hasar yapıcı depremleri oluşturmuştur. Bölgede 1900 yılından 6 Şubat 2023 tarihine kadar geçen zamanda büyüklüğü 6,0'ın üzerinde olan depremler Harita 3.1'de gösterilmiştir [45].





Harita 3.2. Pazarlık Depremi merkez üssü (AFAD)

İkinci deprem yerel saat 13:24 (TSİ)'te merkez üssü Elbistan'da (Enlem:38,089; Boylam:37,239), moment büyüklüğü ( $M_w$ ) 7,6 ve odak derinliği 7 km olarak gerçekleşmiştir. TADAS'ta deprem ID'si 543593 olarak tanımlanmıştır. Harita 3.3'de depremin merkez üssü gösterilmiştir [47].

AFAD tarafından Elbistan depremi için en büyük ivme, hız ve yer değiştirme değerleri TK.4612 numaralı Göksun, Kahramanmaraş istasyonundan alınan verilerle hesaplanmıştır. Bu istasyon için hesaplanan en büyük ivme  $PGA=691,1 \text{ cm/sn}^2$ , hız  $PGV=115,7 \text{ cm/sn}$  ve yer değiştirme  $PGD=66,5 \text{ cm}$  olmuştur. Depremin belirgin süresi bu istasyon için 28,7 saniyedir [45].



Harita 3.3. Elbistan Depremi merkez üssü (AFAD)



Malatya Yeni Camii, Hatay Habibi Neccar Camii, Nurdağı Ökkeşiye Camii gibi hem tarihsel hem de sembolik değeri yüksek yapılar tamamen yıkılmıştır. Gaziantep, Hatay, Kahramanmaraş ve Malatya'daki tarihi camilerin çoğu ağır ve orta hasar seviyesinde hasar görmüş, onarım ve restorasyon olmadan tamamen hizmet dışı kalmış veya kısmen hizmet verebilir seviyede kalmışlardır. Tarihi veya yeni yapı camilerden ana yapısı zarar görmemiş veya az hasarlı olanların ise çoğunun minaresi yıkılmış durumdadır. Vakıf eserlerinin toplam onarım-restorasyon maliyeti 8,2 milyar TL olarak öngörülmektedir. Yaşanan depremlerin Türkiye ekonomisi üzerindeki maliyet etkisi 103,6 milyar USD olarak öngörülmüştür [48]. Deprem sonrası bölgede yaşanan yıkımlardan bazılarını gösteren görüntüler Resim 3.4'de verilmiştir.



Resim 3.4. Deprem sonrası bölgeden çekilen görüntüler [49]

### 3.4.1. Deprem verileri

Kahramanmaraş deprem kayıtları için cami konumuna en yakın olan ve yaklaşık 3,50 km uzaklıkta bulunan TK.2703 numaralı istasyon verileri kullanılmıştır (Şekil 3.3). İstasyon verileri TADAS internet sayfasından alınmıştır.



Şekil 3.3. TK.2703 istasyonu ve minarenin konumlarını gösteren uydu görüntüsü

Minare rakımı 838m, istasyon rakımı 851m'dir. Minare ve istasyon arasındaki rakım ve uzaklık farkının az olmasından dolayı iki noktada zemin koşulları yakın olduğu düşünülebilir.

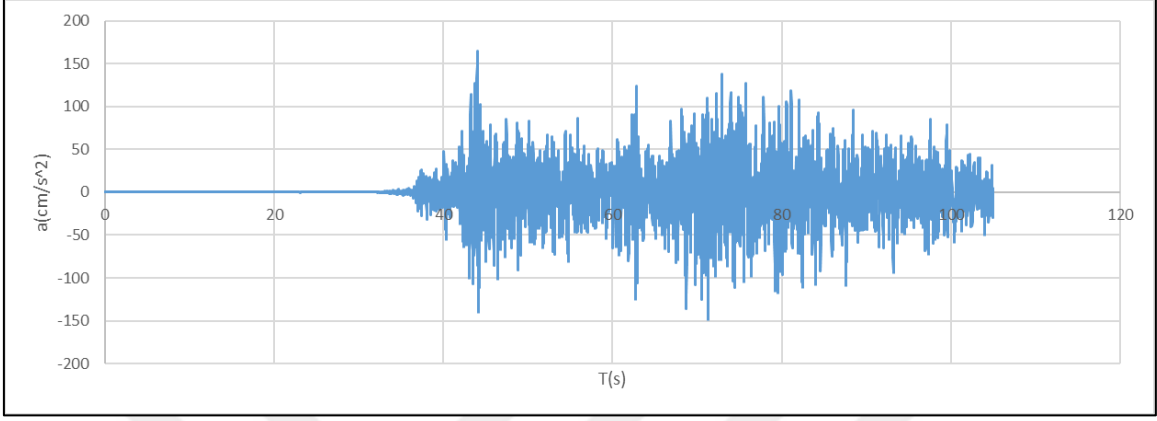
TK.2703 numaralı istasyona ait bilgiler Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. TK.2703 istasyon bilgileri

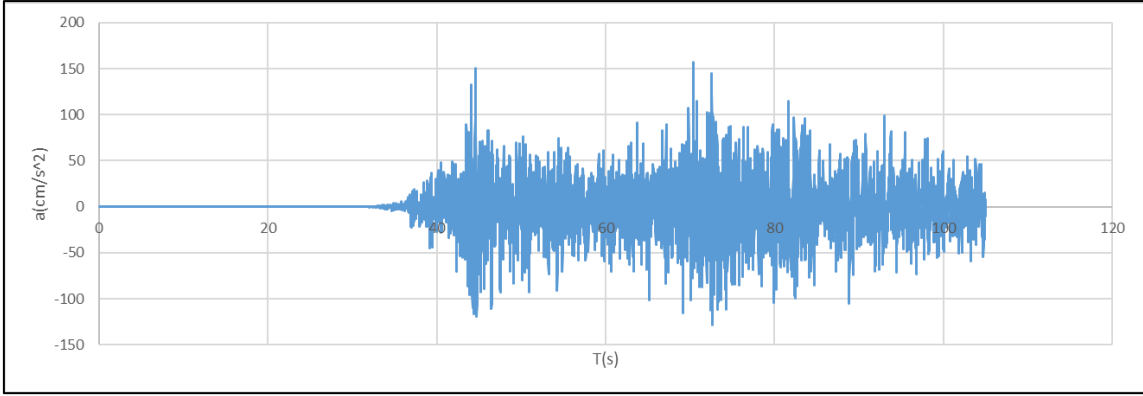
|                        |   |
|------------------------|---|
| Kayıt İstasyonu        | AI_274_GZT                              |
| İstasyon Koordinatları | 37.05885 K<br>37.35073 D<br>Datum:WGS84 |
| Rakım                  | 851m                                    |
| Lokasyon               | Meteoroloji Müdürlüğü                   |
| İstasyonun Adresi      | Gaziantep                               |
| Sismik Etüdün Tarihi   | 13 Ekim 2008                            |
| Yapı Türü              | Konteyner                               |

Yapıya etkileyen 6 Şubat 2023 deprem bilgileri Türkiye İvme Veri Tabanı ve Analiz Sistemi'nden (TADAS) deprem ivme değerleri ve Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulamasından deprem bilgileri alınmıştır. Tehlike haritasından alınan bilgilere göre DD2 (50 yılda aşılma olasılığı %10 -tekrarlanma periyodu 475 yıl- olan deprem yer hareketi yüzeyi) için  $S_s=0,389$ ;  $S_1=0,139$ ;  $S_{DS}=0,506$ ;  $S_{D1}=0,208$ ;  $PGA=0,166$ ;  $PGV=11,989$  olarak alınmıştır.

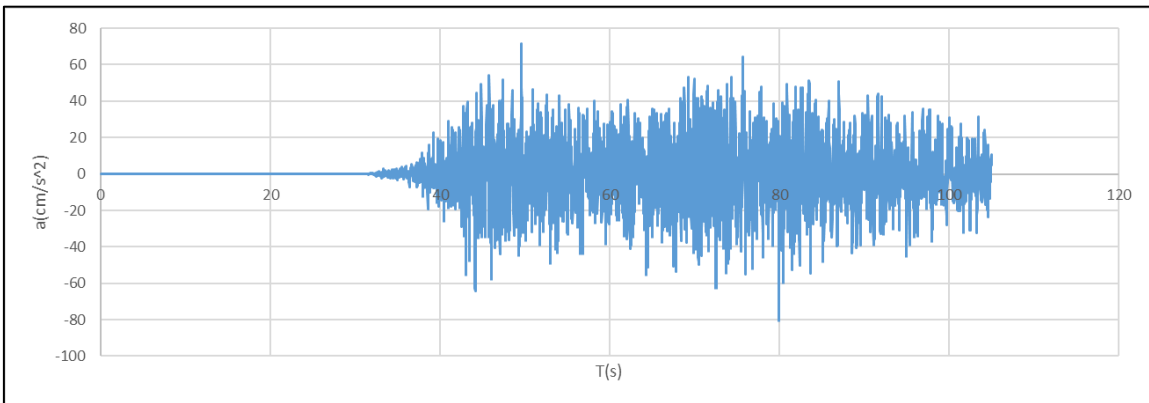
6 Şubat 2023'te meydana gelen Pazarcık depremi için TK.2073 istasyonundan alınan E (doğu-batı), N (kuzey-güney) ve U (düşey) doğrultulardaki ivme zaman grafikleri Şekil 3.4, Şekil 3.5 ve Şekil 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.4. TK.2703 istasyonu Pazarcık depremi E doğrultusu ivme.zaman grafiği

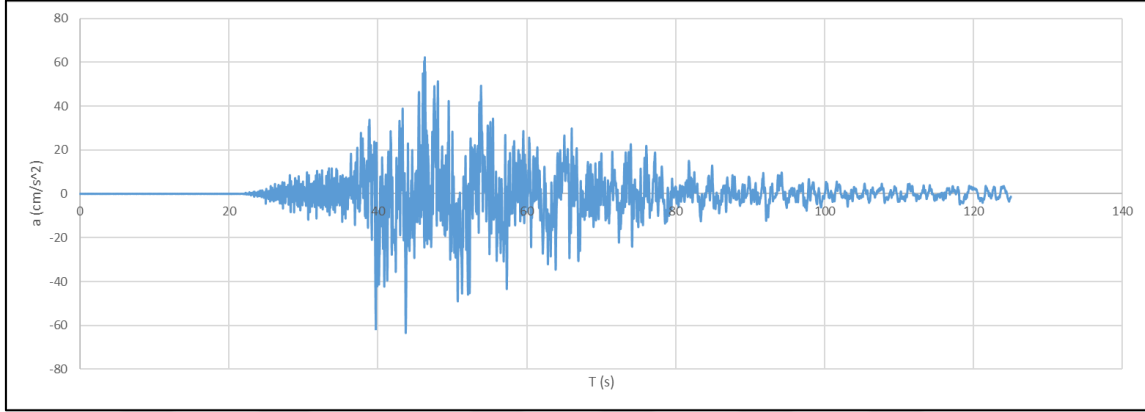


Şekil 3.5. TK.2703 istasyonu Pazarcık depremi N doğrultusu ivme.zaman grafiği

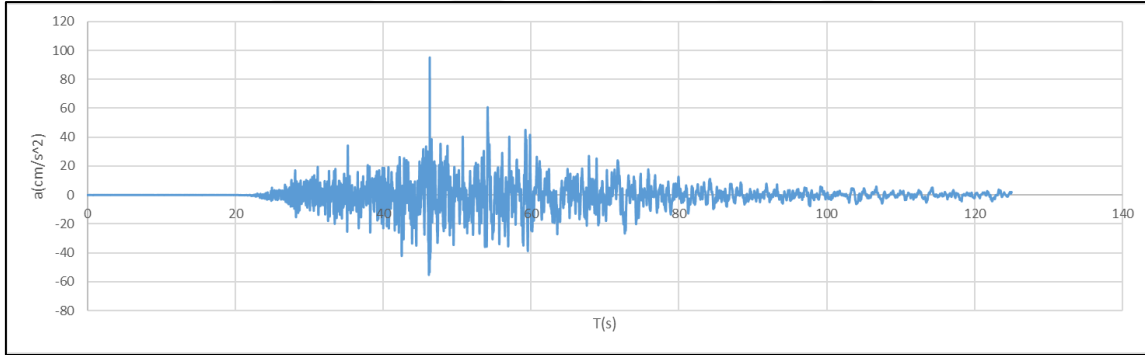


Şekil 3.6. TK.2703 istasyonu Pazarcık depremi U doğrultusu ivme.zaman grafiği

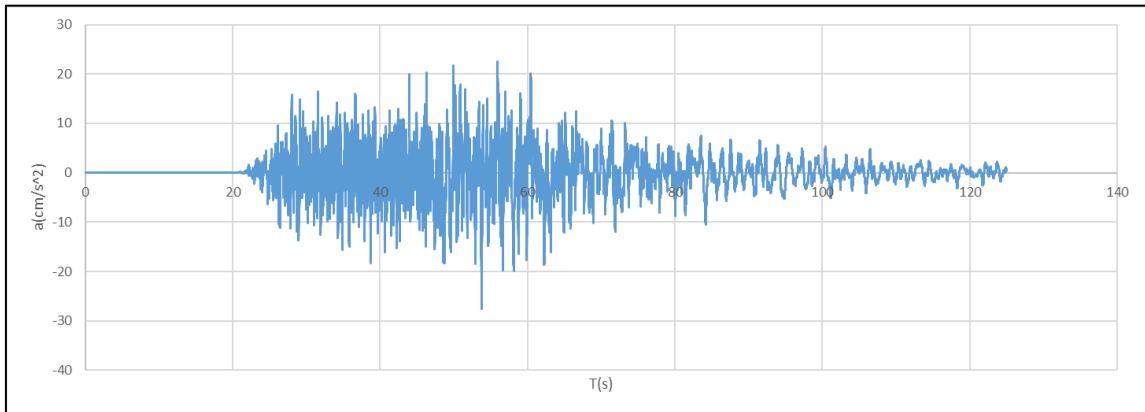
6 Şubat 2023'te meydana gelen Elbistan depremi için TK.2073 istasyonundan alınan E (doğu-batı), N (kuzey-güney) ve U (düşey) doğrultulardaki ivme zaman grafikleri Şekil 3.7, Şekil 3.8 ve Şekil 3.9'da verilmiştir.



Şekil 3.7. TK.2703 istasyonu Elbistan depremi E doğrultusu ivme.zaman grafiği

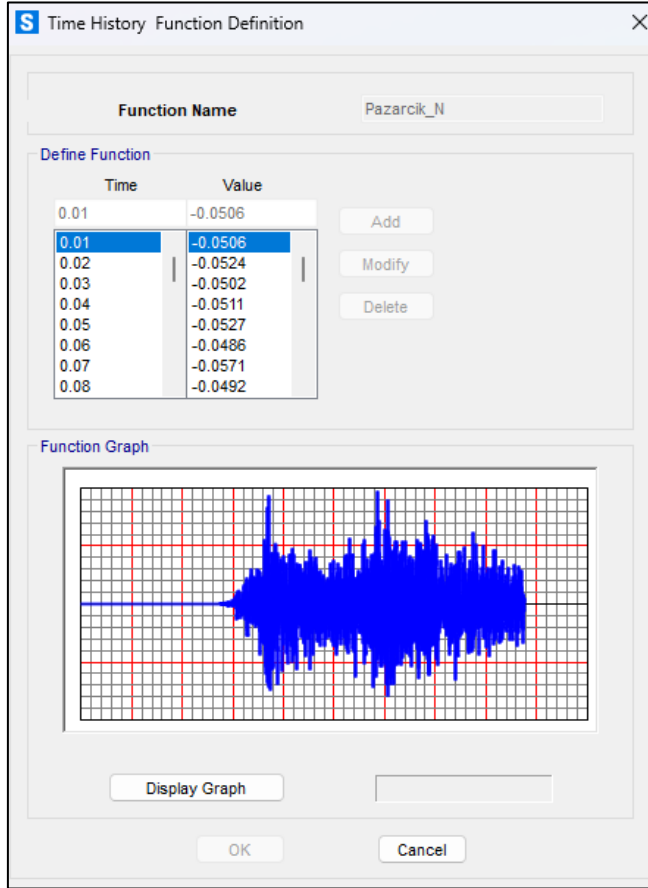


Şekil 3.8. TK.2703 istasyonu Elbistan depremi N doğrultusu ivme.zaman grafiği



Şekil 3.9. TK.2703 istasyonu Elbistan depremi U doğrultusu ivme.zaman grafiği

Analitik modele AFAD veri tabanından alınan ivme-zaman değerleri tanımlanmıştır. Analitik modele tanımlanan deprem verilerinden Pazarcık depremi N doğrultusu verileri örnek olarak Şekil 3.10'da gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Analitik modeldeki zaman tanım verileri

### 3.5. Minare Özellikleri Üzerine Yapılan Çalışmalar

Minare yıkılmadan önceki toplam yüksekliği yaklaşık 37,0 m. olduğu tespit edilmiştir. Kürsü (kaide) kısmında doğu batı doğrultusunda minare ve cami taşıyıcı duvarları bitişiktir. Cami ve minare arasında dilastasyon yapılmamıştır. Bu bitişik olma durumu deprem sırasında minarenin doğu batı doğrultusunda, doğu yönünde hareketine izin verirken, batı yönünde hareketine cami tarafından kısıtlama getirmektedir. Kuzey güney doğrultusunda ise minarenin salınım yapmasını engelleyecek bir durum bulunmamaktadır. Minarede bulunan şerefelere çıkışları sağlayan kapı boşlukları bu yaslanma alanın tam karşında yer almaktadır. Kürsü (kaide) yüksekliği yaklaşık 9,0 m.'dir. İlk şerefe yaklaşık 20,0 m., ikinci şerefe

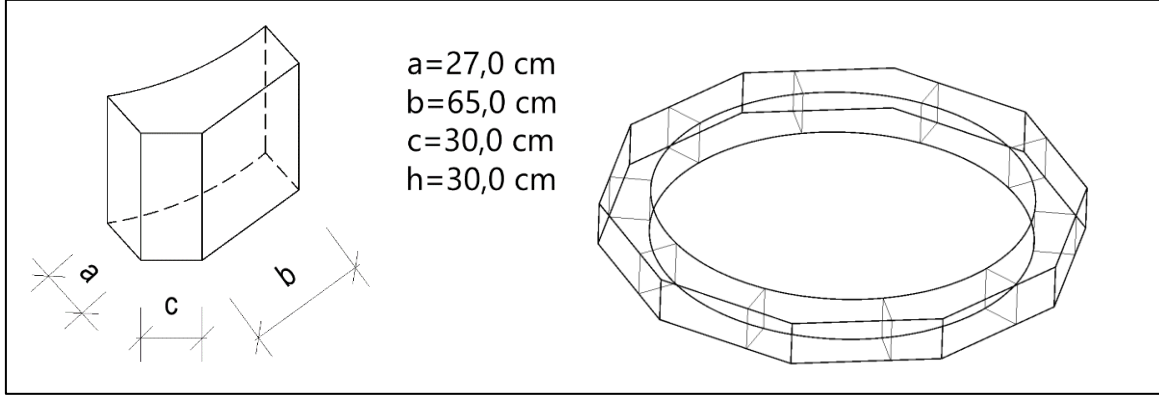
yaklaşık 28,0 m. yüksekliktedir. 6 Şubat 2023 depreminde minarede oluşan yıkım ikinci şerefenin hemen üstündeki yaklaşık 9,0 m.'lik kısmın yıkılmasıyla gerçekleşmiştir.

Minarenin 6 Şubat 2023 depremi öncesi durumu ve depremden sonraki diriltme çalışmaları durumu için iki ayrı sonlu elemanlar modeli oluşturulmuştur. Sonlu elemanlar modelleri SAP2000 yazılımı kullanılmış ve analiz sonuçları bu yazılım üzerinden alınmıştır.

6 Şubat 2023 depremi sonrası minare ve caminin hasar durumlarının tespiti amacıyla sahada nokta bulutu (point cloud) taraması yapılmıştır. Nokta bulutu modelinden voksel yöntemi kullanılarak sonlu elemanlar modeli oluşturulmuştur. Minare kısmı için analitik modele tanımlanan malzemenin özellikleri sahada malzemedan alınan örneklerin sonuçlarına göre düzenlenmiştir.

Tarihi yapılar veya mevcut yapıların analizinde, tüm yapı malzemelerinin mekanik özelliklerinin eksiksiz bir şekilde bilinmesi genellikle mümkün değildir. Bu durum, yapı malzemelerinin zamanla değişen özelliklerinden ve yapı içerisindeki farklı bölümlerde kullanılan malzemelerin çeşitliliğinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca, yapı modellerinin bilgisayar ortamında daha karmaşık hale gelmesi, analiz süreçlerinde hatasız veri girişi yapılmasını ve elde edilen sonuçların doğru bir şekilde yorumlanmasını oldukça güçleştirmektedir. Bu zorluklar göz önüne alındığında, özellikle tüm malzeme deneylerinin gerçekleştirilmesinin mümkün olmadığı veya detaylı modelleme için gerekli veri ve kaynakların sınırlı olduğu durumlarda, duvar yapısını homojen ve izotropik bir model olarak ele alan makro modelleme yaklaşımı daha pratik ve uygun bir çözüm olarak görülmektedir [12].

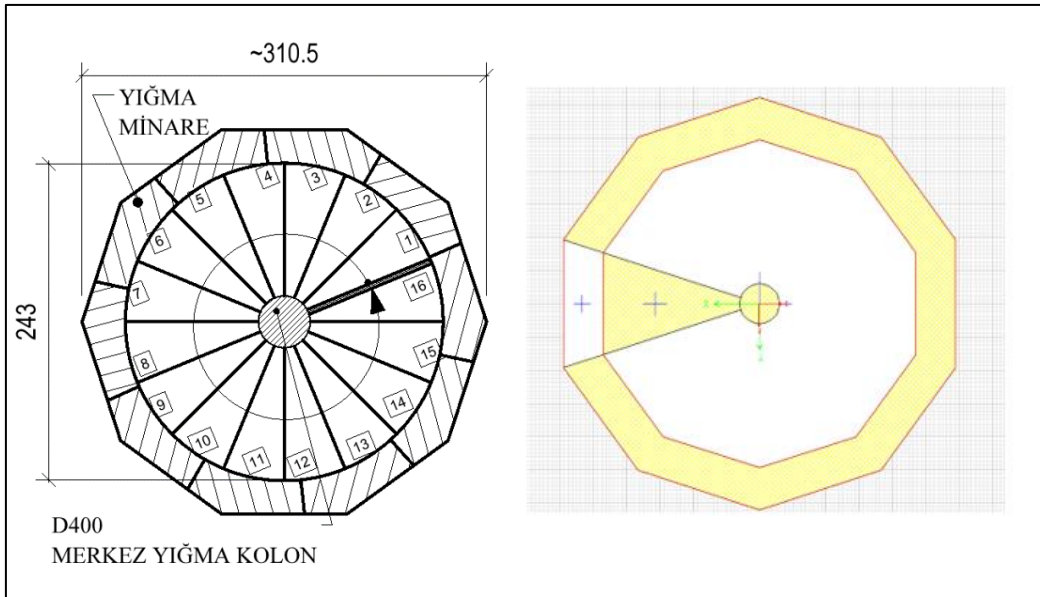
Bu çalışmada makro modelleme yaklaşımı ile voksel tekniği kullanılarak minarenin deprem öncesi durumu ve minarenin depremden sonraki önerilen diriltme yöntemi için iki farklı sonlu elemanlar analiz modeli oluşturulmuştur. Minare davranışını gerçeğe yakınması için minarenin inşa edildiği kesme taş tuğlalara benzer şekilde katı elemanlarla modellenmiştir. Kürsü, şerefeler, gövde, merdivenler, merkez kolon ve külah dahil olmak üzere toplam yaklaşık 54000 parça modellenmiştir. Sonlu elemanlar modeli nokta bulutu modeli üzerinden hareketle makro modelleme yaklaşımıyla voksel yöntemiyle oluşturulmuştur. Minarenin inşa edildiği kesme taşlara ait tipik ölçüler Şekil 3.11'de verilmiştir.



Şekil 3.11. Minare kesme taşı tipik kesiti ve tipik minare halkası

TADAS sisteminden alınan 6 Şubat 2023 tarihinde gerçekleşen Pazarcık ivme değerleri, sonlu elemanlar yazılımına girilmiştir. Minarenin depremden önceki durum ve diriltme sonrası için yapılan analizler bu veriler üzerinden zaman tanım alanında yapılmıştır.

Minare kesiti modül taşlardan 10 tane yan yana koyularak tam bir daire oluşturulmuştur. Aynı daire 16 basamakta bir tam tur olacak şekilde tamamlanmıştır. Minare kesit özellikleri (Şekil 3.12) kesit alanı  $A=28430$  cm<sup>2</sup>, zayıf mukavemet momenti  $W=1514300$  cm<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır.



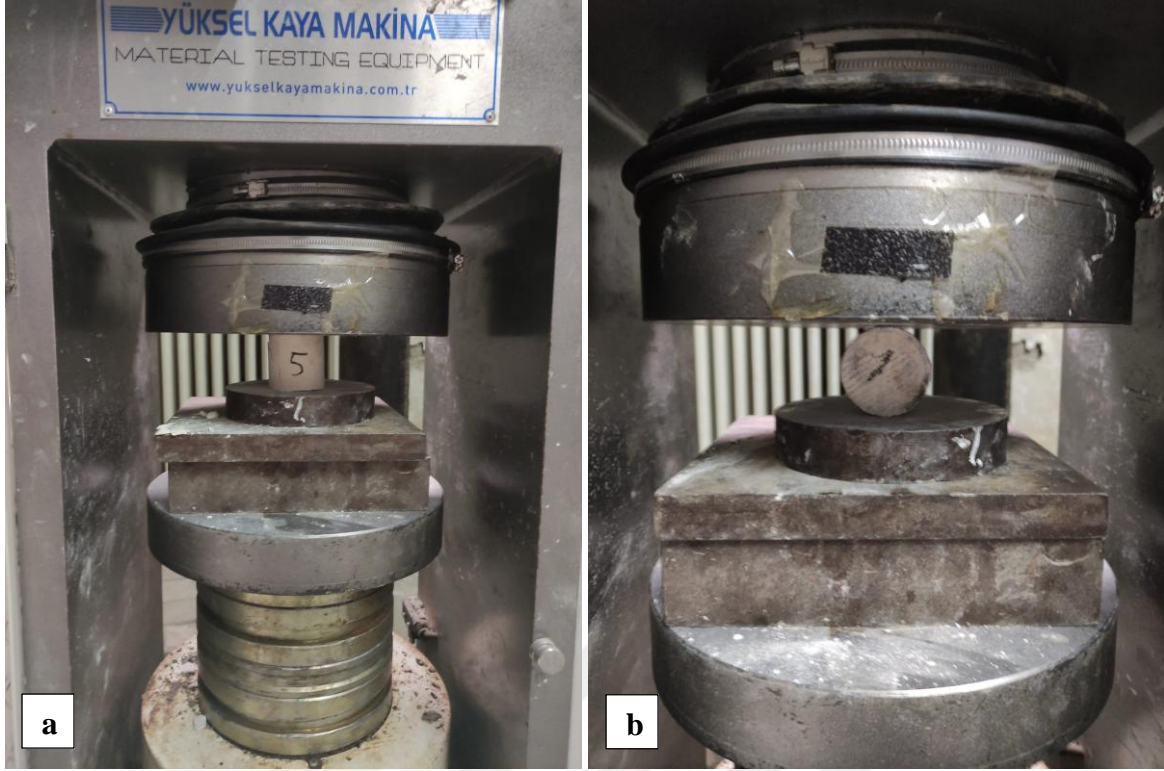
Şekil 3.12. Minare tipik kesiti

Hüseyin Paşa Cami yapısı beden duvarlarında kullanılan kesme taşlarının malzeme dayanımını tespit etmek amacıyla 6 Şubat 2023 depremlerinden önce test numuneleri alınmıştır. Bu amaçla çapları 53 mm olan yükseklikleri 26 mm ve 53 mm olan 6 adet karot numunesi alınmıştır. Alınan karot numuneleri Resim 3.5’de gösterilmiştir.



Resim 3.5. Camiden alınan karot numuneleri

Alınan numunelere tek eksenli basınç testine ve yarmada çekme testleri uygulanmıştır. Numunelere yapılan testlere ait görüntüler Resim 3.6’de verilmiştir.



Resim 3.6. a) Tek eksenli basınç testi, b) Yarmada kesme testi

Tek eksenli basınç deneyleri, kare prizma veya silindir örneklerin boylarına paralel doğrultuda yüklenmesi ile yapılan en basit ve en eski deneylerdir [50].

Tek eksenli basınç testi sonuçları Çizelge 3.2’de verilmiştir. Testler sonucu numunelerin ortalama basınç dayanımı  $10,72 \text{ N/mm}^2$  olarak elde edilmiştir. Sonuçların standart sapması 2,10 olarak elde edilmiştir. Yığma taşıyıcı duvarın basınç dayanımını elde etmek için kullanılan harcın da dayanımının bilinmesi gereklidir. Bu çalışmada harcın basınç dayanımı  $2,0 \text{ N/mm}^2$  olarak varsayılmıştır. Yığma duvarın basınç dayanımı elde etmek için Eurocode 6’da belirlenen eşitlik 3.1 kullanılmıştır.

$$f_k = K f_b^{0,7} f_m^{0,3} \quad (3.1)$$

Burada  $f_k$  yığma yapının basınç dayanımı,  $f_b$  yığma birimin (taş, tuğla) basınç dayanımı,  $f_m$  harcın basınç dayanımı, K ise 0,4-0,6 arasında birimsiz bir katsayıdır. Elastisite modülü Eurocode 6’da tavsiye edildiği üzere  $E=1000f_k$  eşitliği kullanılmıştır [51]. Bu çalışmada K değeri 0,5 olarak varsayılmış ve bu durumda yığma yapının basınç dayanımı ( $f_k$ )  $2,78 \text{ N/mm}^2$ , elastisite modülü (E)  $2778 \text{ N/mm}^2$  olarak elde edilmiştir.

Çizelge 3.2. Tek eksenli basınç deneyi sonuçları

| Numune No | D (çap)<br><i>mm</i> | L (yükseklik)<br><i>mm</i> | P (yük)<br><i>kN</i> | Basınç Dayanımı<br><i>N/mm<sup>2</sup></i> |
|-----------|----------------------|----------------------------|----------------------|--|
| 1         | 53                   | 53                         | 15,3                 | 6,94                                       |
| 2         | 53                   | 53                         | 29,4                 | 13,33                                      |
| 3         | 53                   | 53                         | 23,8                 | 10,79                                      |
| 4         | 53                   | 53                         | 24,6                 | 11,15                                      |
| 5         | 53                   | 53                         | 25,6                 | 11,60                                      |
| 6         | 53                   | 53                         | 23,2                 | 10,52                                      |

Kayaçlarda çekme dayanımının tespitinin zor olmasından dolayı Brezilya silindiri yöntemi olarak da adlandırılan yarmada çekme testi kullanılmıştır. Yükleme plakaları arasına yatay olarak konulan örnekler kırılarak, tek eksenli çekme dayanımı;  $\tau=2P/\pi ld$  bağlantısı ile bulunmaktadır.

Yarmada çekme testi sonuçları Çizelge 3.3’de verilmiştir. Testler sonucu numunelerin ortalama çekme dayanımı 3,41 N/mm<sup>2</sup> olduğu elde edilmiştir. Sonuçların standart sapması 1,02 N/mm<sup>2</sup> çıkmış ve sonuç olarak numunelerin çekme dayanımı 2,39 N/mm<sup>2</sup> olarak elde edilmiştir.

Çizelge 3.3. Yarmada çekme deneyi sonuçları

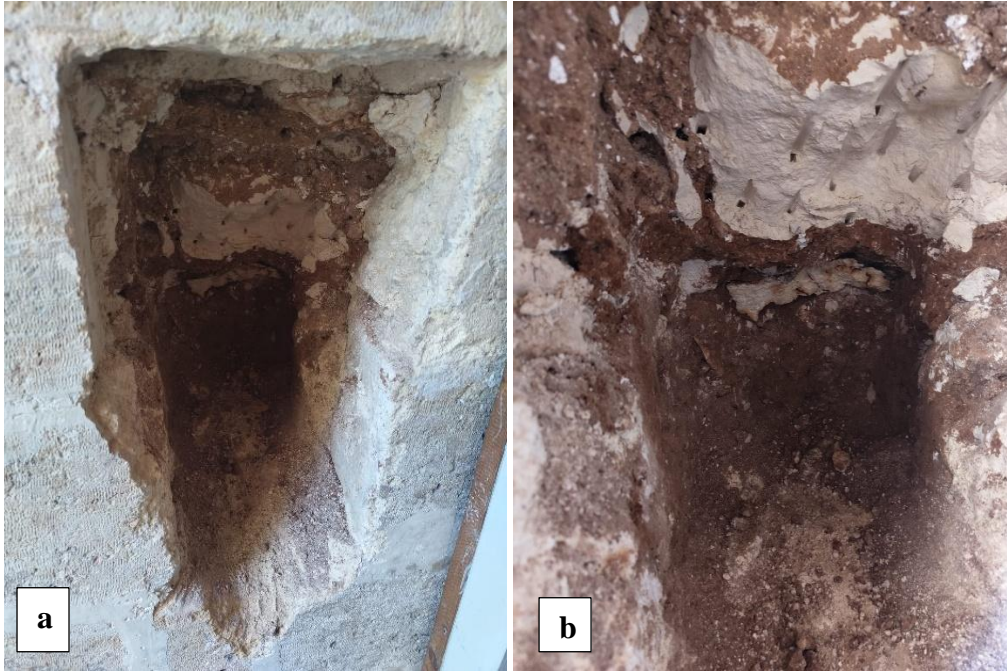
| Numune No | D (çap)<br><i>mm</i> | L (yükseklik)<br><i>mm</i> | P (yük)<br><i>kN</i> | Basınç Dayanımı<br><i>N/mm<sup>2</sup></i> |
|-----------|----------------------|----------------------------|----------------------|--|
| 1         | 53                   | 26                         | 10,8                 | 4,99                                       |
| 2         | 53                   | 26                         | 8,3                  | 3,83                                       |
| 3         | 53                   | 26                         | 8,3                  | 3,83                                       |
| 4         | 53                   | 53                         | 13,9                 | 3,15                                       |
| 5         | 53                   | 53                         | 10,4                 | 2,36                                       |
| 6         | 53                   | 53                         | 10,2                 | 2,31                                       |

Kesme taşı için birim hacim ağırlığı 2150 kg/m<sup>3</sup>, elastisite modülü 2778 MPa, basınç dayanımı 2,78 MPa, poisson oranı 0,2, olarak alınmıştır. Analitik modelde malzeme tanımlamasında bu veriler kullanılmıştır.

Cami yapısı için alana ait zemin etüdü çalışması bulunmamaktadır. Bu nedenle minarenin bulunduğu zemin durumu çok sıkı kum, çakıl kil tabakaları veya ayrılmış çok çatlaklı zayıf kayalar olarak kabul edilmiştir. Analiz modellerinde zemin için yay tanımlaması yapılmamıştır.

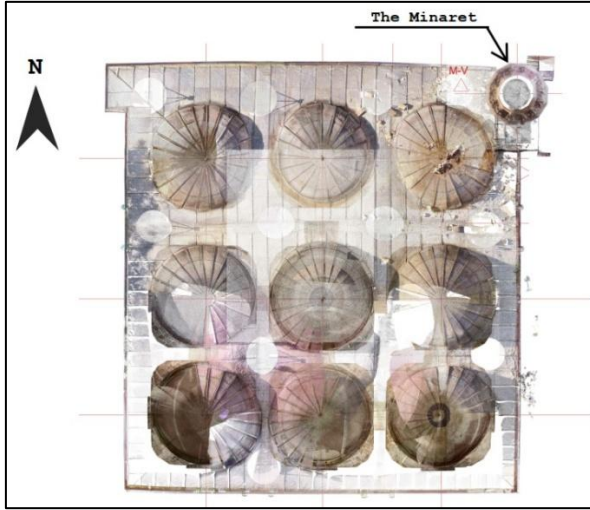
### 3.6. Pazarcık Depremi Öncesi Hüseyin Paşa Cami Minaresinin Durumu

Hüseyin Paşa Camii Minaresi, Kahramanmaraş depremleri öncesinde inşa edildiği zamandan bu tarafa oldukça önemli değişiklikler geçirmiştir. Yüksekliği günümüzden daha kısa olarak tek şerefeli tipte inşa edilmiştir (Resim 3.1). 1914 yılında başlayan Birinci Dünya Savaşı ile Antep 1919'da ilk olarak İngilizler tarafından işgal edilmiştir. İngilizler Ekim 1919'da şehri Fransız işgaline terk etmiştir. Şehir 25 Aralık 1921'e kadar Fransız işgali altında kalmıştır [52]. Bu süre boyunca Antep şehri kahramanca savunulmuştur. Antep savunması sırasında minarede tahribat oluşmuş, minare kürsüye kadar yıkılmıştır (Resim 3.2). Minare daha sonra çift şerefeli olarak zemin iyileştirilmesi yapılmadan yeniden inşa edilmiştir (Resim 3.3). Yeniden inşa sürecinde kürsü içi düzensiz dolgu malzemesi ile doldurulmuştur. Düzensiz dolgunun vasfının tespit edilmesi için kürsü bölgesinde açılan delik içindeki dolgu Resim 3.7'te gösterilmiştir. Açılan tespit deliğinde yapılan gözlemlerde 1920 tarihindeki yıkımın moloz artıkları ile düzensiz olarak doldurulduğu anlaşılmıştır.



Resim 3.7. Kürsü içi düzensiz dolgu görüntüsü (a. uzaktan görüntü, b. yakından görüntü)

Minare caminin kuzey doğu köşesinde bulunmaktadır. Minare camiye kuzey güney doğrultusunda ara dilatasyon bulunmaksızın yaslanmış durumdadır (Resim 3.8). Şerefelere çıkışı sağlayan kapı boşlukları bu yaslanma alanının zıt tarafında bulunmaktadır (Resim 3.9).



Resim 3.8. Cami ve minarenin plan görüntüsü



Resim 3.9. Minarenin 2016 yılındaki bir görüntüsü [53]

Gaziantep ili, aktif fay hatlarına yakın konumu nedeniyle deprem riski açısından kritik bir bölgededir. Tarihsel depremler incelendiğinde, bölgeyi etkileyen en önemli sismik olaylardan biri, 1822 yılında Türkoğlu-Antakya segmentinde meydana gelen ve büyüklüğü  $M_w$  7,5 olarak tahmin edilen depremdir [54]. Resim 3.1'deki 1890 tarihli görsel ve mülhak

vakfının kayıtları dikkate alındığında minarenin bu depremde hasar almadığı tahmin edilmiştir.

6 Şubat 2023 depremi öncesi cami ve minaresinde yapılan çalışmalarda yapının fiziki durumu incelenmiştir. İncelemelerde hem çevresel etmenlerden hem de önceki onarım ve eklentilerden kaynaklı bozulmalar tespit edilmiştir. Deprem öncesinde yapılan son tadilatla cami çatısına dolgu ve kurşun kaplama yapılmıştır. Bu tadilat sırasında mevcut çörtenler kapatılarak yağmur sularının tahliyesi yağmur olukları ve iniş boruları ile sağlanmıştır (Resim 3.10). Yağan yağmur suları yapı temeline aktığı ve duvar eteklerinde nemlenmelere ve yoğun yosunlaşmaya neden olduğu tespit edilmiştir (Resim 3.11).



Resim 3.10. Güney cephedeki yağmur iniş borusu



Resim 3.11. Güney cephede yosun oluşumu

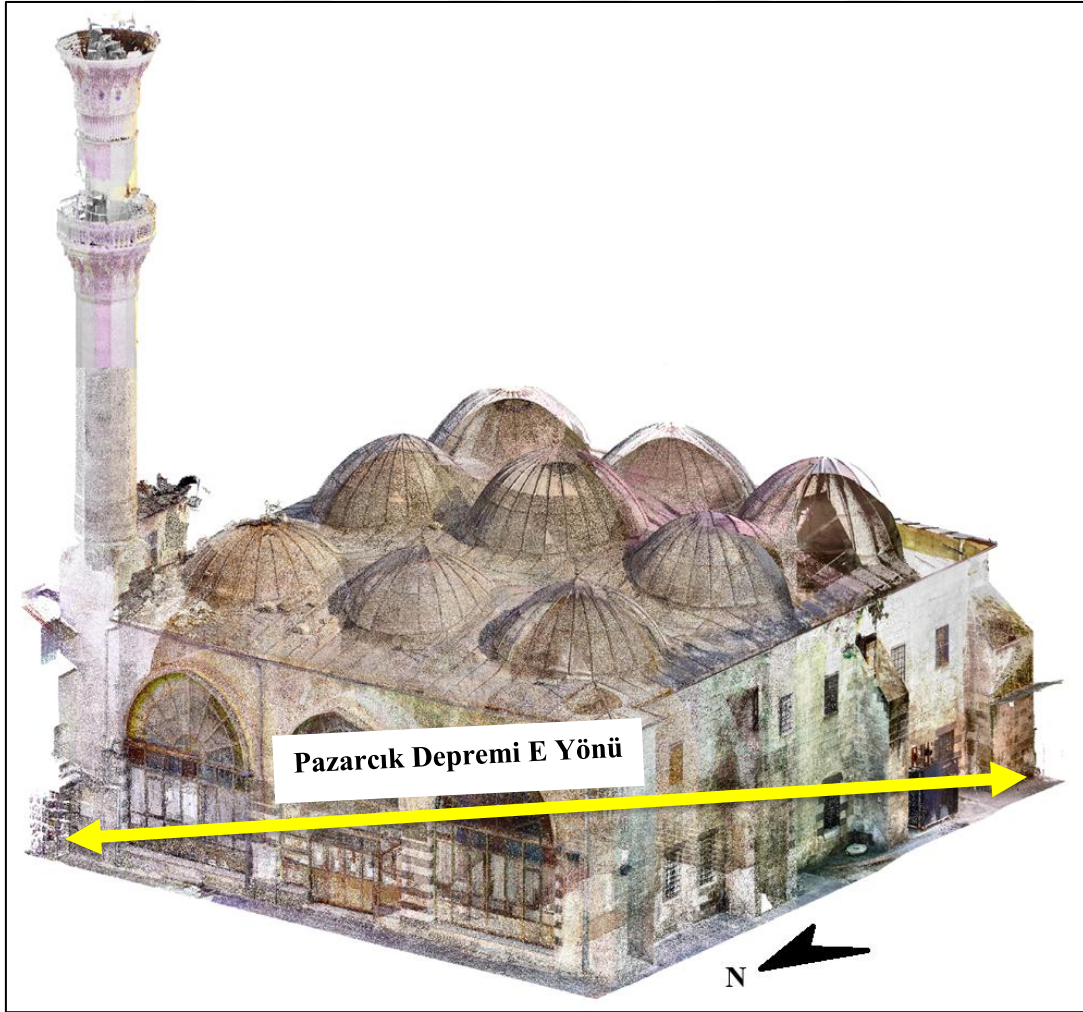
Cami kubbelerinde, pandantiflerinde ve kemerlerinde çatlaklar gözlenmiştir. Minare girişinde ve kaide merdiven birleşimlerinde de çatlaklar tespit edilmiştir (Resim 3.12).



Resim 3.12. Minare merdiven ve kaidesindeki çatlaklar

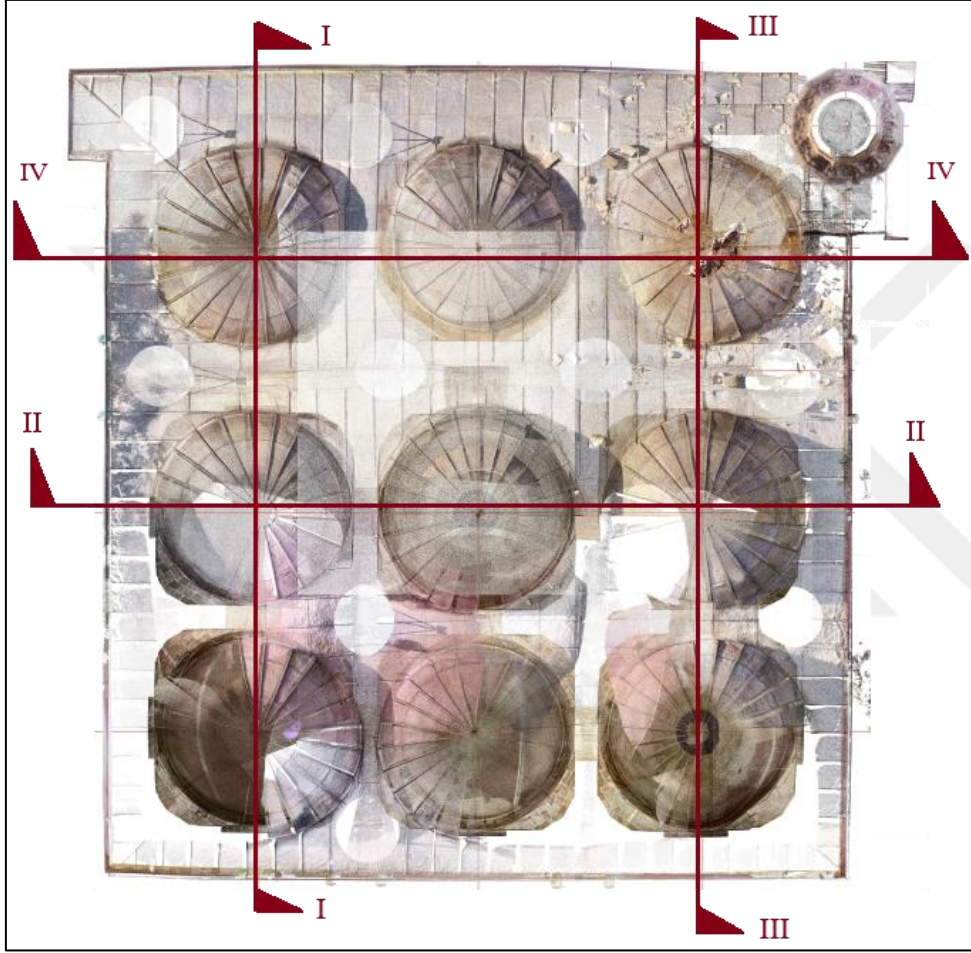
### 3.7. Pazarcık Depremi Sonrası Hüseyin Paşa Cami Minaresinin Durumu

6 Şubat 2023 tarihinde yaşanan depremler öncesinde minare tarihi boyunca önce yıkılmış sonra geliştirilerek yeniden inşa edilmiştir. Bu şekilde hizmet vermeye devam eden tarihi minare, Kahramanmaraş depremlerinden sonra ikinci şerefe üzerinde kalan yaklaşık 9 m'lik kısımdan kısmen yıkılmış ve gövdede hasarlar oluşmuştur. Bu yıkım ve hasarlardan sonra hizmet veremez duruma gelmiştir. Yıkımın Pazarcık'ta yaşanan ilk deprem sonrası olduğu görgü tanıkları tarafından beyan edilmiştir. Depremden sonra minare ve cami için inceleme çalışmaları yapılmıştır. Cami ve minarenin nokta bulut (point cloud) yöntemi ile lazer taraması yapılarak rölöve çizimleri hazırlanmıştır. Deprem sonrası sahada yapılan nokta bulutu görüntüsü Şekil 3.13'da verilmiştir.

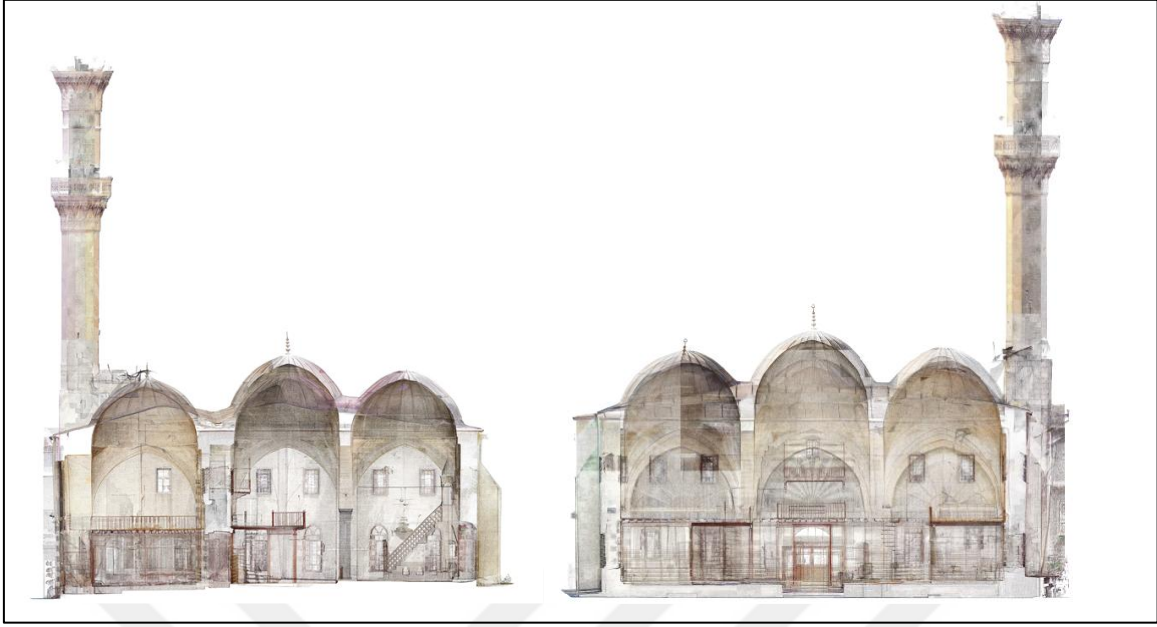


Şekil 3.13. Deprem sonrası minare ve cami nokta bulutu modeli ile Pazarcık depremi doğu.batı yönü

Yapının nokta bulutu verilerinden oluşturulan model üzerinden kesit ve görünüşler oluşturulmuştur. Oluşturulan kesitlerin yerleri Şekil 3.14 üzerinde gösterilmiştir. I kesiti ve II kesiti Şekil 3.15'te gösterilmiştir. III kesiti ve IV kesiti Şekil 3.16'te gösterilmiştir. Cami ve minarenin ön ve arka kısımdan görünüşleri Şekil 3.17'te, sağ ve sol kısımdan görünüşleri ise Şekil 3.18'de gösterilmiştir.



Şekil 3.14. Yapı anahtar planı



Şekil 3.15. I kesiti (solda) ve II kesiti (sağda)



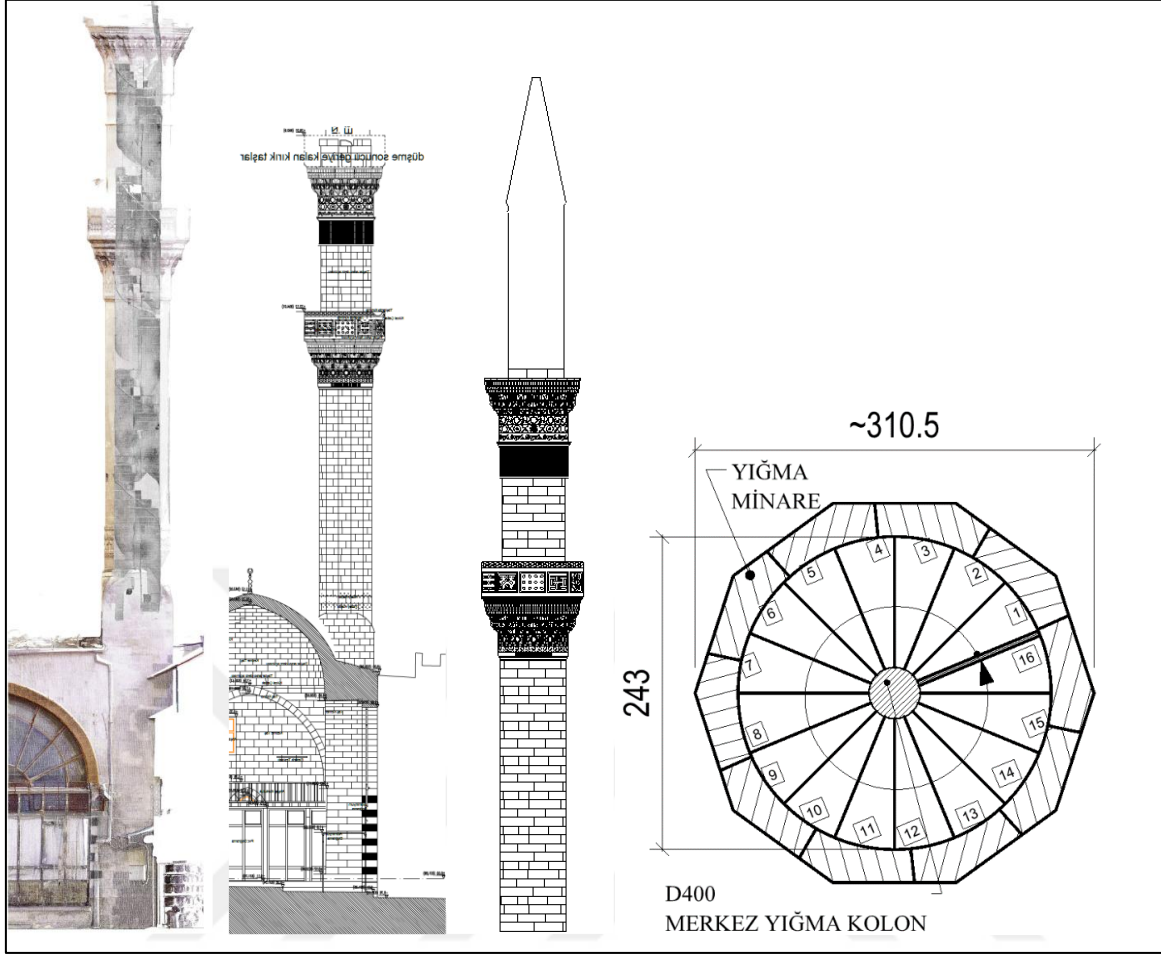
Şekil 3.16. III kesiti (solda) ve IV kesiti (sağda)



Şekil 3.17. Ön görünüşü (solda) ve arka görünüşü (sağda)



Şekil 3.18. Sol görünüş (solda) ve sağ görünüş (sağda)



Şekil 3.19. Nokta bulutu verilerinden çıkarılan rölöveler

Sahada yapılan incelemelerde minarenin ikinci şerefe üstünde kalan yaklaşık 9 m'lik kısmı yıkıldığı görülmüştür. Yıkılan kısım cami kubbelerinin üzerine doğru düşmüştür. Bu yıkım şekli minarenin doğu-batı doğrultusunda salınım yapıp yıkıldığını göstermektedir. Resim 3.13'da minarenin yıkılmadan kalan kısmı ile hasar alan alt tarafı gösterilmiştir. Alt tarafta bulunan hasar alan kısım, sonradan camiye eklenen, özellikle yağmurlu havalarda açık havaya çıkmadan minareye çıkmayı sağlayan taşıyıcı olmayan kısımdır. Minarenin depremden sonraki durumu Resim 3.14'de gösterilmiştir. Minarenin camiye çarpması sonucu cami üzerine yıkılan parçaları Resim 3.15'de gösterilmiştir. Minare ile cami arasında derz olmaması nedeniyle deprem sırasında minarenin hareketi cami tarafından kısıtlanmış, ancak minare üst kısmının hareketini cami tarafına devam etmesi nedeniyle kırbaçlama etkisiyle minare üst kısmı cami üzerine doğru yıkılmıştır. Depremden dolayı Resim 3.16'te görülen pabuç ve üzerindeki gövde taşlarda ezilme, derzlerde açılma olmuştur. Minarenin cami kubbe üzerine yıkılan parçaları cami kubbelerinden bazılarında hasar vermiştir. Hasar alan kubbe ve kubbeyi güvenlik iskelesi sırayla Resim 3.17 ve Resim 3.18'de gösterilmiştir.



Resim 3.13. Minarenin kalan kısmı ve hasar gören alt kısım



Resim 3.14. Minarenin depremden sonraki durumu



Resim 3.15. Minarenin cami üzerine yıkılan parçaları



Resim 3.16. Minare gövdesinde derz açılmaları



Resim 3.17. Kopan minare parçalarının cami kubbesine hasarı



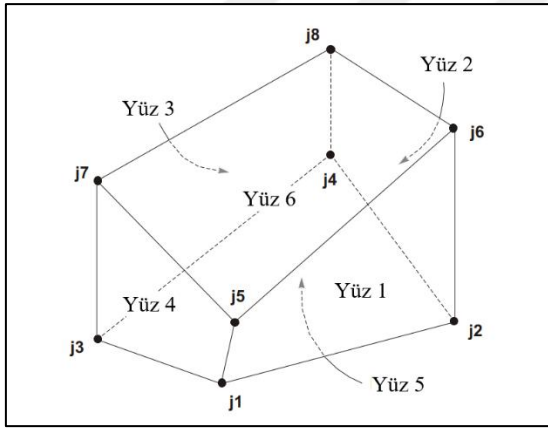
Resim 3.18. Hasar alan kubbeye güvenlik iskelesi uygulaması

## 4. ANALİTİK ÇALIŞMA VE DEĞERLENDİRME

### 4.1. Minarenin Yıkım Öncesi Durumu Analizi

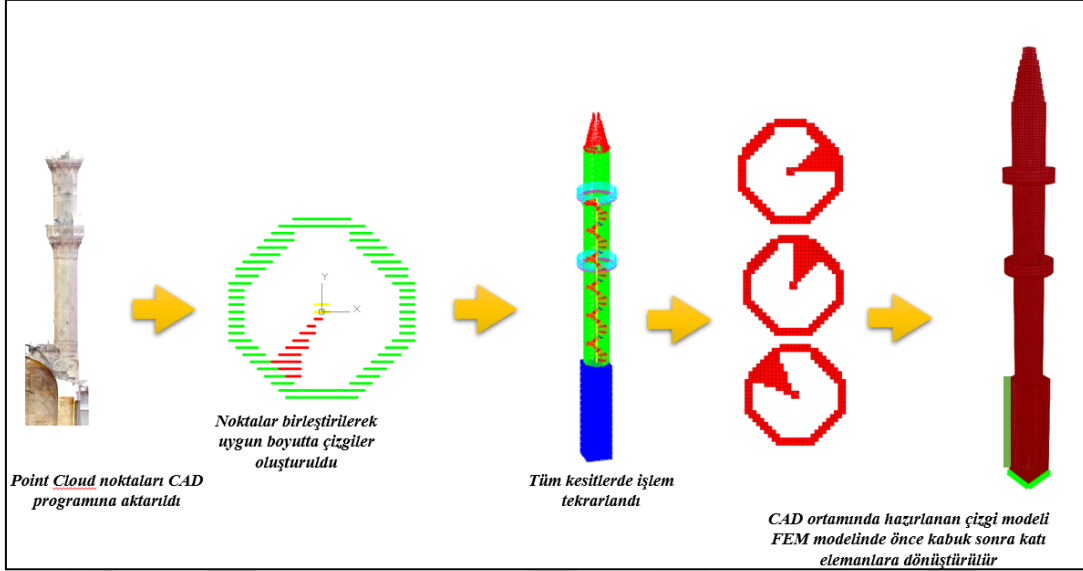
Minarenin depremden önceki durumu voksel modelleme yöntemiyle hazırlanan sonlu elemanlar yöntemiyle araştırılmıştır. Minareye ait kürsü (kaide), gövde, şerefeler, merdivenler ve iç kolon kısımları analiz modeline katı (solid) eleman olarak girilmiştir.

Sap2000 yazılımında her bir katı eleman altı adet dörtgen yüzeye ve her bir köşesinde bir düğüm noktası (node) bulunmaktadır. Katı elemanlar her köşesinde bulunan sekiz noktada bir diğer katı eleman ile bağlantı sağlar. Her bir noktanın her biri X, Y ve Z eksenlerinde olmak üzere üç adet yer değiştirme, üç adet dönme serbestlik derecesi bulunur ancak katı elemanların köşe noktalarında yalnızca üç adet yer değiştirme serbestlik derecesi bulunmaktadır. Dönme serbestlik dereceleri program tarafından aktive edilmez. Katı elemanların bileşenleri Şekil 4.1’de gösterilmiştir [55].



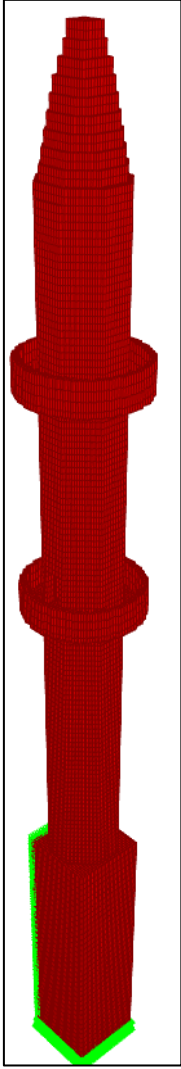
Şekil 4.1. Sap2000 yazılımı katı elemanın bileşenleri [55]

Katı model oluşturulmadan önce yapının nokta bulutu ile taranmış verilerinden kesitler elde edilmiştir. Bu kesitlerdeki noktaların birleştirilmesiyle elde edilen çerçeve (frame) elemanlar minarenin ana geometrisinin oluşmasını sağlamıştır. Çerçeve elemanlardan oluşan kesitler birleştirilerek elde edilen 3 boyutlu görüntü minarenin geometrisinin elde edilmesini sağlamıştır. Çerçeve elemanlar daha sonra kabuk (area) elemanlara, kabuk elemanlar da katı (solid) elemanlara dönüştürülerek minare analitik modele hazırlanmıştır (Şekil 4.2).

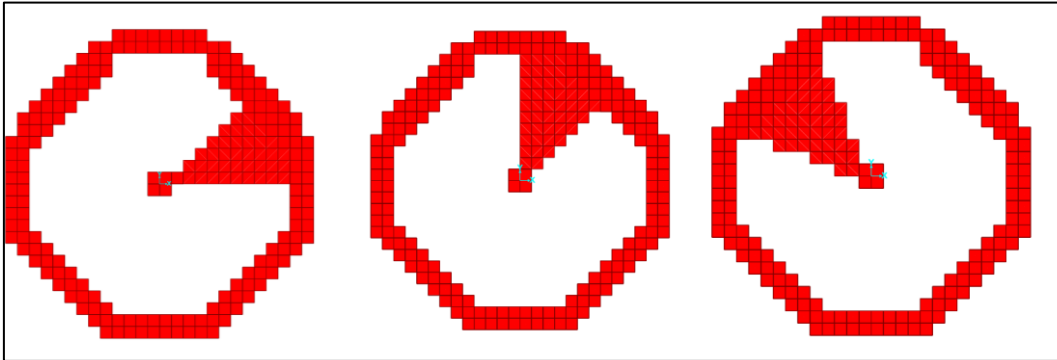


Şekil 4.2. Voksel model oluşturma aşamaları

Kaide ve şerefe kısımlarında  $10 \times 10 \times 30 \text{ cm}^3$  hacimli elemanlar, diğer kısımlarda  $10 \times 10 \times 20 \text{ cm}^3$  hacimli elemanlar kullanılmıştır (Şekil 4.3, Şekil 4.4). Kapı kısımları için modelde boşluklar oluşturulmuştur. Minarenin caminin birleşim kısmı arada derz olmaması nedeniyle minarenin hareketini cami yönünde kısıtlamaktadır. Bu kısımda, minarenin camiye doğru olan hareketini kısıtlamasını sağlamak için modele sadece basınca çalışan yay modellenmiştir. Modellenen yayların yay katsayısı  $3000 \text{ N/m}$  olarak varsayılmıştır. Yaylar Şekil 4.3'te yeşil ile gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Voxel Şap2000 modeli 3d görünüşü



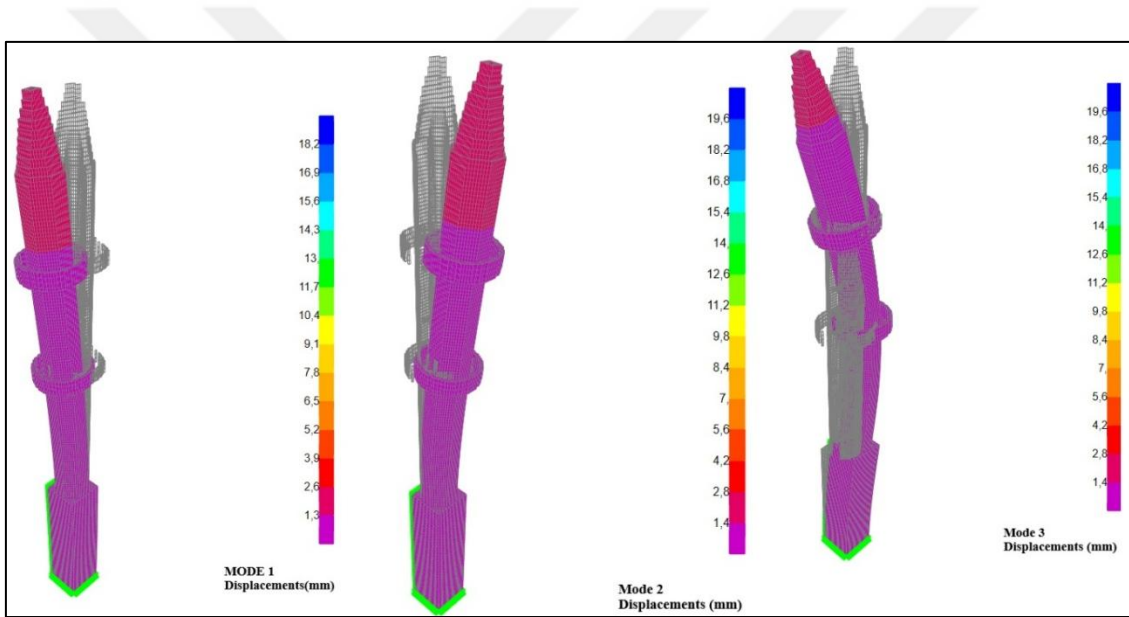
Şekil 4.4. Voxel Şap2000 modeli değişen kat kesitleri

Minare yıkımın gerçekleştiği Pazarcık depremi verileri analitik modelde kullanılmıştır. Pazarcık depreminin analizde kullanılmasının nedeni önceki bölümlerde açıklanmıştır.

Minarenin yıkılmamış durumuna göre yapıya etkiyen deprem davranışını incelemek için oluşturulan analitik modelden modlara göre minarenin tepe noktasının yer değiştirme sonuçları Çizelge 4.1’de verilmiştir. Modlara göre yer değiştirme sonuçları Şekil 4.5’de gösterilmiştir.

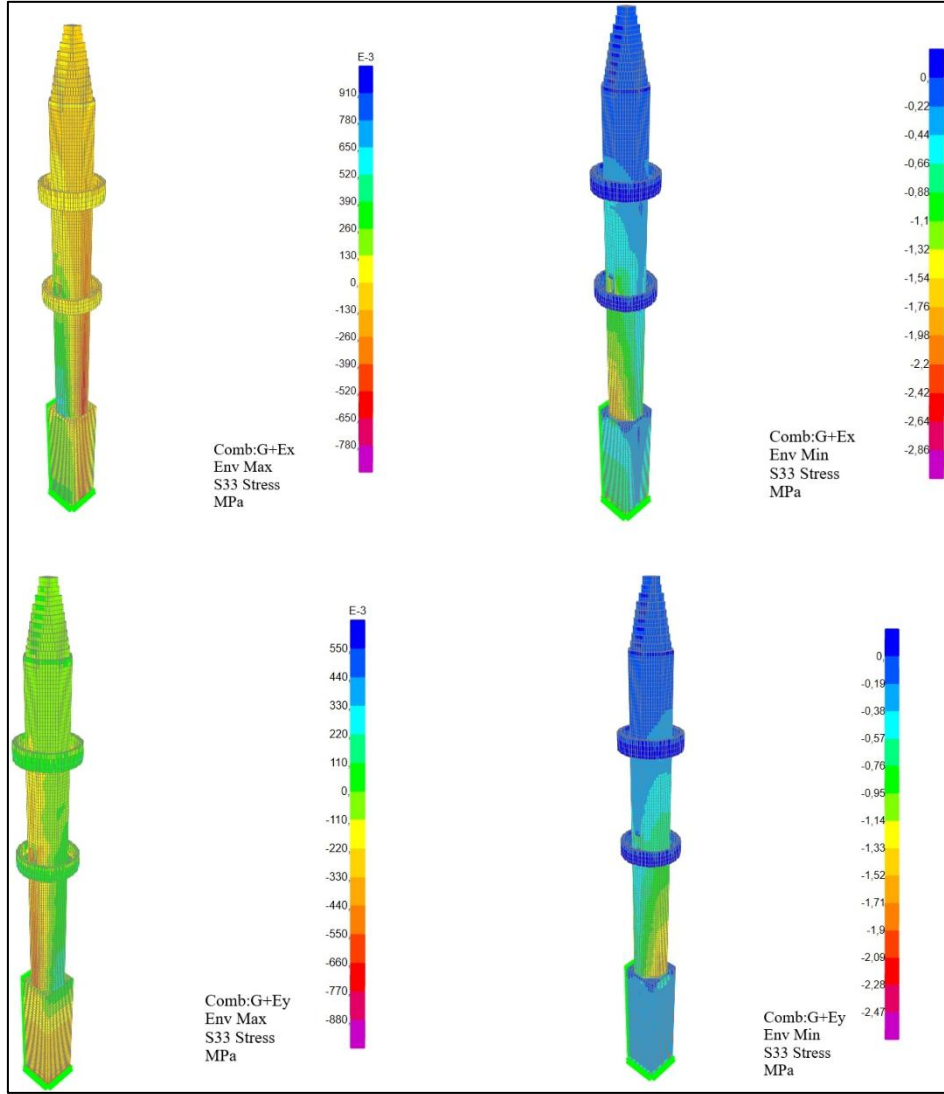
Çizelge 4.1. Minare modları ve tepe noktası yer değiştirmeleri

| Mod | Periyot (sn) | Ötelenme (mm) |
|-----|--------------|---------------|
| 1   | 1,724        | 18,9          |
| 2   | 1,720        | 18,9          |
| 3   | 0,366        | 20,7          |



Şekil 4.5. Minare modları ve toplam yer değiştirmeleri

Minarenin, SAP2000 analitik çözümünden okunan S33 düşey aksel gerilmeleri, G+Ex Zarf (Envelope) Max yüklemesi altında min -0,781 MPa, max 1,117 MPa, G+Ex Zarf (Envelope) Min yüklemesi altında min -2,76 MPa, max 0,153 MPa, G+Ey Zarf (Envelope) Max yüklemesi altında min -0,755 MPa, max 1,082 MPa, G+Ey Zarf (Envelope) Min yüklemesi altında min -3,13 MPa, max 0,159 MPa’dır. Pazarcık depremi yüklemesinde minarede oluşan düşey aksel gerilmeler maksimum 1,117 MPa ve minimum -3,013 MPa’dır. Gerilme sonuçları Şekil 4.6’de gösterilmiştir. Depremden kaynaklı tepe noktasındaki maksimum yer değiştirme 14,2 cm. olarak bulunmuştur.



Şekil 4.6. Minare S33 düşey eksenel gerilmeleri, MPa

Minarede kullanılan harç malzemesi, özellikleri gereği çekme kuvvetlerini taşıma kapasitesine sahip değildir. Bu durum, minareye etkiyen yatay yükler, deprem yükleri altında, gevrek bir davranış sergilemesine neden olmaktadır. Deprem etkisi ile oluşan moment nedeniyle oluşan eksantrisite, minarenin kesitindeki çekirdek mesafesini aşması durumunda, harçlar çekme gerilmelerine maruz kalmakta ve bu noktada yapısal yıkım gerçekleşmektedir. Özellikle minare üzerinde bulunan kapı boşluklarının, kesit mukavemetini önemli ölçüde azalttığı ve bu nedenle minarenin genel davranışı üzerinde olumsuz bir etkisinin olduğu değerlendirilmektedir.

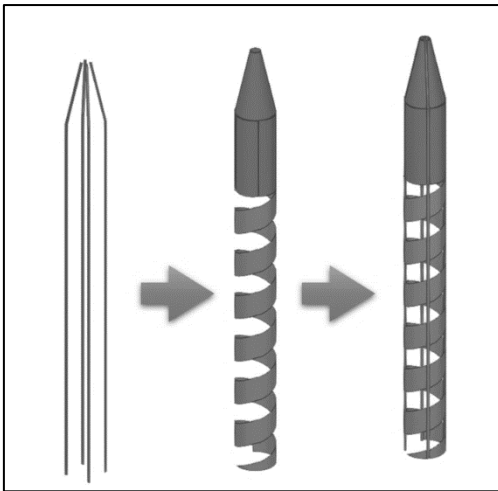
Deprem yükleri nedeniyle, minarenin doğu-batı doğrultusunda salınım yaptığı gözlemlenmiştir. Minarenin camiye yaslanmış olması ve arada bir dilatasyon derzinin

bulunmaması, minarenin camiye doğru yaptığı deplasmanların cami tarafından sınırlandırılmasına yol açmıştır. Ancak, aynı doğrultuda minarenin camiden uzaklaşması durumunda serbest deplasman yapabildiği görülmektedir. Bu kısıtlanmış deplasman durumu, özellikle minarenin ikinci şerefesi civarında daha belirgin hale gelmiş ve bu bölgede deplasman miktarını artırmıştır. Artan deplasman, kapı boşluklarının neden olduğu mukavemet kaybıyla birleştiğinde, minarenin ikinci şerefesinin üzerindeki yaklaşık 9 metrelik kısmının yıkılmasına sebep olmuştur.

Yıkılmanın olduğu ikinci şerefesinin üstüne gelen momentin eksantrisite değeri, çekirdek mesafesini aştığı durumda kesitte bir bölge çekme bölgesinde kalır ve yıkım gerçekleşir. Minare kesit alanı  $A=28430 \text{ cm}^2$ , mukavemet momenti  $W=1514300 \text{ cm}^3$  olarak hesaplanmıştır. Bu durumda çekirdek mesafesi, merkez noktasından 53,0 cm uzaklıkta oluşmaktadır. Yıkılma kotu olan +30m kotunda okunan maksimum moment değeri  $M=1241,3 \text{ ton.cm}$  ve eksenel yük  $P=20,5 \text{ ton}$  yük değerlerine göre oluşan eksantrisite 60 cm olarak hesaplanmıştır. Bu durumda eksantrisite, çekirdek mesafesinden büyük olduğu görülmüş ve gerçekleşen yıkımın analitik modelde de sağlandığı tespit edilmiştir.

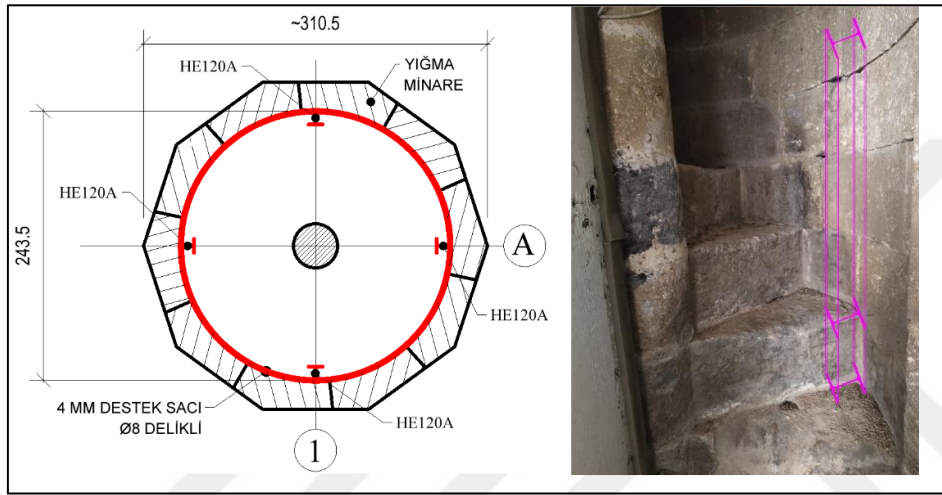
#### 4.2. Minarenin Onarım ve Diriltme Sonrası Analizi

Çalışma kapsamında minarenin diriltmesi için önerilen çelik takviye Şekil 4.7’de gösterilmiştir. Önerilen sistem minarenin dışarıdan görsel yapısı bozulmadan iç kısımdan desteklemek ve yıkılan kısmın aslına uygun restorasyonu için gerekli yüzeyi oluşturacak ilave taşıyıcı sistem eklenmesi olarak özetlenebilir.



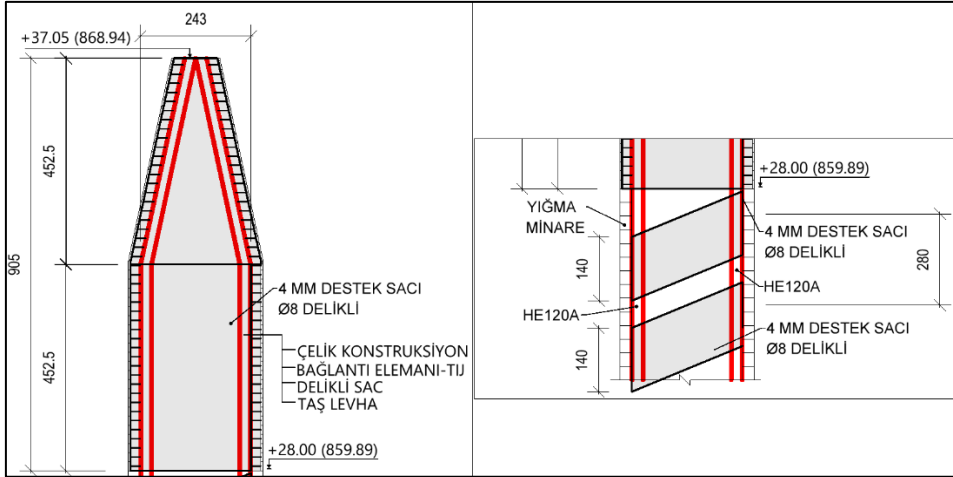
Şekil 4.7. Minare için önerilen çelik takviye 3D görsel modeli

Minarenin dışarısında görsel yapının bozulmaması için içeriden çelik takviyelendirme ile onarım ve yıkılan kısmın da dirilmesi yoluna gidilmiştir. İç kısmındaki merdiven 16 basamakta tam bir tur dönmektedir. Merdiven basamaklarına mümkün olan en az hasar verilmesi için 4 adet S275 sınıfı HE120A çelik taşıyıcı kolonlarının teşkili öngörülmüştür. Çelik kolonların plan yerleşimi Şekil 4.8’de gösterilmiştir. Çelik kolonlar merdivenlerdeki kırma işlemlerinin en aza indirilmesini sağlayacak şekilde uç kısımlarına doğru yerleştirilmesi düşünülmektedir.



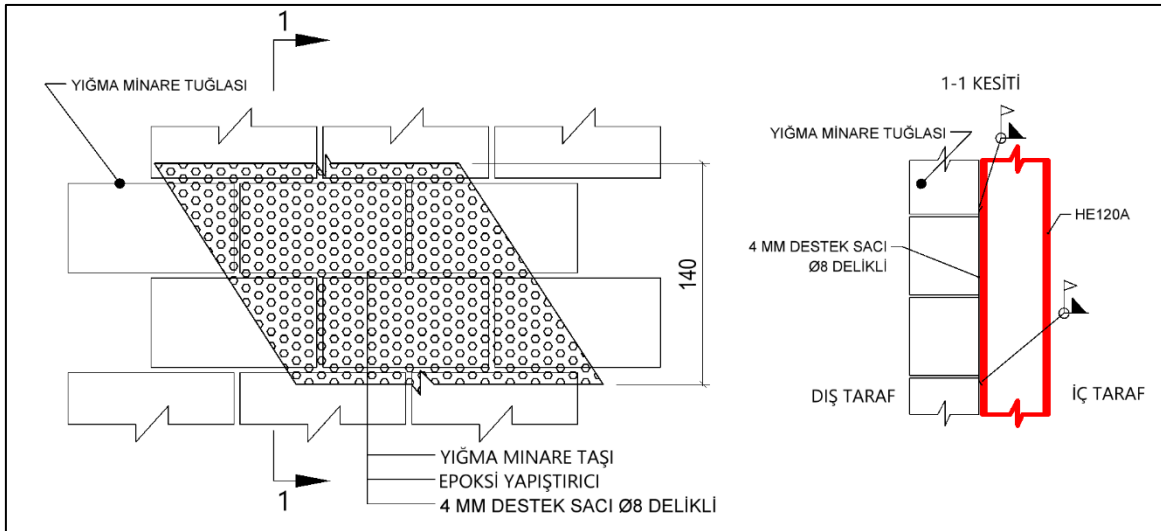
Şekil 4.8. Çelik kolon yerleşimi

Destek çelik kolonları temelden başlayıp külah ucuna kadar yükselecektir. Taş yığma minareyi çelik kolonlarla birlikte çalışacak şekilde bağlantısını sağlamak amacıyla ve kolon burkulma boyunu kısaltmak amacıyla minare içinde merdiven boşluğunda dolanan delikli çelik sac (levha) kullanılmıştır. Delikli sac 140cm genişliğinde olacak şekilde, külah kısmına kadar çelik kolonlar etrafında, yığma minarenin hemen iç yüzeyinde olacak yerleştirilecektir. Külah kısmında ise tam kaplama şeklinde yapılarak tamamlanacaktır (Şekil 4.9). Çelik kolonların etrafını saran ve minareyi içten çevreleyen delikli sac, yığma minarenin taşlarına bağlanacak ve minare taşıyıcı elemanlarındaki yükü çelik destek kolonlarına aktaracaktır. Külah kısmında ise aslına uygun yapılacak taş kaplamayı taşıyacak bir yüzey oluşturacaktır.



Şekil 4.9. Spiral delikli çelik levha ve minare kesiti

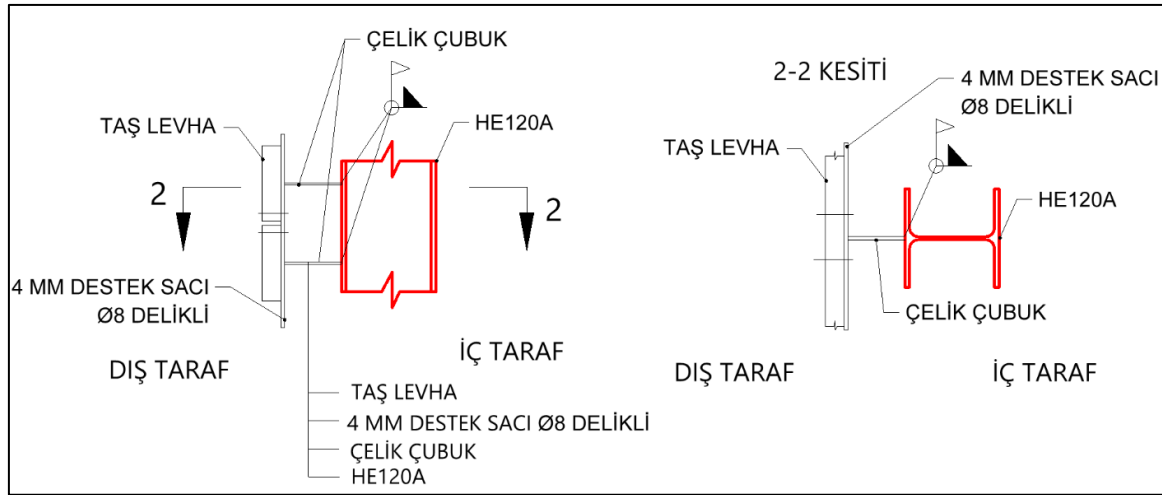
Çelik kolonlarla birlikte kullanılacak olan 4mm kalınlıkta ve 8mm çapında deliklere sahip destek sacının detayı Şekil 4.10 ve Şekil 4.11’de verilmiştir. Çelik kolonlar ve yığma minare tuğlaları arasına yerleştirilecek delikli sac epoksi yapıştırıcı ile minareye ve kaynaklarla da çelik kolonlara bağlanacak şekilde düşünülmüştür. Minare duvarı ile delikli sac (levha) arasında kullanılan epoksi yapıştırıcı ile bu iki eleman arasında tam bir tutuculuk sağlanması amaçlanmıştır. Levhanın delikli olması ile aderansın artırılarak tutuculuğun artması ve uygulamada olabilecek hataları azaltmak hedeflenmiştir.



Şekil 4.10. Onarılan kısım için tipik onarım detayı

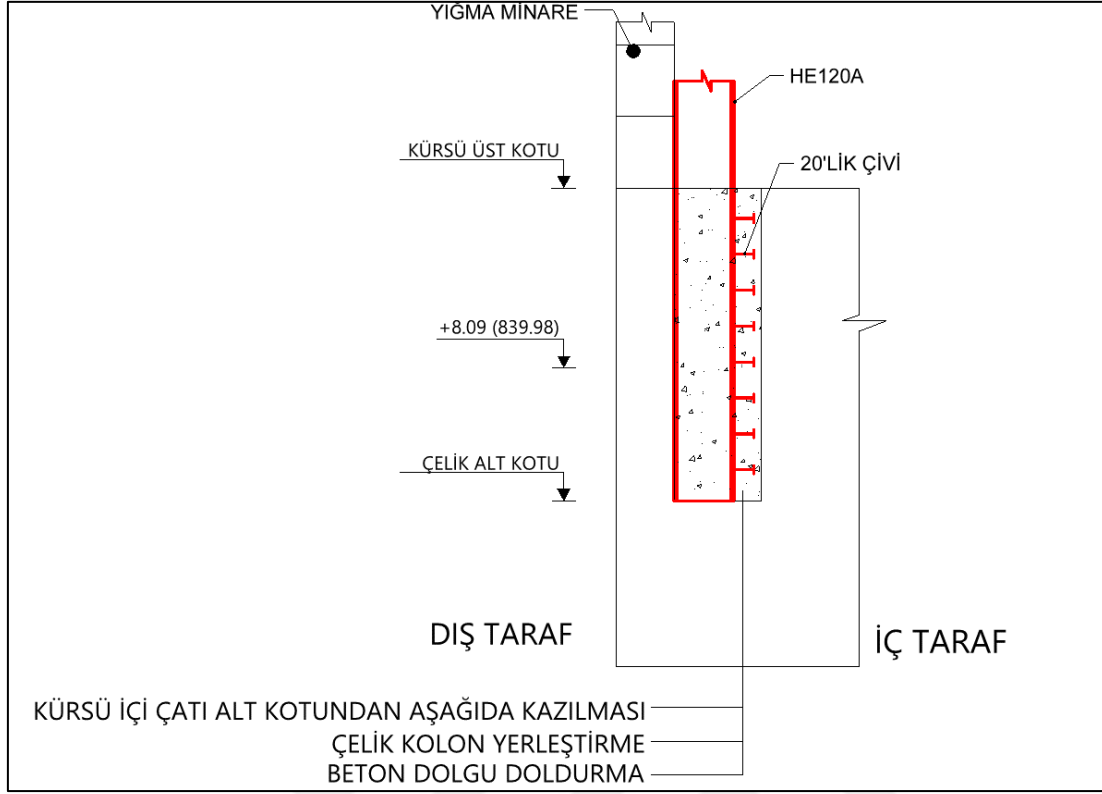
Yıkılmış olan ikinci şerefenin üst kısmı aslına uygun bir görselde yapılmasına karar verildiği için burada çelik delikli sac tüm iç hacmi kaplayacak şekilde projelendirilmiştir. Bu sayede

restorasyon için yapılacak yeni imalatta taş duvar yerine daha ince kalınlıkta taş levhaların çelik sac iskelete tutturulması ile görsellik tamamlanacaktır. En dış katmanda bulunan taş levhaların delikli saclara bağlantısı sağlanacak, delik saclar da çelik çubuklar ile çelik kolonlara kaynatılmasıyla detay tamamlanacaktır (Şekil 4.11). Restorasyon görsel bütünlük sağlanarak minarenin aslına uygun şekilde yapılacaktır.



Şekil 4.11. Yıkılan kısım için taş levha detayı

Çelik kolonların kürsü(kaide) içine mesnetlenecek olan kısım için kürsü içinde kazı, cami çatı altı kotunun altında kalacak şekilde yapılacaktır. Çelik kolonlar açılan çukurlara gömülerek mesnetlenme sağlanacaktır. Gömülecek çelik kolon başlıklarına eklenecek çiviler ile dolgu betonu ile çelik arasındaki aderansın artırılması hedeflenmiştir. Açılan boşluk rötresiz beton harcı doldurularak kapatılacaktır (Şekil 4.12).

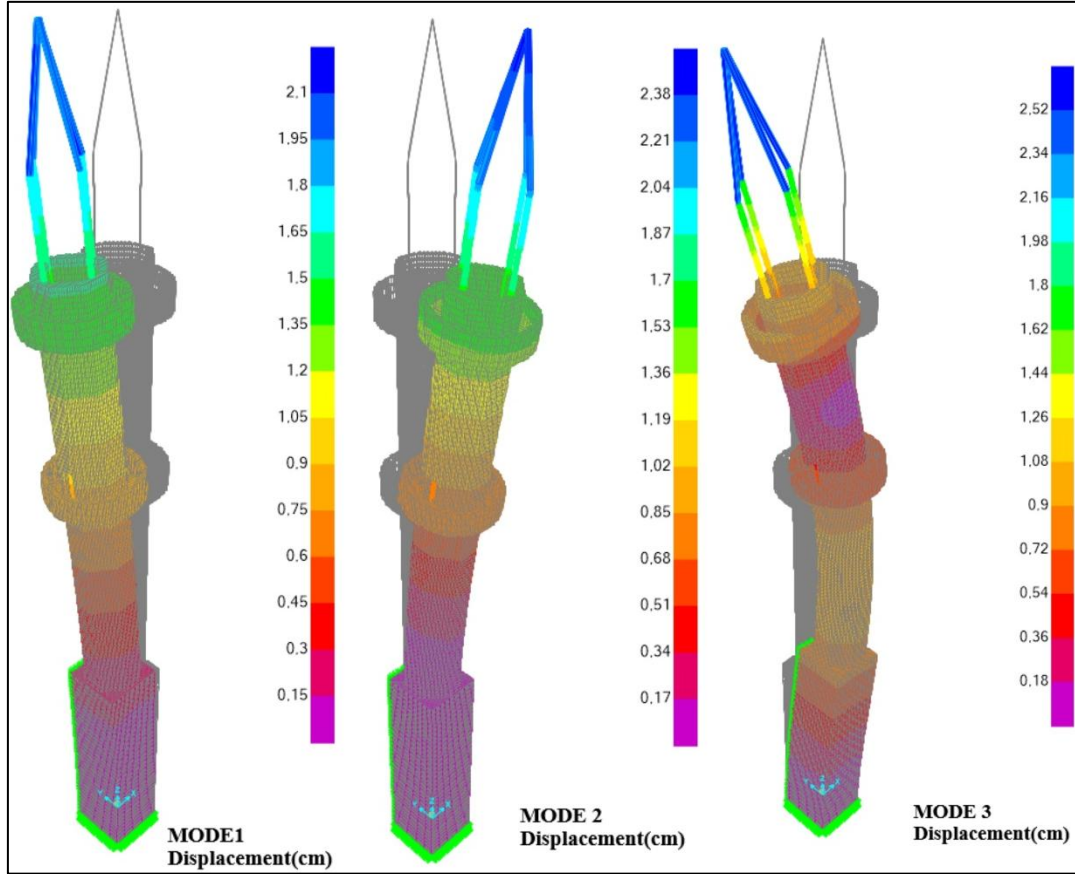


Şekil 4.12. Çelik kolon mesnet detayı

İkinci analitik model minarenin diriltme sonrası hali için oluşturulmuştur. Analitik modele diriltme elemanları olan çelik kolon ve sac eklenmiş, 6 Şubat 2023 depreminde yıkılan kısım ise modelden kaldırılmıştır. Yıkımdan sonraki diriltme durumu analizi yıkıma neden olan Pazarcık deprem verileri ile Elbistan deprem verileri kullanılarak yapılmıştır. Diriltme için analitik modele dahil edilen çelik profiller çubuk elemanlarla, minareyi içten saran çelik levha ise kabuk (area) elemanlarla modele dahil edilmiştir. Çelik levha ile minare arasındaki bağlantı tam tutuculuk sağlaması için epoksi ile yapıldığından, analitik modelde tam yük aktarımı olacak şekilde yığma eleman düğüm noktaları ile levha düğüm noktaları kesiştirilmiştir. Analitik modele ait tepe noktası yer değiştirme sonuçları Çizelge 4.2 ve Şekil 4.13'de verilmiştir. Yapılan takviyeler sonrasında minarenin periyodunda ve yer değiştirmelerinde azalma gözlenmiştir.

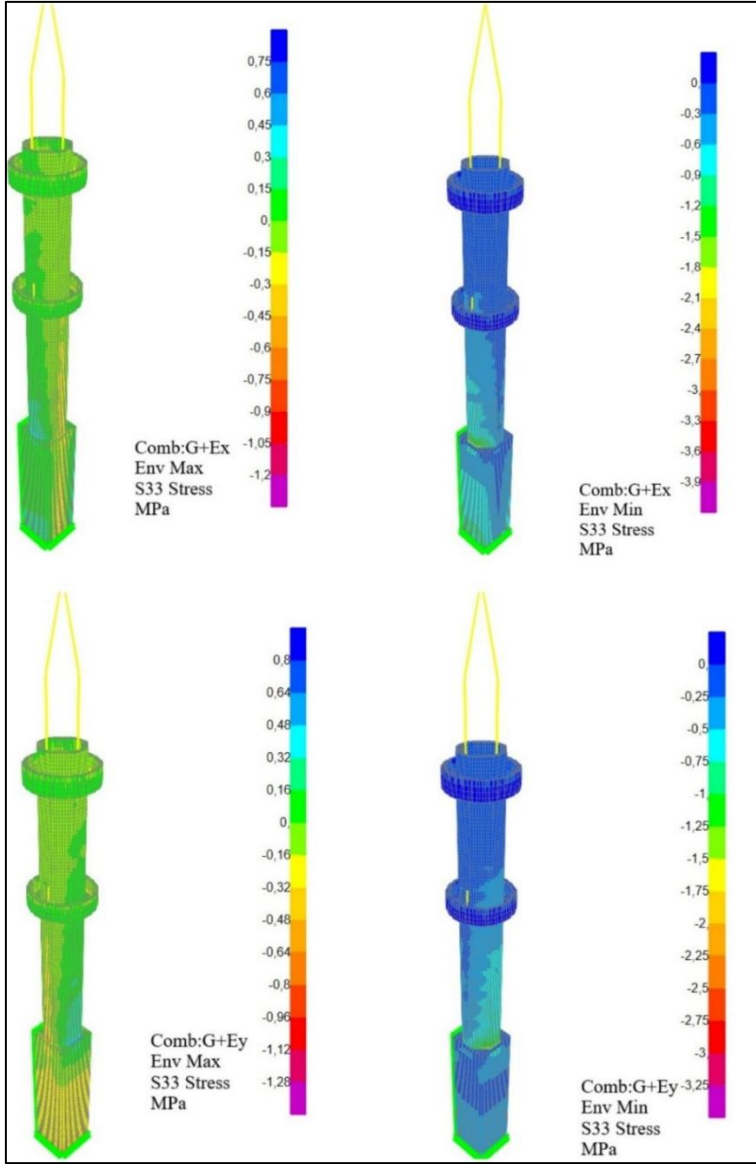
Çizelge 4.2. Diriltme sonrası minare modları ve yer değiştirmeleri

| Mod | Periyot (sn) | Ötelenme (mm) |
|-----|--------------|---------------|
| 1   | 1,290        | 15,4          |
| 2   | 1,281        | 15,2          |
| 3   | 0,332        | 10,3          |



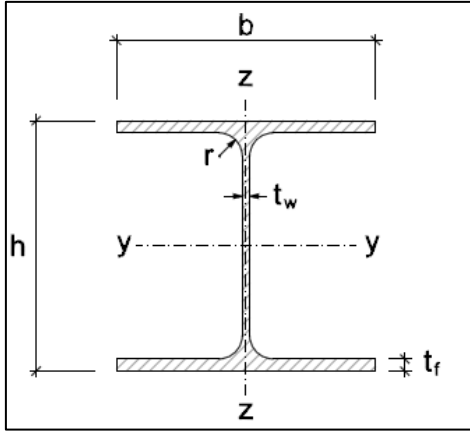
Şekil 4.13. Diriltme sonrası minare modları ve toplam yer değiştirmeleri

Minarenin diriltme sonrası SAP2000 analitik çözümünden okunan S33 düşey aksenal gerilmeleri, G+Ex Zarf (Envelope) Max yüklemesi altında min -0,537 MPa, max 0,129 MPa, G+Ex Zarf (Envelope) Min yüklemesi altında min -2,03 MPa, max 0,015 MPa, G+Ey Zarf (Envelope) Max yüklemesi altında min -0,558 MPa, max 0,251 MPa, G+Ey Zarf (Envelope) Min yüklemesi altında min -2,28 MPa, max 0,015 MPa'dır. Pazarcık depremi yüklemesinde minarede oluşan düşey aksenal gerilmeler maksimum 0,251 MPa ve minimum -2,28 MPa'dır. Gerilme sonuçları Şekil 4.14'da gösterilmiştir. Diriltme sonrasında en uç yığma kesitte 298 ton.cm moment ve 5,65 ton aksenal yük için 52 cm. eksantrisite elde edilmiş ve bu değerın çelik elemanlarla birlikte oluşan yeni kesitteki dönüştürülmüş çekirdek mesafesi olan 55 cm'den küçük olduğu görülmüştür. Depremden kaynaklı tepe noktasındaki maksimum yer değiştirme 6,3 cm. olarak bulunmuştur.



Şekil 4.14. Diriltme sonrası minare S33 düşey aksel gerilmeleri, MPa

Yapısal diriltme için seçilen profil ve çelik malzeme sınıfı HEA120 ve S275'dir. HEA120 profilleri özellikleri Şekil 4.15 ve Çizelge 4.3'da verilmiştir. S275 malzeme sınıfına göre karakteristik akma gerilmesi  $F_y=275 \text{ N/mm}^2$ , karakteristik çekme dayanımı  $F_u=430 \text{ N/mm}^2$ 'dir.



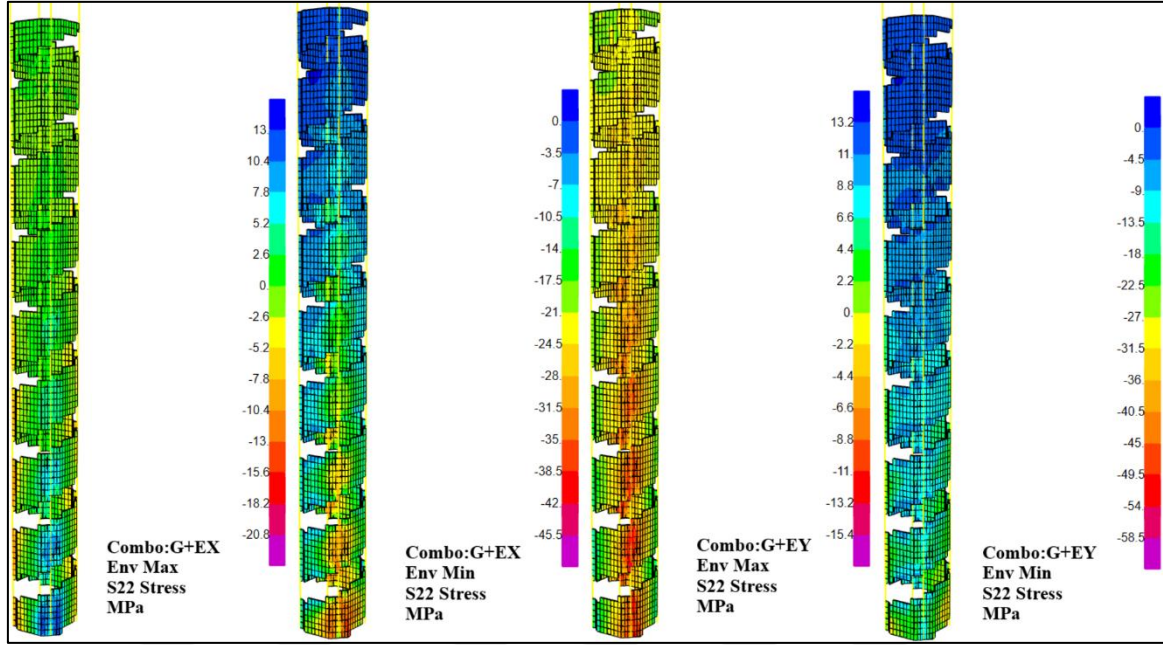
Şekil 4.15. Profil özelliklerinin gösterimi

Çizelge 4.3. HEA120 mekanik özellikleri

|  |       |
|--|-------|
| h (mm) derinlik  | 114   |
| b (mm) genişlik  | 120   |
| $t_w$ (mm) gövde kalınlığı   | 5,0   |
| $t_f$ (mm) başlık kalınlığı  | 12    |
| A (mm <sup>2</sup> ) alan  | 2534  |
| m (kg/m) ağırlık   | 19,9  |
| $I_y$ (x10 <sup>6</sup> mm <sup>4</sup> ) y-y atalet momenti                 | 6,062 |
| $i_y$ (mm) y-y atalet yarıçapı   | 48,9  |
| $W_{el,y}$ (x10 <sup>3</sup> mm <sup>3</sup> ) y-y elastik mukavemet momenti | 106,3 |
| $W_{pl,y}$ (x10 <sup>3</sup> mm <sup>3</sup> ) y-y plastik mukavemet momenti | 119,5 |
| $I_z$ (x10 <sup>6</sup> mm <sup>4</sup> ) z-z atalet momenti                 | 2,309 |
| $i_z$ (mm) z-z atalet yarıçapı   | 30,2  |
| $W_{el,z}$ (x10 <sup>3</sup> mm <sup>3</sup> ) z-z elastik mukavemet momenti | 38,48 |
| $W_{pl,z}$ (x10 <sup>3</sup> mm <sup>3</sup> ) z-z plastik mukavemet momenti | 58,85 |

Çelik kolonlar için analitik modelden sonuçlarına göre tasarım aksenal basınç kuvveti dayanımı 366 kN ve GKT (Güvenlik Katsayıları ile Tasarım) prensibine göre profile etki eden aksenal basınç kuvveti dayanımı 262 kN'dur. Çelik kolonlara etki eden aksenal basınç yüklerinin, kolon basınç kapasitesi aşmadığı görülmüştür.

Çelik kolonları dış başlıklarından minare boyunca spiral şekilde saracak sac için diriltme sonrası minarenin analitik çözümünden okunan S22 aksenal gerilmeleri G+Ex Envelope Max için min -22,7 MPa, max 13,8 MPa, G+Ex Envelope Min için min -47,4 MPa, max 2,2 MPa, G+Ey Envelope Max için min -16,9 MPa, max 12,1 MPa, G+Ey Envelope Min için min -59,1 MPa, max 0,5 MPa'dır . Gerilme sonuçları Şekil 4.16'de gösterilmiştir.



Şekil 4.16. Diriltme sonrası sac S22 eksenel gerilmeleri, MPa

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Hüseyin Paşa caminin minaresinin deprem öncesi restorasyon amacıyla yapılan nokta bulutu okumaları ile deprem sonrası yıkılmış minarenin kalan kısmının yapılan nokta bulutu okumaları karşılaştırıldığında 2,0 mm. üzerinde bir fark ile karşılaşılmamıştır. Bu da önemli bir kalıcı deformasyonun, geometrik bozukluğun meydana gelmediğini göstermektedir.

Deprem öncesi yapılmış restorasyon çalışmasında minarenin yürürlükteki yönetmelik ve standartlar dahilinde herhangi bir hasar almayacağı analiz edilmiştir. Ancak 6 Şubat 2023 tarihinde oluşan Pazarcık depreminin okunduğu TK.2703 istasyonun ivmeleri yönetmelik ve standartlardan daha büyük olduğu görülmüştür. Pazarcık depremi TK.2703 istasyonun ivme verileri dikkate alınarak minarenin deprem davranışı incelendiğinde yapısal hasarların oluşacağı (taşlarda ezilme, taş sıva arasında ayrılma ve taşların mevcut yerlerinden hareket etmesi) analizden sonucundan anlaşılmaktadır. Ancak, minarenin deprem altındaki davranışı, minarenin tek olarak modellenmesi ile uyuşmamaktadır. Pazarcık depremi sonucu minarenin yıkılmış durumu da bunu göstermektedir.

Bu nedenle yukarıdaki sonuçlar ışığında minarenin cami ile birlikte modellenerek analiz edilmesi gerektiği anlaşılmıştır. Minare ile cami farklı aşamalarda inşa edildiği için ve aralarında herhangi bir boşluk bırakılmaması nedeniyle soğuk derz oluşumuna izin verilmiştir. Cami ile minarenin kürsü seviyesine kadar bölümü soğuk derzli olarak bitişik olarak modellenmesine gidilmiştir. Pazarcık depremi TK.2703 istasyon ivmeleri altında analizi sonucunda minarenin cami doğrultusunda etkin ivmenin etkidiği ve yıkılma yönünün de bu doğrultuda olacağı analiz sonuçlarından tespit edilmiştir. Boşluksuz soğuk derzli modelleme mevcut deprem davranışı ile örtüşmüştür.

Deprem etkin ivme yönün minare cami yönünde (doğu-batı) olması minarenin camiden uzaklaşırken temel seviyesinde, cami yönünde ise kürsü üstünde kalan kısmıyla deplasman yapabilecek şekilde imal edildiği ve yıkımında minarenin camiden uzaklaştığı yönde değil, cami üzerine doğru olduğu hem yerinde yapılan gözlemlerden hem de cami ile birlikte soğuk derzli olarak minarenin modellenmesiyle paralel sonuca ulaşılmıştır.

Yıkımın değerlendirilmesi ve modellememizin yönlendirilmesinde yukarıdaki davranış dikkate alınmıştır. Bu, minarenin camiden uzaklaşması fakat cami yönünde hareketi

aşamasında camiye çarparak bir nevi kırbaçlama davranışı sonucunda caminin üzerine yıkıldığı hem deprem sonrası yerinde yapılan gözlemlerde, hem de cami ile minarenin modellenmesi analizleri de aynı sonuca ulaşmıştır.

Pazarcık depremi sonrası hasar gören kısımların onarılması ve yıkılan kısımların diriltilerek yeniden inşa edilmesi Koruma Kurulu tarafından talep edilmesi sonucu 16 basamakta bir tam tur atacak şekilde inşa edilmiş olan minareye 4 adet HEA120 profil yerleştirilmesi, minare içi basamak geometrisine en uygun formda olduğu düşünülmüştür.

Onarım aşamasında 4 adet HEA120 profil ve merdiven aralığından ise delikli 4mm sacın epoksi reçineyle mevcut minare blok taşlarına yapıştırılması ile onarıma ve yıkılan kısımda 3cm. kalınlığında levha taşların bu saca mekanik olarak bağlanması ile de diriltmeye gidilmiştir.

Yıkılan kısım için, taşıyıcı sistem ağırlığının azaltılması amacıyla, hem mevcut taşların daha fazla ezilerek hasar görmemesi için yine aynı taşlardan fakat 27 cm. normal taş yerine 3,0 cm. kalınlığında taş levhaların delikli sac yardımıyla yüklerinin mevcut minareye değil, diriltme için kullanılan HEA120 profillere taşınması amaçlanmış ve bu şekilde deprem sonrası minarenin modellenmesi yapılmıştır.

Minarenin deprem öncesi ilk üç periyodu 1,724; 1,720 ve 0,363 sn., deprem sonrası (çelik elemanlar dahil) ilk üç periyodu 1,290; 1,281 ve 0,332 sn. olmuştur. Minarenin diriltmeden önceki durumda deprem etkisinden kaynaklı tepe noktası maksimum yer değiştirmesi 142 mm. iken diriltmeden sonraki yer değiştirme 63 mm. olmuştur. Tepe noktası yer değiştirmesinde %55 azalma olmuştur.

Doğal bir deney düzeyi olan deprem ile analitik model verilerinin bu noktada örtüştüğü anlaşılmıştır. Minarenin deprem öncesi durumunda deprem yükleri altında yıkımın olduğu bölgede momentin oluşturduğu eksantrisitenin çekirdek mesafesinden büyük olması, minare kesitinde bir bölgenin çekme alanında kaldığı görülmüştür. Yığma yapıları oluşturan elemanlar olan taş ve harçların malzeme özellikleri ile yığma sistemlerinin doğası gereği çekme dayanımları oldukça düşüktür. Minare kesitinin deplasmandan kaynaklı çekme yüklerini taşıyamayacağı görülmüştür.

Minarenin deprem öncesi durumda yığma elemanlardaki düşey aksenal basınç gerilmesi 3,1 MPa, diriltme sonrası 2,28 MPa olarak elde edilmiştir. Diriltme sonrası durumda momentin oluşturduğu eksantrisitenin çekirdek mesafesinden küçük olmasından dolayı minare kesitinin tamamı basınca çalışmıştır. Önerilen bağlantı yöntemi ve takviye elemanları ile mevcut minarenin birlikte çalışması hedeflenerek, ileride yaşanabilecek deprem etkisi altında diriltme modeli için hazırlanan analitik model ile yapının benzer davranış sergileyeceği düşünülmektedir.





## KAYNAKLAR

1. İnternet: ICOMOS. (1964). *Venedik Tüzüğü*. Web: [https://www.icomos.org.tr/Dosyalar/ICOMOSTR\\_tr0243603001536681730.pdf](https://www.icomos.org.tr/Dosyalar/ICOMOSTR_tr0243603001536681730.pdf), Son Erişim Tarihi: 15/01/2025.
2. Madran, E. (2004). *Osmanlı İmparatorluğu'nun klasik çağlarında onarım alanının örgütlenmesi: 16.-18. yüzyıllar*. Ankara: ODTÜ Mimarlık Fakültesi Yayınları, 16-22.
3. Öztürk, N. (1995). *Türk yenileşme tarihi çerçevesinde vakıf müessesesi*. Ankara: Türkiye Diyanet Vakfı Yayınları, 37-45.
4. Madran, E. (1996). Cumhuriyet'in ilk otuz yılında (1920-1950) koruma alanının örgütlenmesi. *ODTÜ Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 16(1-2), 59-97.
5. Ataş, Z. (2023). Tarihi Gaziantep camilerinde deprem hasarlarının saptanması. *ISPEC International Journal of Social Sciences & Humanities*, 7(2), 512-528.
6. Madran, E. (1978). Kültürel varlıkların korunması ve onarılması. *Vakıflar Dergisi*, (11), 271-291.
7. Özdemir, M. Z. D. (2005). Türkiye'de kültürel mirasın korunmasına kısa bir bakış. *Planlama*, (31), 20-25.
8. Agustie, C. (1873). *L'art de bâtir chez les Romains*. Paris: Ducher, 88-96.
9. Choisy, A. (1883). *L'art de bâtir chez les Byzantins*. Paris: Librairie de la Société Anonyme de Publications Périodiques, 77-85.
10. Auguste, C. (1903). *Histoire de l'architecture*. Paris: Rouveyre, 136-145.
11. Selahiye, A., Aydınoglu, M. N., Erdik, M. (1994). *Süleymaniye Camii'nin dinamik özelliklerinin deneysel ve analitik yöntemlerle belirlenmesi*. Üçüncü Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, 12-28.
12. Giordano, A., Mele, E., De Luca, A. (2002). Modelling of historical masonry structures: Comparison of different approaches through a case study. *Engineering Structures*, 24(8), 1057-1069.
13. Roca, P., Cervera, M., Gariup, G. and Pela, L. (2010). Structural analysis of masonry historical constructions: Classical and advanced approaches. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 17, 299-325.
14. Aslan, A., Şahin, A. (2016). Seismic behaviour evaluation of Suleymaniye Mosque under different earthquake records. *Disaster Science and Engineering*, 2(2), 67-75.
15. Demirel, Y., Aydoğmuş, F. (2019). Nokta bulutu verileri kullanılarak tarihi Edirne Mihalbey Hamamı'nın farklı modellerle irdelenmesi. *International Journal of Engineering Research and Development*, 11(2), 738-747.

16. Kocaman, İ., Kazaz, İ. (2023). Tarihi bir caminin hasar sınırlarının irdelenmesi, Konya Sultan Selim Cami örneği. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 39(1), 51-64.
17. Erkek, H., Yetkin, M. (2023). Assessment of the performance of a historic minaret during the Kahramanmaraş earthquakes (Mw 7.7 and Mw 7.6). *Structures*, 58, Article 105620.
18. Kocaman, İ., Mercimek, Ö., Gürbüz, M., Erbaş, Y. ve Anıl, Ö. (2024). The effect of Kahramanmaraş earthquakes on historical Malatya Yeni Mosque. *Engineering Failure Analysis*, 161, Article 108310.
19. Sinan Komitesi. (1968). *Koca Sinan*. Ankara: Doğu Matbaası, 78-85.
20. Convenor, M. Y., Dabija, F. E., Dulacska, E. and Vintzeleou, E. (1984). *Design and construction of stone and brick masonry buildings* (Vol. 3). Viyana: United Nations Development Programme, 95-96.
21. Hendry, A., Sinha, B., Davies, S. (2004). *Design of masonry structures* (3rd ed.). London: E & FN Spon, 102-105.
22. Ataş, Z. (2023). Tarihi Gaziantep camilerinde deprem hasarlarının saptanması. *ISPEC International Journal of Social Sciences & Humanities*, 7(2), 512-528.
23. Şener, F. M., Umut, M., Üzel, A. (2013). *Türkiye'nin geleneksel yapı taşları*. Ankara: Maden Teknik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayını, 115-122.
24. Erguvanlı, K. (1959). Gaziantep-Narlı arasının jeolojisi ve inşaat taşları. *Gaziantep Kültür Fikir ve Sanat Dergisi*, (23), 252-255.
25. Güzelbey, C. C. (1960). Gaziantep'te yapıcılık. *Gaziantep Kültür Fikir ve Sanat Dergisi*, (35), 244-246.
26. Cansunar Yetkin, G., Çobancaoğlu, T. (2019). Dünden bugüne Gaziantep geleneksel mimarisinde taşın kullanımı. *Art-Sanat*, (12), 129-162.
27. Akman, M. S., Güner, A., Aksoy, İ. H. (1986). *The history and properties of Khorasan mortar and concrete*. II. Uluslararası Türk-İslam Bilim ve Teknoloji Tarihi Kongresi, İstanbul, 99-105.
28. Şener, F. M., Umut, M., Üzel, A. (2013). *Türkiye'nin geleneksel yapı taşları*. Ankara: MTA, 122-136.
29. Cinemre, M. (2019). *Kesme taş duvarlarda kullanılan tarihi horasan harçlarının mekanik özelliklerinin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Sakarya, 22-35.
30. Bayraktar, A. (2006). *Tarihi yapıların analitik incelenmesi ve sismik güçlendirme metotları*. İstanbul: Beta Basım, 85-93.
31. Bayülke, N. (1984). *Depremlerde hasar gören yapıların onarımı ve güçlendirilmesi*. Ankara: TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, 102-108.

32. Ural, A., Doğangün, A. (2009). Geliştirilen bir yapısal analiz programıyla yığma yapıların analizi. *New World Sciences Academy*, 4(4), 579-588.
33. Tetik, T. (2015). *Tarihi yığma yapıların deprem performansı ve güçlendirme teknikleri*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 145-152.
34. Ural, A. (2009). *Yığma yapıların doğrusal ve doğrusal olmayan davranışlarının incelenmesi*. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 96-103.
35. Castellazzi, G., D'Altri, A., Bitelli, G., Selvaggi, I. and Lambertini, A. (2015). From laser scanning to finite element analysis of complex buildings by using a semi-automatic procedure. *Sensors*, 15(8), 18360-18380.
36. Çınar, H. (2000). *18. yüzyılın ilk yarısında Ayıntab şehrinin sosyal ve ekonomik durumu*. Yayımlanmamış Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 45-63.
37. Yener, Ş. S. (1971). Hüseyin Paşa kimdir. *Gaziantep Kültür Dergisi*, (XI), 155-156.
38. İnternet: Çam, N. (1996). TDV İslâm Ansiklopedisi. Web: <https://islamansiklopedisi.org.tr/gaziantep#2-mimari>, Son Erişim Tarihi: 22/02/2025.
39. Altın, A. (2015). *Gaziantep Türk-İslam mimarisi (Eyyubiler'den Cumhuriyet'e)*. Yayımlanmamış Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Erzurum, 122-136.
40. Şengör, A. M. C. (1980). Türkiye'nin neotektoniğinin esasları. *Türkiye Jeoloji Kurumu*, (40), 38-45.
41. Perinçek, D., Eren, A. G. (1990). *Doğrultu atımlı Doğu Anadolu ve Ölü Deniz fay zonları etki alanında gelişen Amik Havzası'nın kökeni*. 8. Petrol Kongresi Bildirileri, İstanbul, 180-192.
42. Barka, A. A., Akyüz, S., Altunel, E. (1999). Adana çevresinin güncel tektoniği ve 1998 Adana depremi. *Türkiye Deprem Vakfı, Aktif Tektonik*, (2), 20-31.
43. Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş. ve Şaroğlu, F. (2013). *Açıklamalı Türkiye diri fay haritası (Ölçek 1:1.250.000)*. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Özel Yayın Serisi, (30).
44. Okay, A. I., Kaşlılar-Özcan, A., İmren, C., Boztepe-Güney, A., Demirbağ, E. and Kuşçu, İ. (2000). Active faults and evolving strike-slip basins in the Marmara Sea, northwest Turkey: A multichannel seismic reflection study. *Tectonophysics*, (321), 189-218.
45. AFAD. (2023). 06 Şubat 2023 Pazarcık-Elbistan (Kahramanmaraş) Mw: 7.7 – Mw: 7.6 depremleri raporu, *AFAD*, 85-93, Ankara.
46. İnternet: AFAD. (2024). Türkiye ivme veritabanı ve analiz sistemi (TADAS). Web: <https://tadas.afad.gov.tr/event-detail/17966>, Son Erişim Tarihi: 26/02/2025.

47. İnternet: AFAD. (2024). Türkiye ivme veritabanı ve analiz sistemi (TADAS). Web: <https://tadas.afad.gov.tr/event-detail/17969>, Son Erişim Tarihi: 25/02/2025.
48. T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı. (2023). 2023 Kahramanmaraş ve Hatay depremleri raporu, CSBB, 12-15, Ankara.
49. Gazi Üniversitesi. (2023). 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş-Pazarcık (Mw=7.7) ve Elbistan (Mw=7.6) depremi ön değerlendirme. Ankara: Deprem Mühendisliği Uygulama ve Araştırma Merkezi, 108-115.
50. Ataman, T. (1982). *Kaya mekaniğine giriş*. Ankara: ODTÜ, Mühendislik Fakültesi, 102-106.
51. Eurocode 6. (2005). *Design of masonry structures – Part 1-1*. Brussels: CEN, 96-122.
52. Güner, Z. (2007). Antep savunması ve Ali Şefik Özdemir Bey'in faaliyetleri. *ZKÜ Sosyal Bilimler Dergisi*, 3(6), 49-50.
53. İnternet: Google Maps. (2016). *Harita*. Web: <https://maps.app.goo.gl/qSY16DP6JX9oHNESA>, Son Erişim Tarihi: 18/01/2025.
54. Ambraseys, N., Jackson, J. (1998). Faulting associated with historical and recent earthquakes in the Eastern Mediterranean region. *Geophysical Journal International*, 133(2), 390-406.
55. CSI. (2017). *CSI analysis reference manual for SAP2000, ETABS, SAFE and CSI bridge*. New York: Computers & Structures Inc., 85-96.
56. Çakmak, A. Ş., Taylor, R. M., Durukal, E. (2009). The structural configuration of the first dome of Justinian's Hagia Sophia (A.D. 537–558): An investigation based on structural and literary analysis. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 29(4), 693-698.



*Gazili olmak ayrıcalıktır...*