



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**TARİHİ KALELERİN SONLU ELEMANLAR
YÖNTEMİ KULLANILARAK ANALİZ
EDİLMESİ**

Elif BELOVACIKLI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Nisan-2022
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Elif BELOVACIKLI tarafından hazırlanan ‘‘Tarihi Kalelerin Sonlu Elemanlar Yöntemi Kullanılarak Analiz Edilmesi’’ adlı tez çalışması 19/04/2022 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliğı / oy çokluğı ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliğı Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof. Dr. Osman GENCEL

Danışman

Prof. Dr. Mahmud Sami DÖNDÜREN

Üye

Prof. Dr. Murat ÖZTÜRK

İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan Kesen
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all materials and results that are not original to this work.

Elif BELOVACIKLI

19/04/2022

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TARİHİ KALELERİN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ KULLANILARAK ANALİZ EDİLMESİ

Elif BELOVACIKLI

**Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. Mahmud Sami DÖNDÜREN

2022, 114 Sayfa

Jüri

**Prof. Dr. Mahmud Sami DÖNDÜREN
Prof. Dr. Murat ÖZTÜRK
Prof. Dr. Osman GENÇEL**

Kültürel kimliğimiz olan tarihi yapılar geçmişimiz ve geleceğimiz arasında rehberlik ettikleri için önemleri büyüktür. Zaman içinde gerek insan faktöründen gerekse doğal etkilerden yıpranmaya yüz tutmuşlardır. Tarihi yapıların geleceğe aktarılmasını sağlamak için ulusal ve uluslararası disiplinler doğrultusunda çalışmalar yapılmaktadır. Özellikle ülkemiz aktif deprem kuşağında yer aldığı için tarihi yapıların deprem etkisindeki davranışı bilinmeli ve buna göre gerekli önlemler alınması gerekmektedir. Bu çalışmalar farklı disiplinler tarafından işbirliği içinde titizlikle yürütülmelidir.

Bu çalışma kapsamında tarihi yapıları daha iyi tanımak için, tarihi yapıların malzeme özellikleri ve taşıyıcı sistemleri hakkında bilgi verilmiştir. Tarihi yapılarda meydana gelebilecek hasar türleri ve bu hasarlar için önerilen onarım ve güçlendirme metotları ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Yığma yapıların analizinde kullanılan modelleme teknikleri hakkında bilgi verilmiştir. Çalışma kapsamında ele alınan Tarihi Sinop Kalesi sur duvarları ve burçları hakkında genel bilgiler verildikten sonra Tarihi Sinop Kalesi'nin 4. bölge 10 nolu burç kısmı SAP2000 V20 paket programı kullanılarak sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edilmiştir. Tarihi Kale SOLID eleman olarak modellenmiş, statik ve modal analizleri çeşitli yük kombinasyonlarına göre TBDY 2018'e uygun olarak yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda yapıda meydana gelebilecek maksimum gerilmeler ve yer değiştirmeler belirlenmiştir. Oluşabilecek en büyük gerilmelerin burcun köşe noktalarında meydana geldiği tespit edilmiştir. Elde edilen basınç gerilmesinin maksimum değeri $729,495 \times 10^{-3}$ MPa olup sınır basınç gerilmesi olan 2,4 MPa 'ı aşmadığı gözlemlenirken, bulunan çekme gerilmesinin maksimum değeri $557,376 \times 10^{-3}$ MPa 'ın sınır çekme gerilmesi olan 0,15'i aştığı görülmüştür. Buna ek olarak X-Y düzleminde meydana gelen maksimum kayma gerilmesi $163,061 \times 10^{-3}$ MPa 'ın sınır kayma gerilmesi olan 1,05 değerini aşmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kale, Solid, Sonlu elemanlar, Yığma yapılar

ABSTRACT

MS THESIS

ANALYSIS OF HISTORICAL CASTLES USING THE FINITE ELEMENT METHODS

Elif BELOVACIKLI

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Civil Engineering**

Advisor: Prof. Dr. Mahmud Sami DÖNDÜREN

2022, 114 Pages

Jury

**Prof. Dr. Mahmud Sami DÖNDÜREN
Prof. Dr. Murat ÖZTÜRK
Prof. Dr. Osman GENÇEL**

Historical buildings which are our cultural identity, are of great importance as they guide us between our past and our future. They have begun to wear out from both human factor and natural effects in time. In order to ensure that historical buildings are transferred to the future, studies are carried out in line with national and international disciplines. Especially since our country is located in an active earthquake zone, the behavior of historical buildings under the influence of earthquakes should be known and necessary precautions should be taken accordingly. These studies should be carried out meticulously by different disciplines in cooperation.

Within the scope of this study information is given about the material properties and carrier systems of historical buildings in order to get to know the historical buildings better. The types of damage that may occur in historical buildings and the repair and strengthening methods recommended for these damages are discussed in detail. Information is given about the modeling techniques used in the analysis of masonry structures. Within the scope of the study, general information about the historical Sinop Castle city walls and bastions is given. Then, the 4th district 10th bastion part of the Historical Sinop Castle was analyzed with the finite element method using the SAP2000 V20 package program. The historical castle was modeled as a SOLID element and its static and modal analyzes were carried out in accordance with TBDY 2018 according to various load combinations. As a result of the analysis, the maximum stresses and displacements that may occur in the structure were determined. It has been determined that the greatest stresses can occur at the corner points of the bush. The maximum value of the obtained compressive stress is $729,495 \times 10^{-3}$ MPa and it has been observed that it does not exceed the limit pressure stress of 2.4 MPa. It has been observed that the maximum value of the tensile stress is $557,376 \times 10^{-3}$ MPa and exceeds the limit tensile stress of 0.15 MPa. In addition, the maximum shear stress occurring in the X-Y plane exceeded the limit shear stress of $163,061 \times 10^{-3}$ MPa of 1.05 MPa.

Keywords: Castle, Finite Element Methods, Mansory Buildings, Solid

ÖNSÖZ

Öncelikle araştırma sürecim boyunca ilgi ve alakasını esirgemeyen, tecrübesiyle bana her zaman yardımcı olan, karşılaştığım zorluklarda yolumu bulmama yardım eden ve doğup büyüdüğüm, hayatımı şekillendiren bu şehirle ilgili bu çalışmayı yapmama olanak sağlayan danışman hocam Sayın Prof. Dr. Mahmud Sami DÖNDÜREN'e sonsuz sevgi ve saygımı sunarım.

Bu çalışmayı yürütebilmem için Sinop Tarihi Kale'sine ait rölöve ve restorasyon çalışmalarını temin etmemi sağlayan, fikir ve öneriyle bana yardımcı olan Samsun Rölöve ve Anıtlar Müdürlüğü'ne saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım.

Tez kapsamında kullanmış olduğum SAP2000 programında modelleme aşamasında bana her konuda destek olan, bilgisini asla esirgemeyen ve daha donanımlı bir şekilde bu tezi bitirmeme yardımcı olan iyiliklerini asla unutamayacağım sevgili hocam Arş. Gör. Rüya KILIÇ DEMİRCAN'a sevgilerimi ve teşekkürlerimi sunarım.

Bu süreçte güzel ve sıkıntılı zamanlarımda yanımda olan, bana sözleriyle destek olan başta Arş. Gör. Elif ŞAKALAK'a daha sonrada bütün arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Hayatımın tek bu sürecinde değil her daim yanımda olan sevgileriyle, sabırlarıyla bana güç veren canım aileme ve kardeşlerime sevgilerimi sunarım.

Elif BELOVACIKLI
KONYA- 2022

İÇİNDEKİLER

| | |
|---|-----------|
| ÖZET | iv |
| ABSTRACT..... | v |
| ÖNSÖZ | vi |
| İÇİNDEKİLER | vii |
| SİMGELER VE KISALTMALAR | ix |
| ŞEKİLLER DİZİNİ..... | x |
| ÇİZELGELER DİZİNİ..... | xiii |
| 1.GİRİŞ | 1 |
| 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI | 3 |
| 3. TARİHİ YAPILAR..... | 7 |
| 3.1. Tarihi Yapılarda Taşıyıcı Sistem Özellikleri | 7 |
| 3.1.1. Temeller | 7 |
| 3.1.2. Döşemeler | 7 |
| 3.1.3. Sütun ve ayaklar..... | 8 |
| 3.1.4. Duvarlar | 9 |
| 3.1.5. Kemerler | 10 |
| 3.1.6. Tonozlar | 12 |
| 3.1.7. Kubbelere..... | 14 |
| 3.2. Tarihi Yapılarda Kullanılan Malzeme Özellikleri | 16 |
| 3.2.1. Taş..... | 16 |
| 3.2.2. Tuğla | 17 |
| 3.2.3.Kerpiç..... | 18 |
| 3.2.4.Harç..... | 18 |
| 3.2.5. Ahşap | 19 |
| 3.2.6. Kagir malzeme | 19 |
| 4. TARİHİ YAPILARDA GÖRÜLEN HASAR TÜRLERİ | 20 |
| 4.1. Zeminden Kaynaklı Hasarlar | 20 |
| 4.2. Doğal Afetlerin Oluşturduğu Hasarlar | 22 |
| 4.3. Duvarlarda Meydana Gelen Hasarlar | 23 |
| 4.4. Malzemedeki Kaynaklı Hasarlar..... | 24 |
| 4.5. Düşey Yüklerden Kaynaklı Hasarlar | 25 |
| 4.6. Atmosferden Kaynaklanan Hasarlar | 27 |
| 4.7. Kubbelerde Oluşan Hasarlar | 27 |
| 4.8. Kullanıcı Tahribatları..... | 29 |
| 5.TARİHİ YAPILARDA ONARIM VE GÜÇLENDİRME METOTLARI | 30 |
| 5.1. Sağlamaştırma..... | 31 |

| | |
|---|-----------|
| 5.1.1. Zemin ve temele yönelik müdahaleler..... | 31 |
| 5.1.2. Duvara yönelik müdahaleler..... | 33 |
| 5.1.3. Döşemelere yönelik müdahaleler..... | 38 |
| 5.1.4. Yapının tümüne yönelik müdahaleler..... | 39 |
| 5.2. Yeniden Yapım (Rekonstrüksiyon)..... | 39 |
| 5.3. Taşıma..... | 40 |
| 6. TARİHİ YAPILARDA MODELLEME TEKNİKLERİ VE ANALİZ YÖNTEMLERİ..... | 41 |
| 6.1. Tarihi Yapılarda Kullanılan Modelleme Teknikleri..... | 41 |
| 6.1.1. Ayrıntılı mikro modelleme..... | 41 |
| 6.1.2. Basitleştirilmiş mikro modelleme..... | 42 |
| 6.1.3. Makro modelleme..... | 42 |
| 6.1.4. Sonlu elemanlar yöntemi..... | 43 |
| 6.2. Tarihi Yapılarda Analiz Yöntemleri..... | 45 |
| 6.2.1. Düşey yükler altında statik analiz..... | 45 |
| 6.2.2. Dinamik analiz..... | 46 |
| 6.2.2.1. Modal analiz..... | 46 |
| 7. KÜLTÜR MİRASI OLAN SİNOP KALESİ..... | 47 |
| 7.1. Sinop Şehri..... | 47 |
| 7.2. Geçmişten Günümüze Sinop Kalesi..... | 48 |
| 7.3. Kalenin Tanımı ve Yapısal Bileşenleri..... | 55 |
| 8. SİNOP KALESİ'NİN MEVCUT DURUMUNUN ANALİZİ VE SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ KULLANILARAK MODELLENMESİ..... | 63 |
| 8.1. Kalenin Mevcut Durumu ve Kullanılan Mimari Ölçüler..... | 63 |
| 8.2. Kalenin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Modellenmesi..... | 68 |
| 8.2.1. TBDY 2018'e göre yapısal analiz için oluşturulan modellemede kullanılan parametreler..... | 69 |
| 8.2.2. İşaret uyumu ve yön kabulleri..... | 71 |
| 8.2.3. Yapının SAP2000 programına tanıtılması..... | 73 |
| 8.2.3.1. Ölü yükler altında yapının analizi..... | 79 |
| 8.2.3.2. Modal çözümleme..... | 83 |
| 8.2.3.3. G+EX ve G+EY deprem yüklemeleri..... | 88 |
| 9. SONUÇLAR..... | 92 |
| KAYNAKLAR..... | 96 |

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

- F_1 : 1.0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayısı
 F_5 : Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı
 $R_a(T)$: Deprem yükü azaltma katsayısı
 S_1 : 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı (boyutsuz)
 $S_{ae}(T)$: Yatay elastik tasarım spektral ivmesi (g)
 S_5 : Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı(boyutsuz)
 T_B : Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu (s)
 T_L : Yatay elastik tasarım spektrumunda sabit yer değiştirme bölgesine geçiş periyodu (s)
 T_a : Yaklaşık temel doğal periyodu
 T_b : Spektrum periyodu
 T_c : Spektrum periyodu
 T_d : Spektrum periyodu
 $T_{pA}^{(X)}$: Doğal titreşim periyodu (s)
D: Dayanım Fazlalığı Katsayısı
E: Elastisite modülü
G: Sabit yük etkisi
h: Bina yüksekliği
R: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
S: toprak faktörü
Sa/g: tasarım ivme katsayısı
T: Doğal titreşim periyodu (s)

Kısaltmalar

- ABYYHY: Afet Bölgelerinde Yapılan Yapılar Hakkında Yönetmelik
AFAD: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
BKS: Bina Kullanım Sınıfı
BYS: Bina Yükseklik Sınıfı
DBYBHY: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
DD-2: 50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
DGT: Dayanıma Göre Tasarım
TBDY: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
TYDRYK: Tarihi yapılar için deprem risklerinin kılavuzu

ŞEKİLLER DİZİNİ

| | |
|---|----|
| Şekil 3. 1. Sütun örneği (Artemis Tapınağı- Efes) | 8 |
| Şekil 3. 2. Dairesel, dörtgen ve çokgen kesitli sütunlar (Tuluk, 1999) | 8 |
| Şekil 3. 3. Tuğla duvar..... | 9 |
| Şekil 3. 4. Duvarlarda normal ve kesme kuvvetlerinin oluşumu (Tarihi Yapılar İçin Deprem Riskleri Yönetimi Kılavuzu, 2018)..... | 9 |
| Şekil 3. 5. Farklı yapıdaki kemer örnekleri | 11 |
| Şekil 3. 6. Kemer biçimleri (Hasol, 1998)..... | 11 |
| Şekil 3. 7. Kemerin taşıyıcı sistem elemanları | 12 |
| Şekil 3. 8. Zaman içinden değişen kemer tipleri (Özer, 2006)..... | 12 |
| Şekil 3. 9. Tarihi yapılarda görülen tonoz tipleri..... | 13 |
| Şekil 3. 10. Tonoz biçimleri (Hasol, 1998) | 13 |
| Şekil 3. 11. Tonozlarda kuvvet akışı ve gergi kuvveti (Tarihi Yapılar İçin Risklerin Yönetimi Kılavuzu, 2018) | 14 |
| Şekil 3. 12. Kubbede çekme ve basınç bölgeleri (Penelis ve ark.)..... | 14 |
| Şekil 3. 13. Kubbelerde yük taşıma mekanizması (Ünay, 2002) | 15 |
| Şekil 3. 14. Tarihi yapılarda kubbe örnekleri | 15 |
| Şekil 3. 15. Sinop Kalesi kuzey surları taş duvarları..... | 17 |
| Şekil 3. 16. Bursa Muradiye Camii almaşık duvar örneği..... | 19 |
| Şekil 4. 1. Binalarda oturmanın meydana gelmesi (Döndüren ve ark., 2017)..... | 21 |
| Şekil 4. 2. Temel oturma çatlakları (Çamlıbel, 2000) | 22 |
| Şekil 4. 3. Sel baskını sonucu oluşan hasar örneği (Ahunbay, 2004)..... | 22 |
| Şekil 4. 4. Deprem sonucunda oluşan hasar örneği (Döndüren ve ark., 2017) | 23 |
| Şekil 4. 5. Taşıyıcı duvarlarda meydana gelen çatlak tipleri..... | 24 |
| Şekil 4. 6. Sinop Kalesi'ndeki tarihi suyla temas sonucunda taş yapılarda görülen bozulmalar | 25 |
| Şekil 4. 7. Duvarlarda meydana gelen çatlaklar ve kopmalar (TYDRYK, 2017)..... | 26 |
| Şekil 4. 8. Kemerlerde meydana gelen hasarlar | 26 |
| Şekil 4. 9. Düşey yükler sonucunda kemerlerde meydana gelen hasarlar (Yüce, 2021) | 26 |
| Şekil 4. 10. Çevresel faktörlerin tarihi yapılara etkileri | 27 |
| Şekil 4. 11. Kubbedeki kuvvetlerin bileşenleri(Aköz, 2008) | 28 |
| Şekil 4. 12. Kubbede meydana gelen hasar örneği..... | 28 |
| Şekil 4. 13. Terkedilmiş geleneksel konut örneği (Tokat, 2018) | 29 |
| Şekil 4. 14. Emevi Cami'nin savaştan sonraki hali | 29 |
| Şekil 5. 1. Temel güçlendirme ayrıntıları (Bayülke, 2013)..... | 32 |
| Şekil 5. 2. Yığma yapı temelinin derine inen beton ayakla güçlendirilmesi (Bayülke, 2013)..... | 32 |
| Şekil 5. 3. Çatlakların doldurulması (Bayülke, 2013) | 33 |
| Şekil 5. 4. Taş duvarlarda düşey çatlak onarımı dikilmesi (Bayülke, 2013)..... | 34 |
| Şekil 5. 5. Tuğla duvarlarda çatlak onarımı (Bayülke, 2013)..... | 34 |
| Şekil 5. 6. Yığma yapı köşe hasar örnekleri (Bayülke, 1984)..... | 35 |
| Şekil 5. 7. Duvar kesişim bölgesine donatı yerleştirilmesi (Bayülke, 1984)..... | 36 |
| Şekil 5. 8. Yığma yapı köşe hasarı onarımı (Bayülke, 1984)..... | 36 |
| Şekil 5. 9. Hasır çelikle kaplama ayrıntısı (Bayülke, 2013) | 37 |
| Şekil 5. 10. İkinci bir döşeme yerleştirme işlemi (Kara, 2009)..... | 38 |
| Şekil 5. 11. Döşemede çelik çapraz kullanımı (Sesigür ve ark., 2007) | 39 |
| Şekil 5. 12. Tarihi eserlerde taşıma örneği (Zeynel Bey Türbesi)..... | 40 |

| | |
|---|----|
| Şekil 6. 1. Örnek yığma yapı elemanı (Lauronçe, 1996)..... | 41 |
| Şekil 6. 2. Ayrıntılı mikro modelleme tekniği (Lauronçe, 1996)..... | 42 |
| Şekil 6. 3. Basitleştirilmiş mikro modelleme tekniği için örnek eleman..... | 42 |
| Şekil 6. 4. Makro modelleme tekniği için örnek eleman..... | 43 |
| Şekil 6. 5. Çubuk elemanlar ile oluşturulan örnekler (Vatan,2005)..... | 44 |
| Şekil 6. 6. Üç ve dört düğümlü kabuk elemanlar (Wilson, 2002)..... | 44 |
| Şekil 7. 1. Sinop şehrinin genel görünüm..... | 47 |
| Şekil 7. 2. Sinop Liman'ından tarihi kale ve surların görünümü (Zeynel Zeki Özcanoğlu Arşivi)..... | 49 |
| Şekil 7. 3. Sinop sur duvarları genel planı (Resford, 2014)..... | 50 |
| Şekil 7. 4. Sinop Saat Kulesi..... | 50 |
| Şekil 7. 5. Sinop güney liman burcu..... | 51 |
| Şekil 7. 6. Sinop'un batı surları..... | 52 |
| Şekil 7. 7. Kuzey sur duvarları hattı..... | 52 |
| Şekil 7. 8. Kuzey sur duvar bölümleri..... | 53 |
| Şekil 7. 9. Sinop kuzey- güney sur duvarları (Kılıç Demircan, 2020)..... | 53 |
| Şekil 7. 10. Güney limana bakan sur duvarları..... | 53 |
| Şekil 7. 11. Sinop tarihi cezaevi..... | 54 |
| Şekil 7. 12. a) Lonca Kapısı- Jules Laurens (Resford, 2014) b) Lonca Kapısı Askerlik Şubesi-1910 (Özcanoğlu)..... | 54 |
| Şekil 7. 13. Meydan Kapı- 1889 (Atmaca, 2017)..... | 55 |
| Şekil 7. 14. Farklı plan tiplerine sahip kaleler (Özçetin,2016)..... | 56 |
| Şekil 7. 15. Kalenin bölümleri (Gabriel, 1940)..... | 57 |
| Şekil 7. 16. Mamure Kalesi hendek örneği..... | 58 |
| Şekil 7. 17. Kızılkule kule örneği..... | 58 |
| Şekil 7. 18. Dolgulu duvar çeşitleri (Akarca, 1998)..... | 59 |
| Şekil 7. 19. Mantinea surları kesiti (Akarca, 1998)..... | 59 |
| Şekil 7. 20. Amasra Kalesi..... | 60 |
| Şekil 7. 21. Çin Seddi..... | 60 |
| Şekil 7. 22. Çeşitli mazgal görünüş tipleri (Mesqui, 2014)..... | 61 |
| Şekil 7. 23. Sinop Kalesi seyirdim yolu örneği..... | 61 |
| Şekil 7. 24. Kalenin mimari öğeleri, Krak Des Chevaliers Kalesi (Edwards, 1983)..... | 62 |
| Şekil 8. 1. Sinop kale surları ve cezaevi paftası..... | 63 |
| Şekil 8. 2. 4. Bölge sur taban kot ve ölçüleri..... | 64 |
| Şekil 8. 3. 4. Bölge sur üst kot ve ölçüleri..... | 64 |
| Şekil 8. 4.4. Bölge görünüş..... | 65 |
| Şekil 8. 5. 4. Bölgenin burç ve surlarının görünümü..... | 65 |
| Şekil 8. 6. 10 nolu burç güney-batı cephesi..... | 66 |
| Şekil 8. 7. 10 nolu burç güney (ön) cephesi..... | 66 |
| Şekil 8. 8. 10 nolu burç ve sur duvarları yandan görünümü..... | 67 |
| Şekil 8. 9. Türkiye deprem tehlike haritası..... | 70 |
| Şekil 8. 10. AFAD'dan alınan spektral ivme katsayısı değerleri..... | 70 |
| Şekil 8. 11. AFAD'dan alınan tasarım spektral ivme katsayısı değerleri..... | 70 |
| Şekil 8. 12. AFAD'dan alınan yatay elastik tasarım spektrumu..... | 70 |
| Şekil 8. 13. Katı (SOLID) eleman işaret ve yönleri..... | 72 |
| Şekil 8. 14. Global koordinatlar ve gerilmeler..... | 72 |
| Şekil 8. 15. a) S22 düşey gerilmesi b) S21 kayma gerilmesi..... | 73 |
| Şekil 8. 16. Yapıda kullanılan taş malzemesine ait özellikler..... | 74 |
| Şekil 8. 17. Yapıyla ilgili deprem parametrelerinin programa girilmesi (TBDY 2018 için)..... | 74 |

| | |
|---|----|
| Şekil 8. 18. Yapıda tanımlı EX response spectrum (TBDY 2018 için)..... | 75 |
| Şekil 8. 19. Yapıda tanımlı EY response spectrum (TBDY 2018 için)..... | 75 |
| Şekil 8. 20. Yük tanımlamalarının girilmesi..... | 76 |
| Şekil 8. 21. Yapıya etkiye yük kombinasyonlarının girilmesi (TBDY 2018 için)..... | 76 |
| Şekil 8. 22. Tarihi Sinop Kalesi'nin üç boyutlu modellemesinin doğu cephesinden görünümü..... | 77 |
| Şekil 8. 23. Tarihi Sinop Kalesi'nin üç boyutlu modellemesinin önden görünümü | 77 |
| Şekil 8. 24. Tarihi Sinop Kalesi'nin üç boyutlu modellemesinin batı cephesinden görünümü..... | 78 |
| Şekil 8. 25. Tarihi Sinop Kalesi'nin üç boyutlu modellemesinin güney cephesinden görünümü..... | 78 |
| Şekil 8. 26. G yüklemesi S11 grafiği (X doğrultusu)..... | 80 |
| Şekil 8. 27. G yüklemesi S22 grafiği (Y doğrultusu)..... | 80 |
| Şekil 8. 28. G yüklemesi S33 grafiği (Z doğrultusu)..... | 81 |
| Şekil 8. 29. G yüklemesi S12 grafiği (X-Y düzlemi)..... | 81 |
| Şekil 8. 30. G yüklemesi altında meydana gelen maksimum asal gerilme dağılımı | 82 |
| Şekil 8. 31. G yüklemesi altında meydana gelen minimum asal gerilme dağılımı | 82 |
| Şekil 8. 32. G yüklemesi altında oluşan maksimum yer değiştirme (m)..... | 83 |
| Şekil 8. 33. Sinop Tarihi Kalesi'nin ilk 10 moda ait deformasyon hareketleri | 88 |
| Şekil 8. 34. Sinop Kalesi'nin G+EX ve G+EY deprem yükleri altındaki yer değiştirmeleri (m) | 89 |
| Şekil 8. 35. Sinop Kalesi'nin G+EX ve G+EY deprem yükleri altındaki S11 gerilmesi (kN/m ²) | 90 |
| Şekil 8. 36. Sinop Kalesi'nin G+EX ve G+EY deprem yükleri altındaki S22 gerilmesi (kN/m ²) | 90 |
| Şekil 8. 37. Sinop Kalesi'nde G+EX deprem yükleri altındaki S12 gerilmesi (kN/m ²)91 | |
| Şekil 8. 38. Sinop Kalesi'nde G+EY deprem yükleri altındaki S12 gerilmesi (kN/m ²)91 | |

ÇİZELGELER DİZİNİ

| | |
|---|----|
| Çizelge 6. 1. TBDY 2018'e göre eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulama sınırları | 45 |
| Çizelge 8. 1. 4. Bölgedeki kaleye ait burç ve surların ölçüleri..... | 67 |
| Çizelge 8. 2. Sinop Kalesi 4. Bölge güney surları ve burçlarına ait sonlu elemanlar modelindeki malzeme özellikleri..... | 69 |
| Çizelge 8. 3. Malzeme grupları için kabul edilen emniyet gerilmeleri | 69 |
| Çizelge 8. 4. TBDY 2018'e göre alınan değerler | 71 |
| Çizelge 8. 5. TBDY 2018'e göre ilk 50 modun serbest titreşim periyotları ve kütle katılım oranları..... | 84 |



1.GİRİŞ

Kültürel mirasımız olan tarihi yapılar insanlara geçmişte var olan kültür, tarih ve yerleşim katmanları hakkında rehberlik ederler. Bu tarihi katmanlar geçmiş ve gelecek arasında bir köprü niteliği gördüğü için önemleri büyüktür. Tarihi yapılarda koruma ve geleceğe taşıma kavramları ulusal ve uluslararası çalışmalar doğrultusunda yönetmelik, kanun ve tüzüklerle koruma altına alınmıştır.

Tarihi yapılar, doğal afetler, hızlı kentleşmenin getirdiği çeşitli çevresel problemler veya insan etkisiyle hasar görmektedir. Bununla birlikte tarihi yapıların zarar görmesine yol açan diğer nedenler; yapıda kullanılan malzemenin dayanımını yitirmesi, zemin oturmaları, savaşılar, yangınlar ve zamanında yapılmayan ya da bilinçsizce yapılan bakım ve onarımlardır. Tarihi yapıların geleceğe aktarılması için korunması ve hasar tipinin nedenini tespit ettikten sonra uygun onarım ve güçlendirme metodunun uygulanması gerekmektedir.

Tarihi yapıların ileriki zamanlarda deprem gibi beklenmeyen etkiler altında davranışının tespiti için modellenmesinin doğru bir şekilde yapıldıktan sonra analizde elde edilen sonuçlara göre önerilerde bulunulmalıdır. İncelenecek olan yapıya uygun, doğru sonuçları verebilecek paket program belirlendikten sonra doğru bir şekilde modellemeyi yapmak bizi doğru bir analiz sonucuna götürecektir. Tarihi yapıların analizi heterojen yapısı nedeniyle diğer yapılara göre biraz daha karmaşıktır. Modelleme yöntemleri arasında üstünlük yoktur. Uygun olan analize göre modelleme yöntemi belirlenir. Örneğin, mikro modelleme yöntemi tarihi yapılarda bölgesel davranışa bakmak için tercih edilirken makro modelleme tüm sistemin davranışının gözleneceği durumda tercih edilir (Bağcı,2018).

Tarihi yapıların karmaşık geometrisi nedeniyle davranışını belirlemek zordur. Son yıllarda bilgisayar teknolojisinin gelişimiyle tarihi yapılarda yapı elemanlarının 3 boyutlu yapısal davranışını hesaplamak için kullanılan sonlu elemanlar yöntemi tercih edilmektedir. Sonlu elemanlar yöntemiyle, model sonlu elemanlara bölünür ve her elemanın sahip olduğu düğüm noktalarında serbestlik dereceleri tanımlanır. Her bir sonlu eleman parçasının davranış denklemi çözüldükten sonra taşıyıcı sistemin davranışı da belirlenmiş olacaktır (Bağcı, 2018).

Yapılan tez çalışması 9 bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde tezin içeriğinden ve amacından bahsedilmiştir. İkinci bölüm olan kaynak araştırmasında ise, çalışmanın içeriğine örnek oluşturacak çalışmalar incelenmiştir. Üçüncü bölümde tarihi yapıların

taşıyıcı sistem özellikleri ve kullanılan malzeme özellikleri anlatılmıştır. Dördüncü bölümde tarihi yapılarda görülen hasar tipleri detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Beşinci bölümde tarihi yapılarda kullanılan onarım ve güçlendirme metotları anlatılmıştır. Altıncı bölümde tarihi yapıların statik ve dinamik yükler altında davranışları, kullanılan modelleme teknikleri ve analiz yöntemleri açıklanmıştır. Yedinci bölümde çalışmada ele alınan Sinop ili ve Tarihi Sinop Kale'sinin tarihçesi, kalenin strüktür ve malzeme özellikleri anlatılmıştır. Kalenin mimarisi ve bölümlerin özellikleri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Sekizinci bölümde Sinop Kalesi güney liman burcu ve sur duvarları SAP2000 V20.2.0 programında modellenmesi yapıldıktan sonra TBDY 2018 yönetmeliğine uygun bir şekilde statik ve modal analizi yapılmıştır. En son bölüm olan dokuzuncu bölümde elde edilen analiz sonuçları değerlendirilmiş, gerilme yığılmalarının yoğun olduğu kısımlar için önerilerde bulunulmuştur.

Bu çalışmada Tarihi Sinop Kalesi'nin tarihçesi, yapıyı oluşturan taşıyıcı sistem ve özellikleri anlatılmıştır. Kalenin 4. bölge 10 nolu burç kısmı, SAP2000 V20 programı ile SOLID eleman olarak modellenmesi yapılmıştır. Modelleme yapıldıktan sonra TBDY 2018'e göre statik ve modal analizleri yapılmıştır. Bu çalışma için başlangıçta ileri düzey belgeleme yöntemi olan lazer tarama yöntemi ile tarama yapılmak istenmekteydi. Gerekli maddi imkanlar sağlanamadığı için bu yöntem kullanılamamıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Boran (2001) 'Anadolu'daki İç Kale Cami ve Mescidleri' adlı kitabında kalenin tanım ve öğelerinden, Anadolu'da bulunan iç kale ve cami çeşitlerinin tarihsel sürecinden ve bu yapıları teker teker ele alarak incelemiştir. Ayrıca bu yapıların mimari elemanlarını, süslemelerini ve kullanılan yazıları da detaylı olarak açıklamıştır.

Eyice (2001), çalışmasında yapısal olarak kaleye dair çeşitli tanımlamalara yer vermiştir. Ayrıntılı olarak bahsetmek gerekirse, kalenin terimsel tanımlamasını, kaleye ait bölümlerin açıklanmasını, kullanım alanlarının belirtilmesini ve ayrıca dönemsel olarak kalenin tarihsel gelişimi hakkında bilgi vererek okuyucuyu bilgilendirmeyi amaçlamıştır. Verdiği çeşitli örneklerle de görsel olarak pekişmesini sağlamıştır.

Saraç (2003), çalışmasının ilk bölümünde mevcut zemin ve üst yapı çalışması esas alınarak, yapı taşıyıcı sistemlerinin mevcut güvenlik düzeyleri belirlenmiştir. Mevcut güvenlik düzeyi belirlendikten sonra yapının güçlendirmeye ihtiyacı olup olmadığı tespit edilmiştir. Belirlediği üç tarihi yapının güçlendirme öncesi ve sonrası olmak üzere deprem güvenliği ve kayma gerilmesi yönünden güvenlik düzeyleri belirlenmiştir. Daha sonrasında her bir yapı için önerilerde bulunmuştur.

Önal ve Koçak (2005), yaptıkları çalışmada yığma yapılarda meydana gelebilecek hasar türleri üzerinde incelemeler yapmıştır. Hasar sebepleri ve onarım güçlendirme yöntemleri anlatılmıştır. Onarım ve güçlendirme yöntemleri anlatılırken deprem yönetmeliğindeki ve yığma yapıların depreme dayanıklı tasarımı göz önüne alınarak incelemelerde bulunmuşlardır.

Mahrebel (2006), yaptığı çalışmasında seçtiği üç tarihi bina için uygulanan güçlendirme teknikleri hakkında bilgi vermiş olup yapılan tekniğin uygunluğunu değerlendirmiş ve her yapı için ayrı ayrı önerilerde bulunmuştur.

Yılmaz (2006), tez çalışmasında Sapanca'da bulunan Rahime Sultan Camii incelenmiş ve SAP2000 paket programıyla yapısal analizi yapılmıştır. Yapının statik ve modal analizlerini yapmıştır. Maksimum yer değiştirmenin kubbe tepe noktasında meydana gelmiştir.

Aköz (2008), tarihi yığma yapıların onarım ve güçlendirilmesi konusunu detaylı olarak incelemiştir. Çalışma konusunda belirlediği Murat Paşa Camii'nin ilk olarak taşıyıcı sistem ve mimari özelliklerini tanıtmıştır. Daha sonrasında üç boyutlu sonlu eleman modeli hazırlanan yapının statik ve dinamik analizi yapılmış, güçlendirme ihtiyacının olup olmadığı üzerine değerlendirmelerde bulunmuştur.

Dabanlı (2008), örnek olarak ele aldığı tarihi yapı olan Hırka-i Şerif Camii'nin SAP 2000 programı ile üç boyutlu sonlu elemanlar modelini oluşturmuş, statik ve dinamik analizler yaparak yapının güvenliğini ve deprem performansını değerlendirmiştir. Analiz sonucunda elde edilen verileri yorumlayarak güçlendirme önerilerinde bulunmuştur.

Döndüren (2008), çalışmasında bağlayıcı özelliği artırılan duvar ve sıva harcının yükleme altındaki mekaniksel davranışını incelemiştir. Çalışmasını yaparken normal harçla hazırlanan yığma duvarla Sikalatek adı verilen katkı malzemesiyle bağlayıcılığı artırılan harçla hazırlanmış duvarın düzlem dışı kırılması altındaki davranışı incelenmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Kara (2009), yaptığı çalışmada örnek olarak ele aldığı 5 adet yığma kagir yapıya ait bilgileri verdikten sonra 2007 deprem yönetmeliğine göre güvenlik durumu incelenip güçlendirmeye ihtiyaç olup olmadığının tespiti yapmıştır. Yapıya uygun güçlendirme yöntemi belirlendikten sonra mevcut durum ile güçlendirilmiş durum arasında karşılaştırma yapmıştır. Karşılaştırma sonucunda güçlendirme sonrası hesaplanan değerlerin sınır değerleri aşmadığını belirtmiştir.

Ural (2009), doktora tezindeki amaç mevcut literatür ve yönetmeliklerden yararlanarak modelleme teknikleri ortaya koymak, taşıyıcı duvarlara etkileyen parametreleri belirlemek ve bu parametrelerin yapının davranışa olan etkilerini araştırmaktır. Böylece yapının statik ve dinamik davranışının düzgün bir şekilde belirleyerek ileride karşılaşılması olası görülen hasarların önlenmesinin mümkün olduğunu vurgulamıştır. Tez kapsamında iki farklı program yardımıyla çeşitli analizler gerçekleştirmiştir. Değerlendirme aşamasında ise duvarın yük taşıma kapasitesine etki eden parametreleri belirtmiştir.

Türker (2010), çalışmasında İstanbul Üniversitesi Eczacılık Fakültesi binasında deprem analizleri yapmayı amaçlamıştır. Bu analiz için deprem yönetmeliğinden yararlanarak EXCEL formatında bilgisayar programı geliştirmiştir. Ayrıca yığma duvarların dinamik davranışını incelemek için SAP 2000 programından yararlanmıştır. Böylelikle yığma yapılarda esas parametre olan basınç dayanımına göre tüm duvarlar için sınır değerleri aşmadığı sonucuna varmıştır.

Ercan (2010), doktora tezinde inceleme yapmak için İzmir'de yer alan iki örnek yapıyı seçmiştir. Bu yapıların malzeme özelliklerini belirlemek için tahribatlı ve tahribatsız malzeme testleri, dinamik inceleme, darbe-eko yöntemleri kullanmıştır. İlaveten ele alınan yapılarda sonlu elemanlar yöntemi ile ölü yük altında analizi, modal

analizi, spektrum ve zaman tanım alanındaki analizleri yaparak yapıların olası davranışı konusunda değerlendirme yaparak literatüre katkı sağlamıştır.

Can ve Ünay (2012), yaptıkları çalışmada tarihi yapılardaki hasarı önlemek için farklı meslek gruplarından kişilerin disiplinler arası bir çalışmanın gerekliliğini ve bu çalışmada belli kriterlerin göz önünde olması gerektiğini vurgulamışlardır. Bu makaledeki amaç geliştirdikleri sayısal modellerin ve hesapların farklı meslek grupları tarafından da kolaylıkla anlaşılmasını sağlamaktır. Ayrıca yapının strüktürel davranışının daha iyi anlaşılabilmesi için, yapının modellenmesinin doğru bir şekilde yapıldıktan sonra sınır gerilme değerlerinin model üzerinde renk konturlarıyla gösterilip ne anlama geldiğinin ifade edilmesinin yapının değerlendirilmesi açısından önemini vurgulamıştır.

Çal (2015), çalışmasında İstanbul'da bulunan Ortaköy Büyük Mecidiye Camii'nin sayısal modelini SAP 2000 programı ile oluşturduktan sonra statik ve dinamik analizlerini yapmıştır. Modellemede kabuk ve katı elemanlar olarak modellemiştir. Dinamik analiz kapsamında bölgenin zemin yapısına uygun sismik kayıtlar kullanmıştır. Böylelikle analizler sonucunda en fazla zorlanan kesit ve bölgeler belirlenmiş, yapının genel davranışı hakkında değerlendirmeler yapılmıştır.

Özçetin (2016), çalışmasında kalelere verilen arkeoloji müzesi işlevinin kalenin mimarisine uygunluğunu değerlendirmek amacıyla ele almıştır. Çalışma kapsamında Bodrum, Çeşme ve Marmaris Kalelerini ele alarak yapıların tarihsel gelişimini, üstlendiği rolleri incelemiştir. Bu kalelerin arkeoloji müzesi olarak işlev kazanmasına neden olan etkenleri ve bu dönüşüm esnasında ortaya çıkan sorunları Koruma Kurullarına ait arşivsel bilgiler doğrultusunda tespitini yapmıştır.

Şişik (2017), Edirne'de bulunan cami ve türbe örneklerinin SAP2000 programı yardımıyla sonlu elemanlar ile modelleyerek çeşitli yükler altında oluşan kuvvetler ve gerilmeler hesaplanarak statik analizini yapmıştır. Gerilmeler sonucunda ortaya çıkan deformasyonları sınır emniyet gerilmelerini aşıp aşmadığının tahkikini yapmıştır.

Bağcı (2018), yüksek lisans tez çalışmasında iki adet taş yığma kemer demiryolu köprüsü modellemiştir. Örnek olarak belirlediği tarihi yapılarda solid olarak modelleme olanağı sağlayan SAP2000 ve ANYS programlarında modelleme ve analiz sonuçlarını karşılaştırmıştır. Analiz yöntemi olarak zaman tanım alanında dinamik analiz ile 22 farklı deprem yer hareketinin 53 adet kaydını kullanarak yapmıştır.

Demir (2019), yüksek lisans çalışmasında Diyarbakır'da bulunan Dicle On Gözlü Köprüsü'nü SAP2000 programında modelleyerek tarihi yapının mevcut sismik performansının değerlendirilmesini amaçlamıştır. Zaman tanım alanında yaptığı analizler

sonucunda her bir deprem kaydına ait yer değiştirme ve gerilme değerleri ile elde edilen sonuçları birbiriyle karşılaştırarak değerlendirmiştir. Analizler sonucunda tarihi yapıda meydana gelebilecek maksimum gerilmeler ve yer değiştirmeleri belirlemiştir.

Nemutlu (2019), alışmasında Deprem Bölgeleri Hakkında Yönetmelik 2007, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 ve Building Code 2018 Amerikan yönetmeliklerinin deprem hesapları bakımından teorik olarak karşılaştırılmasını amaçlamıştır. Çalışmada belirlediği 3 farklı yapıyı SAP2000 programı ile 2007 ve 2018 Türk deprem yönetmeliklerine uygun bir şekilde deprem parametreleri girilip Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemine ve Mod Birleştirme Yöntemine göre analizini yapmıştır.

Kılıç Demircan (2020) ‘ Büyük Kütleli Tarihi Yapıların evresel Etkiler Altında Yapısal Dengesinin Analitik Yöntemlerle İncelenmesi; Sinop Kalesi rneği’ doktora tez çalışmasında Sinop Kalesi sur duvarları ve burçlarını çalışma alanı olarak belirlemiştir. Çalışma kapsamında ilk olarak SAP 2000 ile yapının üç boyutlu solid modellemesini yapıp çeşitli yüklemeler ve yük kombinasyonları altında gerilme değerleri, taban kesme kuvvetleri elde etmiş olup sınır gerilme değerleri ile karşılaştırmasını yapmıştır. İkinici olarak yapının dalga kuvvetleri ve zeminel etkiler altında aşamalı olarak, yekpare bir şekilde yıkılmasının senaryosu için analitik bir yöntem önermiştir. Aşamalı yıkım senaryosu seri analizlerle gerçekleştirilmiş ilgili değerlendirmeler çalışmanın son kısmında verilmiştir.

Yüce (2021), çalışmasında tarihi yapıların güçlendirilmesinde yenilikçi uygulama yöntemlerini detaylı olarak açıklamıştır. Daha sonrasında İstanbul’da 5 adet tarihi yapı seçmiş olup bu yapıların yapısal müdahale uygulamalarının aşamaları anlatılmıştır. Çalışmanın değerlendirme bölümünde ele aldığı 5 adet örnek yapının müdahaleler sonucunda sağladığı yararlar anlatılmış, geleneksel yöntem ile yenilikçi yöntem karşılaştırılmıştır.

3. TARİHİ YAPILAR

3.1. Tarihi Yapılarda Taşıyıcı Sistem Özellikleri

Tarihi yapılar geçmiş ile günümüz arasında bir köprü niteliği görür. Geçmişteki politik, ekonomik ve sosyolojik olayların tanıklığını oluşturur. Günümüzde insanlığın evrensel görevi olarak nitelendirilen kültürel mirasları koruma amaçlarına hizmet etmek için birçok uluslararası örgüt kurulmuştur. Anadolu toprakları çeşitli medeniyetlere ev sahipliği yaptığı için çok farklı sayı ve türde kültür varlığı bünyesinde barındırmaktadır. İklim şartları, doğal afetler veya insanların verdiği zararlar sonucunda yapıların stabilitesi bozulmakta ve orijinalliği yok olmaktadır (Demir, 2019).

Günümüzde tarihi yapıların korunması, meydana gelen deformasyonların onarılması ve geleceğe güvenle aktarılmasını amaçlayan birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmalar için ilk önce yapılması gereken yapının mevcut durumunu belirlemektir. Tarihi yapıların mevcut durumunun belirlenmesi amacıyla yapının tarihçesi, mimari özellikleri, taşıyıcı sistemi, malzeme özellikleri, hasar biçimleri ve bozulmalar, zemin özellikleri ve bölgenin sismik durumu incelenmelidir.

Tarihi yapılarda görülen taşıyıcı elemanlar döşemeler, temeller, duvarlar, tonozlar, kubbeler, kemerler, sütunlar vb. gibi elemanlardan meydana gelmektedir.

3.1.1. Temeller

Temeller sayesinde yapıya etki eden yükler zemine aktarılır. Zeminin yapısına bağlı olarak yüzeysel ve derin temeller olarak ikiye ayrılırlar (Kara, 2009). Temellerin korunması için zemin suyunun hareketi, yeraltı su seviyesini temel seviyesinin altına düşürmek gerekir. Tarihi yapıların temellerinde bulunan su tahliye boruları, zemin suyunun olumsuz etkisinde korunmak için yapılmıştır (Bayraktar, 2005).

3.1.2. Döşemeler

Döşeme, yapıya ait katları, yapının oturmuş olduğu zemin ile kapalı hacmi ayıran yatay taşıyıcı yapı elemanıdır. İnşa edildikleri malzemelerin türlerine göre kagir, ahşap döşemeler gibi isimlendirilmektedir (Soygeniş,1999). Döşemelerin deprem etkisinde beklenen davranışı sergileyebilmesi için döşemeler ve taşıyıcı duvarlar arasındaki

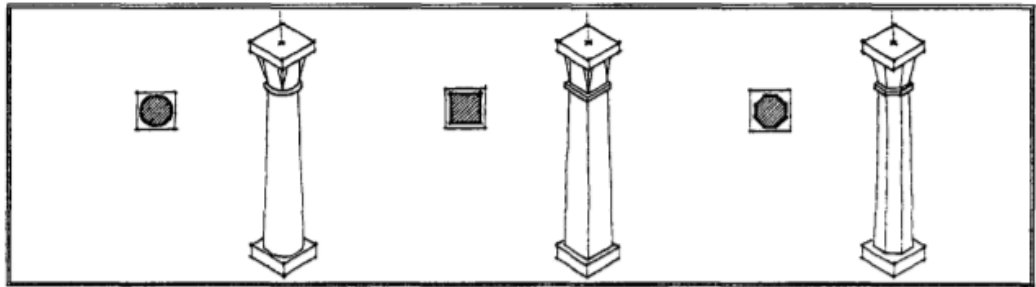
bağlantının iyi yapılmış olması, döşemelerde boşluk bırakılmaması, kesintiye uğramaması gerekir. Döşemeler ahşap döşeme, volta döşeme ve adi volta döşeme olarak sınıflandırılır (Kara, 2009).

3.1.3. Sütun ve ayaklar

Sütun ve ayaklar; daire, kare gibi farklı formları olan, duvarlar gibi düşey doğrultuda taşıyıcı elemanlardır (Türker, 2010). Tek parça şeklinde veya birden fazla bloktan oluşmaktadırlar (Şekil 3.1). Birkaç bloktan oluştuklarında ağaç veya bronz kenetler yardımıyla birleştirilirler. Sütunlar kiriş veya kemer yüklerini sütun başlığı ile toplayıp, altında bulunan yapı elemanına iletmek için sütun tabanı yapılır (Şekil 3.2)(Şişik, 2017).



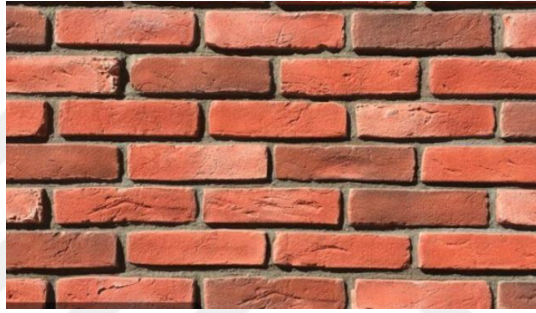
Şekil 3. 1. Sütun örneği (Artemis Tapınağı- Efes)



Şekil 3. 2. Dairesel, dörtgen ve çokgen kesitli sütunlar (Tuluk, 1999)

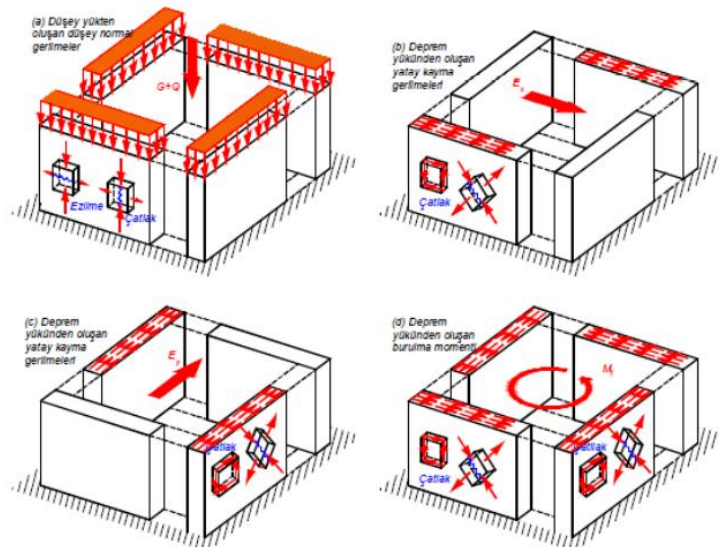
3.1.4. Duvarlar

Yapıdan gelen yükleri temele aktaran sürekli eleman olan duvarlar kesme taş, kaba yontu taş, moloz taş, tuğla ya da taş ve tuğla beraber kullanılarak oluşturulur (Sesigür, Çelik ve Çılı, 2007). Yapay ya da doğal blokların harç gibi bir bağlayıcı yardımıyla üst üste dizilerek meydana getirdikleri duvarlar yatay ve düşey yük taşıyan yapılardır. Hem mimari hem de taşıyıcı işlevleri vardır. Geçmişte duvarların ana malzemesi olarak genellikle taş malzemesi kullanılmaktaydı (Şekil 3.3)(Bayülke, 2011). Ana taşıyıcı elemanı olan duvarlarda dolu tuğla, beton briket ve taş kullanılırken, iç mekânlar da ise genellikle boşluklu briket ve tuğla kullanılmaktadır (İSMEP).



Şekil 3. 3. Tuğla duvar

Duvarların düşey ve yatay yükleri karşılayabilmesi için bütün olarak davranması, duvarların yatay kesitlerinde oluşan gerilmelerin düzgün yayılı dağılması istenir (Şekil 3.4) (Sesigür ve diğerleri, 2007)



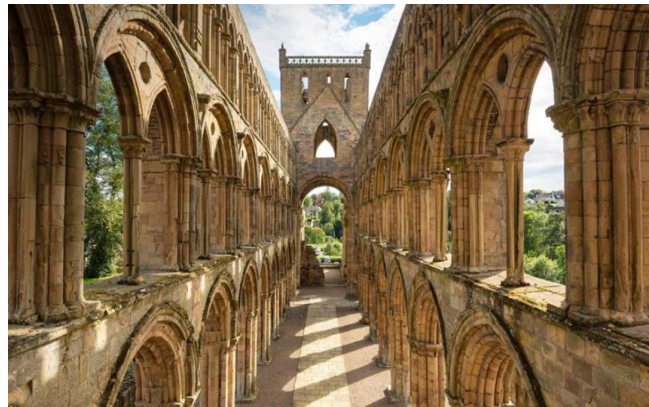
Şekil 3. 4. Duvarlarda normal ve kesme kuvvetlerinin oluşumu (Tarihi Yapılar İçin Deprem Riskleri Yönetimi Kılavuzu, 2018)

3.1.5. Kemerler

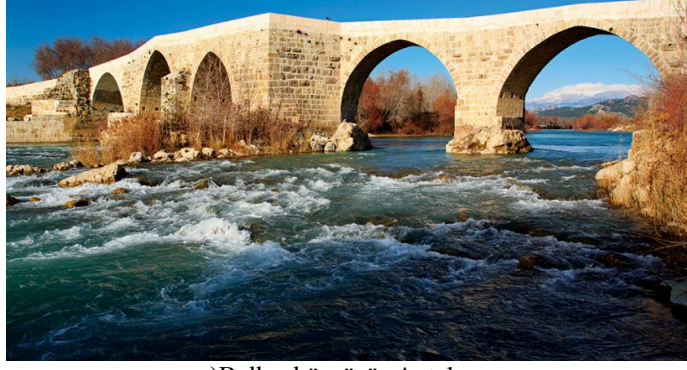
Kemerler, bir açıklığı geçmek için eğrisel biçimli strüktürel elemanlardır (Şekil 3.5)(Boran, 2001). Üzerine gelen düşey ve yatay yükleri belirli noktalara aktaran elemanlardır. Kemerlerin çoğunda gergi çekme çubuğu bulunabildiği gibi gergi çubuğu olmadan da sağlam duvarlara oturtularak yapılmaktadır (Şekil 3.6) (Bayraktar, 2005). Bir kemer üzengi, kemer taşı ve kilit taşından oluşmaktadır (Şekil 3.7). Üzengi, kemerin başlama taşıdır. Kilit taşı, kemerin düşey ekseninde bulunan taştır (Bayülke,1992). Mesnetlerin açıklık yönünde açılması kemerlerin stabilitesinin bozulmasına neden olmaktadır. Buna çözüm olarak tarihi yapılarda ahşap veya metal gergi çubukları kullanılmaktadır (Ünay, 2000).



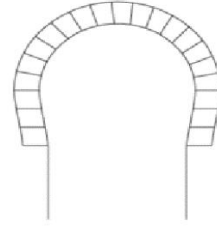
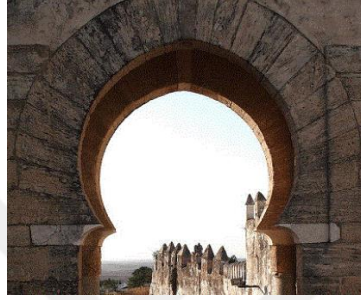
a)Türk kemeri



b) Sıralama kemer

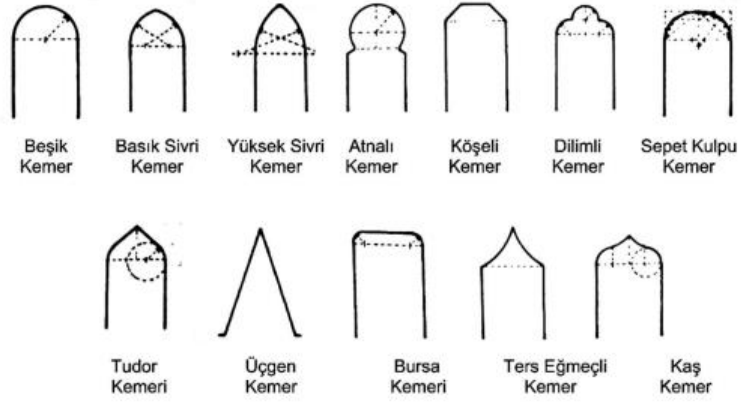


c)Belkis köprüsü- Antalya

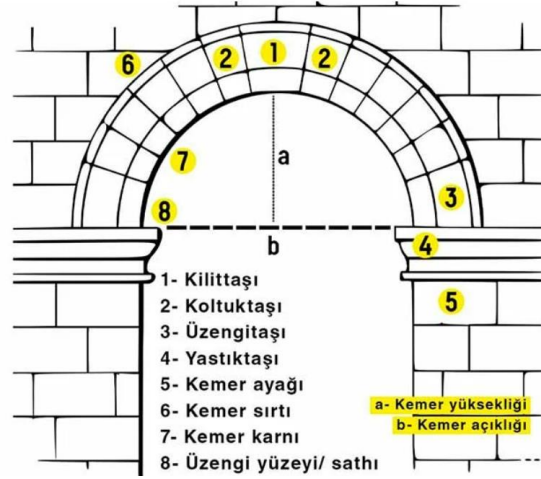


d)At nalı kemer

Şekil 3. 5. Farklı yapıdaki kemer örnekleri

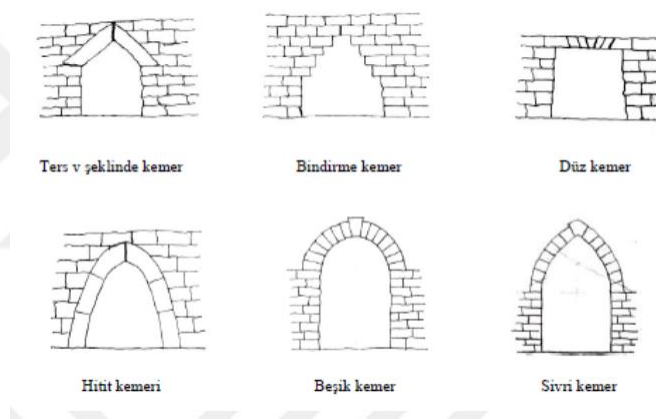


Şekil 3. 6. Kemer biçimleri (Hasol, 1998)



Şekil 3. 7. Kemerin taşıyıcı sistem elemanları

İlk kemerler birbirine ters V şeklinde oluşturulurken günümüze gelene kadar kemer biçimleri oluşturulurken farklı teknikler denenmiştir (Şekil 3.8)(Özer, 2006).



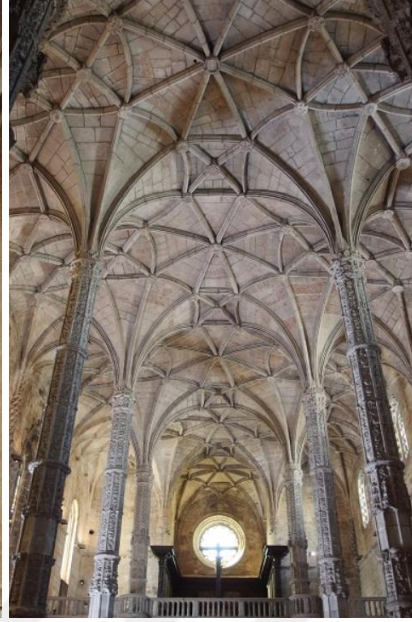
Şekil 3. 8. Zaman içinden değişen kemer tipleri (Özer, 2006)

3.1.6. Tonozlar

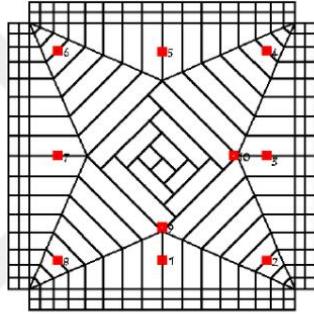
Tonozlar, bir kemerin kendi düzlemine dik doğrultuda ötelenmesiyle oluşan elemanlardır (Şekil 3.9). İlkel tonoz, beşik tonoz, çapraz tonoz ve manastır tonozu olmak üzere dörde ayrılır (Şekil 3.10) (Sesigür ve diğerleri, 2007). Tonozların yardımıyla, üst yapıyı taşımak için sağlam fakat hafif alt yapılar sağlanmasını mümkün kılar (Şişik, 2017).



a) Beşik tonoz

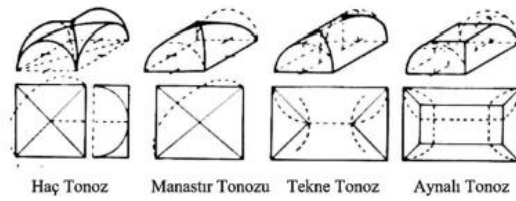
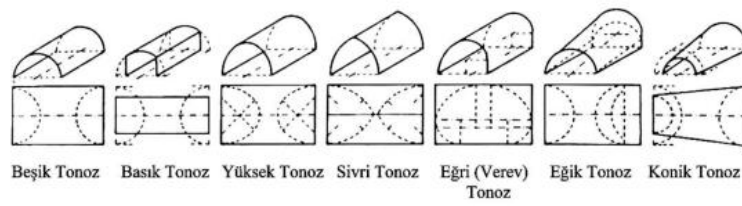


b) Ağ tonoz



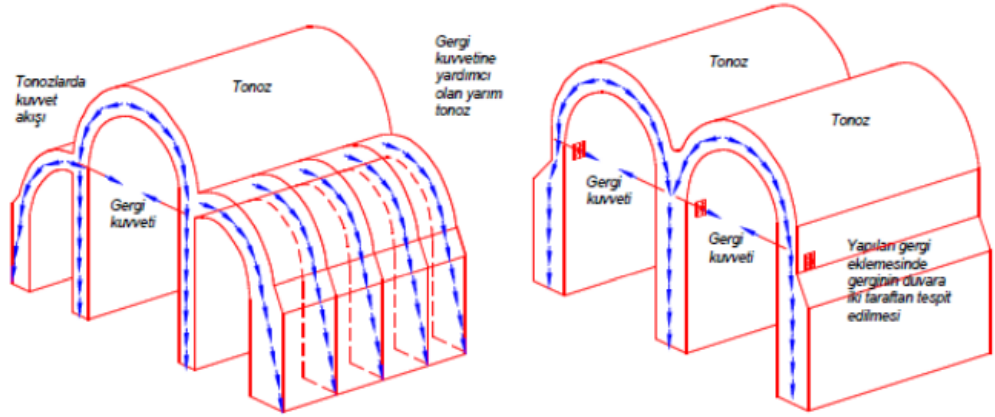
c) Yıldız tonoz

Şekil 3. 9. Tarihi yapılarda görülen tonoz tipleri



Şekil 3. 10. Tonz biçimleri (Hasol, 1998)

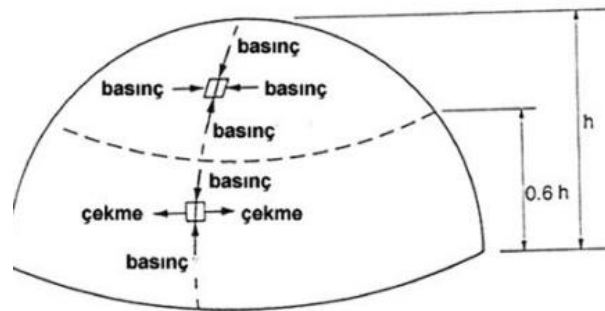
Tonozlarda kuvvet akışı ve gergi kuvveti Şekil 3.11 'de gösterilmiştir.



Şekil 3. 11. Tonozlarda kuvvet akışı ve gergi kuvveti (Tarihi Yapılar İçin Risklerin Yönetimi Kılavuzu, 2018)

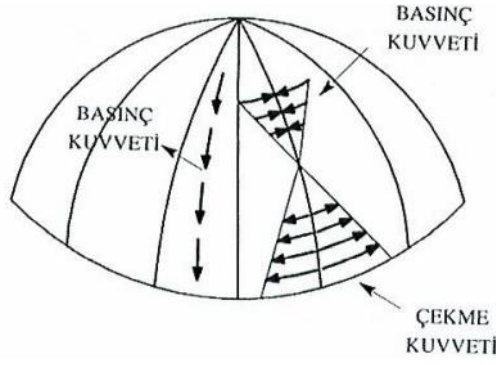
3.1.7. Kubbeler

Kubbeler, dairesel ve tam simetrik yapıya sahiptir. Bir kemerin düşey simetri eksenini etrafında döndürülmesiyle elde edilir (Şekil 3.12). Kubbenin dairesel olması nedeniyle oturacağı alanında dairesel olması gerekmektedir. Geniş alanların üzerinin örtülmesi için kullanılan kubbeler genellikle tuğla, taş ve ahşap malzemelerden yapılmaktadır. Düşey olarak basınca çalışan taşıyıcı sistemlerdir (Şekil 3.13). Kubbeler mesnetlerinde sürekli bir taşıyıcı yüzey elemana ihtiyaç duyarlar bu yüzden kubbenin dairesel bir mesnete oturması gerekmektedir (Sesigür ve ark., 2007).



(3a)

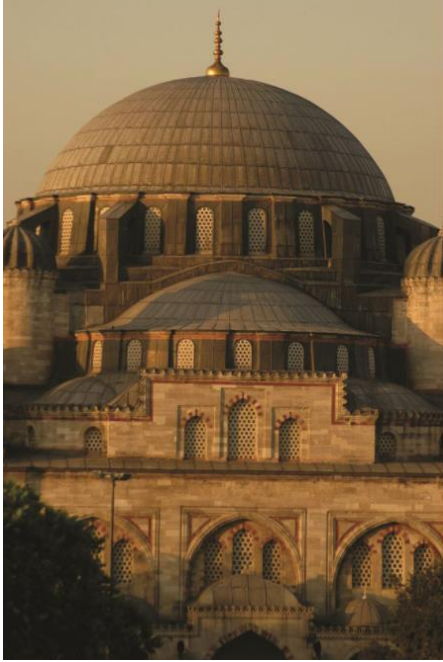
Şekil 3. 12. Kubbeye çekme ve basınç bölgeleri (Penelis ve ark.)



Şekil 3. 13. Kubbelerde yük taşıma mekanizması (Ünay, 2002)

Genellikle tarihi kagir yapılarda kubbeler küre parçası olarak yapılmışlardır (Şekil 3.14). Kagir çekme etkilerine karşı dayanıklı olmadığından, kubbenin biçimi içinde çekme gerilmeleri meydana gelmeyecek şekilde belirlenir. Bazen kubbe içinde yapılan pencereler vasıtasıyla çekme gerilmelerinin karşılanması kesintiye uğrar. Bu durumda pencerelerin bulunduğu noktalarda kubbeye çatlaklar oluşur (Çılı ve Sesigür, 2007).

Kubbenin tabanında oluşacak çekme gerilmelerine karşı alınacak en önemli önlem, bölgede çekme gerilmelerine dayanıklı olan bir malzeme kullanarak yapılan çember ile kuşatılmasıdır (Ünay, 2000).



Şekil 3. 14. Tarihi yapılarda kubbe örnekleri

3.2. Tarihi Yapılarda Kullanılan Malzeme Özellikleri

Yapıların davranışını, kullanılan malzemelerin özellikleri belirler (Dabanlı, 2008). Bu yüzden tarihi yapılarda kullanılan malzeme özelliklerini tanımak bu yapıları daha iyi anlamamızı sağladığı gibi geleceğe taşınmasında alınacak önlemlerde doğru müdahalede bulunmamıza olanak sağlar. Tarihi yapılarda genellikle ahşap, doğal taş, tuğla ve harç kullanılmaktadır. Yığma yapılarda kullanılan malzeme özellikleri incelendiğinde en çok karşılaşılan malzemeler doğal taş ve tuğlalardır.

3.2.1. Taş

Taşın tarihi yapılarda yaygın olarak kullanılmasındaki en büyük neden Anadolu'da kolaylıkla bulunmasındandır. Meydana gelişlerine göre volkanik, metamorfik ve tortul olmak üzere üç gruba ayrılmaktadırlar (Boran, 2001). Taş olumsuz çevre şartlarına çok dayanıklı bir malzemedir. Örneğin tarihi M.Ö. 800'lü yıllara kadar uzanan Sinop Kale'sinin günümüze kadar gelebilmesindeki en büyük neden yığma taşlardan yapılmış olmasıdır (Şekil 3.15) (Kılıç Demircan, 2020).

Taş, taşıma gücü ve basınç dayanımı yüksek, çekme dayanımı ise zayıf bir malzemedir. Bu özelliğinden dolayı yalnız basınç kuvveti alan kemerler, tonozlar ve kubbelerde kullanılması tercih edilir. Bunun yanında basınç yüklerini alan duvarlar ve ayakların yapımında taş kullanılmıştır. Bazı taşların basınç altındaki davranışı betona benzemektedir. Elastisite modülünün bilinmesi, taşıyıcı elemanın yüklemesi sonucunda meydana gelen sehim hesabı için gereklidir (Çamlıbel, 2000).

Yığma yapıda kullanılacak olan doğal taşın yeterli basınç dayanımına sahip olması, donma ve diğer atmosferik koşullara karşı yüksek dayanımlı olması, harca iyi yapışması ve kolayca işlenebilmesi gerekmektedir. Taşların yüzeyinin yapısı harca bağlanmada etkilidir. Dış yüzeyleri pürüzsüz ve yuvarlak olan taşlar harca yapışmayabilir (Bayülke, 2013).

Taşların basınç dayanımı değişkenlik göstermektedir. Basınç dayanımı taşın cinsine, oluşum koşullarına ve mineral yapısına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Püskürük (volkanik) kökenli taşların genel olarak basınç dayanımı, sertliği ve atmosfer koşullarına dayanımı daha yüksektir. Tortul taşlar ise dayanımları daha düşüktür (Bayülke, 2013).

Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgesindeki yapılarda daha çok iki renkli taşlarla cephelerin ve minarelerin yapıldığı görülmektedir. Zengi döneminin etkisi görülen bu camilere örnek olarak Ahlat İç Kale Camii'si ve Doğubeyazıt İç Kale Camii'si verilebilir (Boran, 2001).



Şekil 3. 15. Sinop Kalesi kuzey surları taş duvarları

3.2.2. Tuğla

Tuğla, kilin su ile karıştırılıp ateşte pişirilmesi ile elde edilir. Tuğla üretimi sırasında çok fazla yakıt tüketimine ihtiyaç duyar. Adi tuğlalar, harman tuğlası 800 derecede pişirilirken sert tuğla için bu ısı 900-1000 arasındadır. Pişirme sırasında tuğlanın içinde çatlak, boşluk ve geçitler oluşur. Bu boşluklara porozite denir (Bayülke, 2013).

Tuğla yığma yapının ana malzemesi olduğu için tuğla yapının dayanımını bilmek gerekir (Saraç, 2003). Taşta olduğu gibi tuğlada da basınç dayanımı en önemli özelliktir. Çekme mukavemeti düşüktür. Tuğlanın dayanımını; oluşturulan malzemelerin kalitesi, karışım oranı ve fırınlanma özellikleri belirler. Eğer tuğladan iyi bir dayanım bekliyorsak iyi pişirilmesi gerekir aksi takdirde aşınmaya uğrayabilir ve çatlaklar oluşabilir. Buna ek olarak tuğladaki porozite arttıkça basınç dayanımı azalır (Ünay,2002). Tuğlanın tercih edilmesinde jeolojik, ekonomik ve ideolojik koşullar etkili olmuştur. Tuğlanın tercih edildiği yerler taş ve ahşabın az bulunduğu yerlerdir (Ercan, 2010).

3.2.3.Kerpiç

Kerpiç, elverişli toprakların su ve katkı maddeleriyle karıştırılıp bir harç durumuna getirildikten sonra, özel kalıplar içerisinde büyük boyutlu bloklar biçiminde kesilip, güneşte kurutulmaları ile elde edilen bir yapı gerecidir. (Çelebi, 2012). Anadolu’da yapılan arkeolojik kazılar kerpiçin tarihimizde ne kadar önemli yer tuttuğunu kanıtlar niteliktedir. Doğa olaylarına (kar, deprem) karşı dayanımı az olmasına karşı ısı geçirgenlik düzeyinin yüksekliği ve ucuz temin edilmesi avantajıyla günümüzde önemli yere sahiptir (Çelebi, 2012).

Kerpiç endüstriyel bir üretim değildir. Tuğla ve taşın olmadığı yerlerde tercih edilmiştir. Bir bakıma topraktan yapılan tuğlanın pişirilmesi için yakıt temin edilemediği yerlerde güneş altında kurutulmuş ama pişirilmemiş bir malzemedir. Basınç dayanımı düşüktür. Kerpiç dayanımının yüksek olması için, kerpiç bloklarının döküleceği harcın çok iyi karıştırılması, dinlendirilmesi ve sonradan tekrar yeniden karıştırılması gerekmektedir. Kerpiçin içinde yer alan saman çekme dayanımı yüksek olan bir lif görevi görerek çatlak genişlemesini önler. Kerpiç toprağını bir arada tutan şey kil tanecikleri arasındaki kohezyondur. Bu yüzden kerpiçin nem ve sudan korunması gerekmektedir. Bunun içinde kerpiçin aşınıp dağılmaması amacıyla sıva kaplama ile önleminin alınması önemlidir (Bayülke, 2013).

3.2.4.Harç

Taş veya tuğlayı bir arada tutmaya yarayan yapının bütünsel çalışmasını sağlayan harçlar bağlayıcı malzeme, kum ve suyun karıştırılmasıyla oluşmuştur. Harçların basınç dayanımı duvarların basınç dayanımını etkilediği için, harcı oluşturan malzemeler, harcın kalınlığı, kalitesi gibi parametreler dayanım açısından önemlidir (Saraç, 2003). Yapı harçları iki tiptedir.

Kireç harcı; Eski Yunan, Roma dönemlerinden çimentonun kullanımına kadar olan süre zarfında kullanılmıştır. Kireç ve agregalar karıştırılır, isteğe bağlı olarak kirece organik ve inorganik maddelerde katılmaktadır (Böke, Akkurt ve İpekoğlu, 2004)

Horasan harcı, kireç ve tuğla tozu ile üretilen bağlayıcıdır. Roma- Yunan buluşu olarak nitelendirilse de hangi uygarlığa ait olduğu bilinmemektedir (Akman, 2003). Osmanlı, Selçuklu, Bizans mimarilerinde kullanıldığı bilinmektedir (Küban 1998).

3.2.5. Ahşap

Ahşap; işlenme, kolay taşınma, kolay elde edilebilme gibi özelliklerinden dolayı tarihi yapılarda en çok tercih edilen yapı malzemesinden biridir. Çekme ve eğilmeye karşı dayanımına ilaveten hafif olması bakımından taşa göre üstünlüğü olduğu gibi kullanım ömrünün kısalığı bakımında da dezavantaja sahiptir. Genellikle tavan, döşeme, duvarlarda hatıl olarak veya gergi elemanı olarak kullanıldığını tarihi yapılarda görmekteyiz (Yılmaz, 2006).

3.2.6. Kagir malzeme

Kagir, heterojen bir malzemedir. Doğal taş veya pişmiş toprağın (tuğlanın) bir bağlayıcı harçla birlikte kullanılması ile elde edilir. Duvar, kemer, tonoz ve kubbe gibi taşıyıcı elemanlarda kullanılır. Kagir malzemenin taşıma gücü; yapı taşına, harca, yapım tekniğine, çevre şartlarına ve zamana bağlıdır. Çekmeye karşı dayanımı çok azdır (Çamlıbel, 2000) .

Roma, Bizans ve Erken Osmanlı mimarisinde kullanılan almaşık duvar düzeni, genellikle birbirini izleyen taş ve tuğla sıralarıyla oluşmuş duvar örgüsü şeklindedir. Erken Osmanlı mimarisinde özellikle Bursa, Edirne, İstanbul ve Antalya bölgelerindeki camilerde kullanılmıştır(Şekil 3.16)(Boran, 2001).



Şekil 3. 16. Bursa Muradiye Camii almaşık duvar örneği

4. TARİHİ YAPILARDA GÖRÜLEN HASAR TÜRLERİ

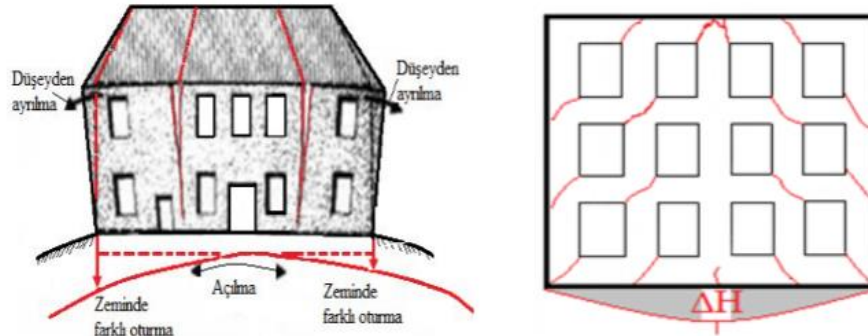
Bakımsızlık, doğal afetler, kullanılan malzemelerin eski özelliklerini yitirmesi gibi çeşitli nedenler tarihi yapıların zaman geçtikçe yok olmasına neden olmaktadır. Kültür mirasının korunması ve gelecek nesillere aktarılabilmesi için doğru müdahalede bulunmadan önce ilk adım meydana gelen hasarı doğru şekilde tespit etmektir. Meydana gelen hasarın nedenini bilmeden yapılan müdahale; beklenen işlevi yerine getirmemesine, hasarın daha fazla artmasına, zamanın ve paranın boşa gitmesine neden olabilir. Ayrıca bu tip disiplinler arası mühendislik çalışmalarında geri döndürülemez hatalarla karşı karşıya kalmamak için alanında uzman kişilerin, kurumların ilgilenmesi gerekmektedir.

Tarihi yapıda hasarlar; ezilme, çatlak, parça kopmaları, düzlem içi ve düzlem dışı deformasyon, ayrılma ve malzeme bozulması şeklinde meydana gelir. Hasarların meydana geldiği yerler aslında yapıda ve elemandaki dayanımı düşük bölgeleri işaret eder. Yapıya etkiyen yükler çekme dayanımını aştığında çekme yönüne dik olarak çatlaklar oluşur. Düzlem dışı deformasyonlar ise duvar şişmesi şeklinde olur. Hasarlar, yapı elemanın yük taşıma ve şekil değiştirme kapasitesini, durabilitesini etkiler (TYDRYK, 2017).

4.1. Zeminden Kaynaklı Hasarlar

Oturma, yapının düşey yöndeki hareketiyle birlikte zemindeki tanelerin dizilişinin değişmesi sonucu meydana gelir (Şekil 4.1). Oturmaya sebep olan bazı nedenler aşağıdaki gibi sıralanabilir (Uzuner, 2013);

- ✓ Zeminin yüklenmesi
- ✓ Yeraltı su düzeyinde değişiklik olması
- ✓ Bitişik kazılar nedeniyle temel veya temellerin altındaki zeminin bozulması
- ✓ Boşluk, mağara, galeri gibi yapıların çökmesi, toprak kaymaları
- ✓ Temel elemanların çevre faktörleri sonucu tahrip olması (sülfatın betona etkisi, çelik kazıklarda korozyon, çürüme)
- ✓ Don olayı (kabarma), killerin şişmesi
- ✓ Deprem, kazık çakma işlemleri gibi titreşimler



Şekil 4. 1. Binalarda oturmanın meydana gelmesi (Döndüren ve ark., 2017)

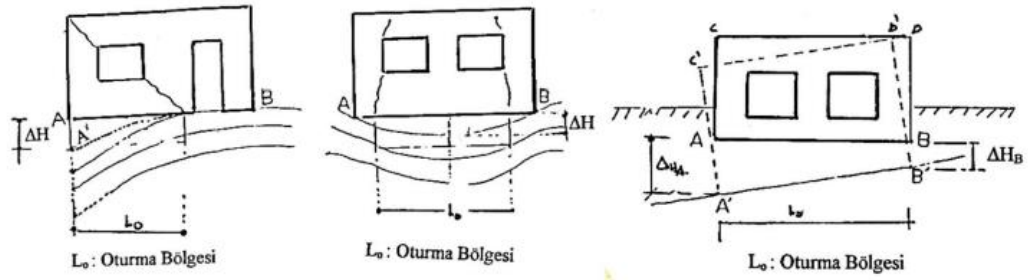
Oturmanın meydana getirdiği hasarlar yıkılmayla sonuçlanabilir. Meydana gelen hasarları aşağıdaki gibi sınıflandırabiliriz;

Mimari hasarlar, bölme duvarlar ile taşıyıcı elmanlar arasında ve sıvalarda çatlaklar, dökülmeler meydana gelmesidir. Yapıda güvenlik açısından sorun teşkil etmezler.

Fonksiyonel hasarlar, kapı pencerenin açılıp kapanmasında, asansörde doğrultusundan sapma gibi yapının kullanım işlevinde meydana gelen bu sorunlar taşıyıcı sistemde sıkıntı yaratmamaktadır.

Yapısal hasarlar, yığma binalarda taşıyıcı eleman olan duvarlarda, betonarme yapılarda kolon kiriş gibi elemanlarda çatlaklar meydana gelmesidir. Yapının güvenliği açısından tehlikeli bir durumdur(Uzuner, 2013) .

Bu hasarların ortaya çıkış şekli; ayrışmalar, kabarma, parça kopmaları ve çatlaklar olarak ayrılır(Akman, 2000). Ayrışma ve kabarma malzemedeki meydana gelen fiziksel ve kimyasal reaksiyonlardır. Parça kopmasında hasara neden olan etkenler sıcaklık değişimleri, atmosfer etkisi kimyasal reaksiyonlar ve çeşitli titreşim hareketleridir (Namlı, 2001). Çatlaklar, yapıda meydana gelen deformasyonun malzemenin mukavemet sınırını aşması halinde oluşur (Kögler ve Scheidig, 1960). Tarihi yapılarda duvarların taşıyıcı eleman olması, duvardaki herhangi bir etkinin yapıda da kendini göstermesine neden olur. Betonarme yapılar yığma yapılara karşı dayanımları daha yüksek olduğu için duvarlar oturmaya karşı hassastır, elastik deformasyon sağlayamadıkları içinde oturmalar çatlaklara neden olur (Şekil 4.2) (Çamlıbel 2000).



Şekil 4. 2. Temel oturma çatlakları (Çamlıbel, 2000)

Zeminin dayanımının düşük olması, homojen olmaması zaman geçtikçe yapıda dönme, kayma ve oturma gibi bozulmalara neden olabilir. Zemin homojen değilse yapıda çatlaklar oluşur. Yapı iki ucundan sağlam zemine oturup arada kalan zemin gevşek ise kapı ve pencere boşluklarında 45 derece açıyla çatlakları görmek mümkündür. Eğer sadece yapının orta kısmındaki zemin sağlam ise çatlaklar aşağıdan yukarıya doğru kendini gösterir (Ahunbay, 2004)

4.2. Doğal Afetlerin Oluşturduğu Hasarlar

Ön görülemez şekilde meydana gelen deprem, sel, toprak kayması, yanardağ patlaması gibi afetler tarihi yapılarda hasarlar meydana getirir. Deprem kuşağında bulunan ülkemizde, kültürel miras değerlerimizin birçoğu yer sarsıntılarında hasar görmüştür. Seller arasında en etkili olan akarsu selleri diğer adıyla taşkınlar özellikle çevresindeki anıtlara zarar vermektedir. Coğrafi özelliklerinden kaynaklı olarak Edirne, Amasya gibi tarihi değerleri fazla olan şehirlerimizde taşkınlardan etkilenmişlerdir. Taşkınları kontrol altına alabilmenin kesin çözüm olmamakla birlikte en iyi yolu baraj yapımıyla olmaktadır(Şekil 4.3) (Ahunbay, 2004).



Şekil 4. 3. Sel baskını sonucu oluşan hasar örneği (Ahunbay, 2004)

Türkiye deprem kuşağında yer aldığı için zamanı belli olmayan, farklı şiddetlerde sarsıntılara maruz kalabilmektedir (Şekil 4.4). Bu sarsıntılardan da payını depreme dayanımı az olan yığma yapılar gerek hasar görerek gerekse yıkılarak almıştır. Deprem engellenemez doğal afet olmasına karşın bu önüne geçemeyeceğimiz anlamına gelmez.

Yığma yapılar depreme karşı tepkilerini deprem kuvvetinin etkidiği yöndeki paralel duvarlar ile karşılarlar. Duvarlar gelen kuvvetin bir kısmını temele bir kısmını döşemeye aktarır. Üst döşeme ise duvarlardan gelen kuvvetleri, depreme paralel yöndeki duvarlara aktarır. Duvarlar gelen yüklerin neticesinde kesme kuvvetine maruz kalmaktadır. Deprem hasarları duvarların düşey yükler altında taşıma gücüne ulaşması, duvar kesitlerinde çekme gerilmelerinin oluşması, tersinir deprem yükleri etkisinde oluşan çatlakların derinleşerek göz ardı edilemez boyutlara ulaşması gibi örnekler yığma duvarlarda oluşan hasarların nedenlerindedir. (Döndüren, 2008). Bu yüzden tarihi yapıların sürdürülebilirliği için yapının depreme karşı davranışını bilmek, tespiti için gerekli analizleri yapmak gerekir (Aydın, Çömlekçioğlu ve Fahjan, 2007).



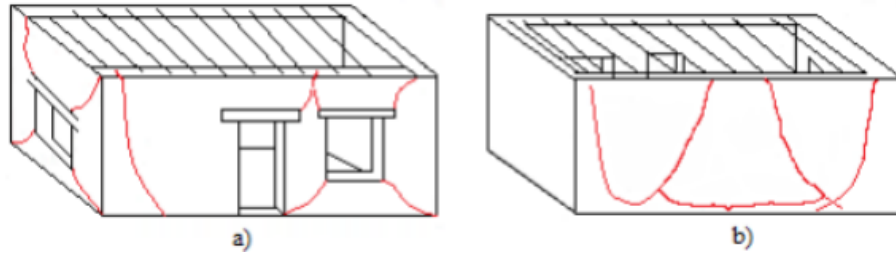
Şekil 4. 4. Deprem sonucunda oluşan hasar örneği (Döndüren ve ark., 2017)

4.3. Duvarlarda Meydana Gelen Hasarlar

Taşıyıcı duvarlar, çatı ve döşemelerden gelen düşey ve yatay yükleri taşıyan elemanlardır. Yığma yapılarda hemen hemen tüm duvarlar taşıyıcı olduğu için, duvarda meydana gelen herhangi bir hasar direk olarak taşıyıcı sisteme etkiler (Döndüren ve ark., 2017). Yapıya etkileyen dış yükler yapının çekme kapasitesini aştığında çatlaklar meydana gelir. Bahsi geçen dış yükler; temel oturmaları, sünme, çökme gibi etkilerdir (Arun, 2005).

Duvar oturmalarına karşı yığma türündeki binalar çok hassastır. Duvarlarda kullanılan malzemeler gevrek malzemeler olduğu için temel oturması duvarlarda kendini hemen belli eder. Gevrek malzemelerin çatlama meydana gelmeden dayanabileceği elastik gerilimlerin veya yüklerin değeri düşüktür. Malzeme dayanımları küçük olduğu için hasar meydana gelmesi kolaylaşmaktadır (Döndüren ve ark., 2017).

Çatlaklar gerilme yoğunluğunun fazla olduğu bölgelerde meydana gelir ki bu da yapısal sorunların olduğunun en büyük işaretidir. Kapı ve pencere kenarındaki çatlaklar duvar düzlemine dik eğilme ya da düzlemi doğrultusunda oluşan kayma gerilmeleri nedeniyle oluşur. Duvarların birleşim yerlerinden düşey ya da diyagonal çatlaklar şeklinde ayrılması, duvarın düzlemine dik ve düzlemi doğrultusundaki kuvvetlerin birleşik bir fonksiyonudur (Şekil 4.5.a). Kapı ve pencere boşluğu olmayan uzun duvarlarda duvar düzlemine dik kuvvetler alt bölgede yatay çatlaklar ile duvar birleşimlerinde düşey ya da diyagonal çatlaklar oluşturur (Şekil 4.5.b) (Mahrebel, 2006).



Şekil 4. 5. Taşıyıcı duvarlarda meydana gelen çatlak tipleri

4.4. Malzemedeki Kaynaklı Hasarlar

Yapıda kullanılan malzemelerin dayanımı yapının dayanımını belirlediği için kullanılan malzeme özelliklerinin mekanik dayanımı iyi olmalıdır. Malzemeler zaman içinde gerek insan gerekse çevreden etkilenmekte, değişime uğramaktadır.

Yığma yapıda sıkça kullanılan taşın hasara uğramasında çıkarım koşulları, kimyasal, fiziksel özellikler, çevre kirliliği, doğal afetler gibi dış etkenler etkilidir. Havadaki değişimin meydana getirdiği hacim değişikliği, nemin varlığının yol açtığı kimyasal bozulmalar, yer altı sularının taşları plastik hale getirmesi, çevre kirliliği ile CO₂ ve SO₃ gibi gazların nem ile birleşip karbonik ve sülfirik asite dönüşmesi gibi etkenler taşın dayanımını kaybetmesine, yıpranmasına neden olan örnekler arasında gösterebiliriz. Meydana gelen yıpranmalar yüzey kaybı, parça kopması, çatlak, kavlanma

(pul pul dökülme), yüzey kirliliği, çiçeklenme, renk değişimi, aşınma şeklinde kendini gösterir (Şekil 4.6).

Diğer yağma elemanlarından olan kerpiçte ise, suyun bulunduğu yerlerde kil suyu emer ve plastik kıvama gelir. Şeklini kaybettiği gibi dayanımını ve taşıyıcılık özelliğini kaybeder.



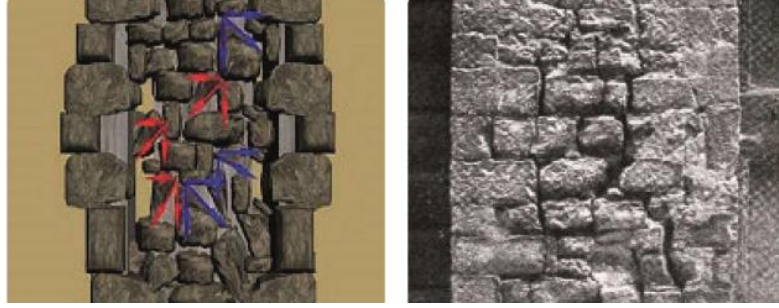
Şekil 4. 6. Sinop Kalesi'ndeki tarihi suyla temas sonucunda taş yapılarda görülen bozulmalar

Geçmişten günümüze harçlar üretilirken su içinde katılaştan, suya dayanıklı bir şekilde üretilmeye çalışılmıştır. Aksi takdirde suyun içindeki çeşitli zararlı bileşenler (asit, sülfat gibi) kirece etki eder ve bu da hasara yol açar (TYDRYK ,2017).

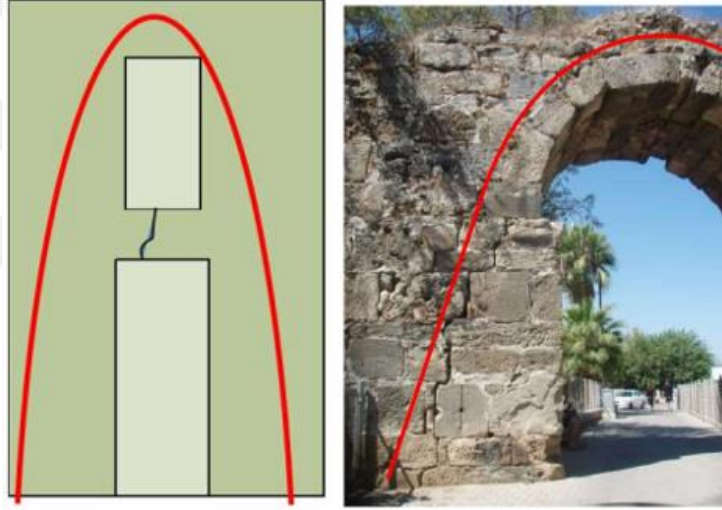
4.5. Düşey Yüklerden Kaynaklı Hasarlar

Tarihi yapılarda zamanla eklenen veya değişiklik yapılan bölümler yapının düşey yükünde artma ve azalma meydana getirmektedir (Şekil 4.7). Düşey yüklerde meydana gelen değişimden yapının tamamı etkilenir. Düşey yüklerin artmasıyla birlikte duvar ya da ayaklara gelen basınç kuvveti malzeme dayanımını aştığında basınç kuvvetine paralel çatlaklar oluşur, ardından da ezilmeler ve parça kopmaları meydana gelir. Aynı şekilde kemerlerde iç ve dış halka arasındaki kopmaların ardından çökmeler meydana

gelebilir(Şekil 4.8). Kemerlerde ayrılan kısımların dengede olup olmadığının kontrolü yapılmalıdır (Şekil 4.9) (TYDRYK, 2017).



Şekil 4. 7. Duvarlarda meydana gelen çatlaklar ve kopmalar (TYDRYK, 2017)



Şekil 4. 8. Kemerlerde meydana gelen hasarlar



Şekil 4. 9. Düşey yükler sonucunda kemerlerde meydana gelen hasarlar (Yüce, 2021)

4.6. Atmosferden Kaynaklanan Hasarlar

Motorlu taşıttan çıkan gazlar ve sanayileşmenin etkisi yapılar üzerinde lekelenmelere neden olur. Ayrıca havdaki karbondioksit ve kükürtdioksit zararlı gazların suyla birleşmesiyle yapıda asit etkisi oluşur (Ahunbay,2004). Ağır taşıt trafiğini meydana getirdiği titreşimler malzemeyi zayıflatır, birleşim yerlerinde açılmalara neden olur (TYDRYK, 2017). Taşıtların dar sokaklardan geçişleri sırasında çarpmaları sonucu çizilmeler oluşabilir. Topkapı Sarayı'nda Bab-ı Hümayun taşıt trafiğinden zarar gören geçitlerdendir. Tarihi dokunun olduğu yerlerde ulaşım planında değişiklik yapmak gerekmektedir (Şekil 4.10)(Ahunbay,2004).



a)Hava kirliliği (Yeni Cami- İstanbul)

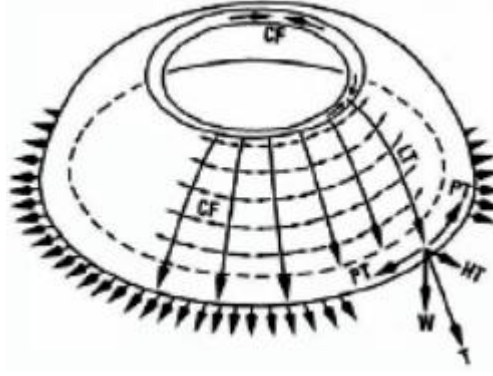


b) Trafik etkisi (Bozdoğan kemerleri- İstanbul)

Şekil 4. 10. Çevresel faktörlerin tarihi yapılara etkileri

4.7. Kubbelerde Oluşan Hasarlar

Kubbede oluşan düşey yükler, kilit taşından başlayarak komşu taşlara aktarılıp kubbenin tabanına kadar iletilir. Ağırlık kuvveti taşlara düşey olarak etkir. Taşlara gelen bu kuvvet komşusunda bulunan taşta çapraz olarak iletilir. Böylelikle kubbe tabanına gelen yük yatay ve düşey iki bileşene sahiptir. Bu kuvvetlerden hasara neden olan oluşan yatay kuvvettir (Şekil 4.11)(Aköz, 2008).



Şekil 4. 11. Kubbedeki kuvvetlerin bileşenleri(Aköz, 2008)

Yükün düşey bileşeni, kubbeyi taşıyan kemer, duvar vb elemanlara aktarılırken, yatay kuvvet de payandalar ve gergilerle karşılanarak kubbenin açılması önlenir. Kubbede açılmaya sebep olan yatay kuvvet kalın beden duvarlarıyla karşılanabileceği gibi ağırlık kuleleri yardımıyla kuvvetin aşağıya doğru yönlendirilmesiyle daha ince duvarlarla da taşınabilir. Bu yatay kuvvet, kubbeye mesnetlik yapan ve kubbenin açılmasını önleyen kasnak kısmında yatay doğrultuda çekme, düşey doğrultuda kayma gerilmeleri oluşturur (Şekil 4.12) (Aköz, 2008).



Şekil 4. 12. Kubbede meydana gelen hasar örneği

4.8. Kullanıcı Tahribatları

İnsanlar tarafından terk edilmesi, kötü kullanılması, bakım yapılmaması, yapılan yanlış müdahaleler bu gruba girmektedir. Örneğin, geleneksel tipteki döşemenin betonarme yapılması duvara eksen dışı yük vereceği için duvarın yıkılmasına yol açar (Şekil 4.13) (TYDRYK, 2017).



Şekil 4. 13. Terkedilmiş geleneksel konut örneği (Tokat, 2018)

Savaşlar, tarihi eserler için en büyük hasar nedenlerinden biridir. Tarihi eserlere zarar vermek suç olduğu halde göz ardı edilerek fütursuzca zarar verilmektedir. Savaşlar devam ettikçe tarihi mirasımız günbegün haritalardan silinmeye devam edecektir (Şekil 4.14).



Şekil 4. 14. Emevi Cami'nin savaştan sonraki hali

5.TARİHİ YAPILARDA ONARIM VE GÜÇLENDİRME METOTLARI

Yığma yapılara müdahale işlemlerinde yapılacak her adımda Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kuruluna başvurarak izin alınması gerekmektedir. Yapılan müdahaleler yapının özgün değerini zedelemeyecek düzeyde minimum tutulması gerekir (Sesigür ve diğerleri, 2007).

Tarihi kültür mirasının korunmasına yönelik duyarlılık günümüzde önemli seviyelere ulaşmıştır. Tarihi eserlerin konusu mimarlık, inşaat mühendisliği, şehir planlaması, gibi disiplinlerin yanı sıra sanat tarihi, sosyoloji, psikoloji ve felsefeyle yakından ilgilidir. Multi disiplinler arası değer taşıyan tarihi eserler 1964 yılında Venedik’te düzenlenen ‘‘Venedik Tüzüğü’’ adı verilen çalışmayla tarihi yapılar adına atılan büyük bir adımdır. Pek çok ülke Venedik Tüzüğü’nün yasal düzenlemelerini örnek almıştır (Ahunbay, 2013).

Yığma yapılarda onarım ve güçlendirmeye başlamanın ilk adımı rölövesini çıkartmak, mevcut durumunun farkında olmak, yapıda meydana gelmiş olan hasarların ve bozulmaların tespit edilmesidir. Onarım ve güçlendirmede hangi yöntemin kullanılacağı, yapının taşıyıcı sisteminin davranışı ve yük dağılımına göre belirlenir. Tarih yapılarda taşıyıcı unsur duvarlar olduğu için onarım ve güçlendirmede duvar çatlaklarının onarılması, duvar en kesit alanının artırılması esastır. Özellikle duvarın birleşim ve kesişim bölgelerinde elemanların birbirine kenetlenerek bütünleşmesini sağlamak gerekmektedir. Bu işlemler sırasında yapının özgünlüğünü korumaya dikkat edilmesi gerektiği unutulmamalıdır (Kara, 2009).

Yapı sistemlerinde onarımın tanımsal karşılığı; hasar görmüş yapısal elemanların yapıldıkları andaki mukavemetinin kazandırılması ve yapısal olmayan elemanların tamiri ile yapının hasar görmeden önceki haline kavuşturulmasıdır.

Güçlendirme ise; yapısal elemanların dayanımının artırılmasıdır. Güçlendirmede genellikle yeni yapısal elemanlar eklenerek yapının taşıma gücü iyileştirilir. Onarım ile yapıya hasar öncesindeki dayanım ve güvenlik düzeyi kazandırılmaya çalışılırken güçlendirmede yapıya hasar öncesinden daha yüksek bir dayanım ve güvenlik kazandırılmaya çalışılır (Yergün, 2002).

Yapılarda oluşan hasarların farklı nedenleri vardır. Onarım ve güçlendirmede ana ilke ilk olarak yapının hasara uğramasına neden olan bu faktörleri ortadan kaldırmaktır.

Daha sonra da hasarlı bölgeye gerekli müdahaleyi uygulamaktır. Yığma yapılardaki onarım ve güçlendirme aşağıdaki gibi özetlenebilir;

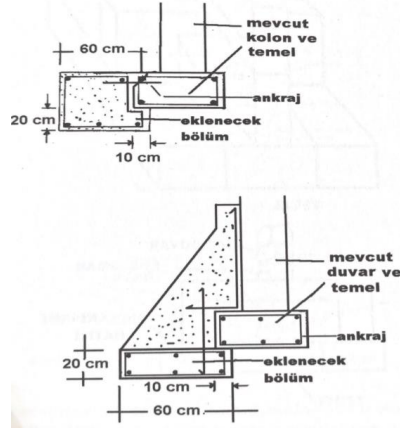
- Yapıdaki yüklerin kaldırılması ya da azaltılması
- Yapıda köşelere yakın kapı ve pencere boşluklarının kapatılması ya da küçültülmesi
- Onarım sırasında kesinlikle yapının deprem dayanımının önceki haline göre daha sağlam bir hale getirilmesi
- Yapıda iç ve dış duvarların kesme ve düşey gerilme taşıma güçlerinin artırılması (Bayülke, 1984)

5.1. Sağlamaştırma

5.1.1. Zemin ve temele yönelik müdahaleler

Zemin yapısında zamanla değişiklik meydana gelmesi, çevresel titreşimlerin etkileri, temele gelen yüklerin zamanla artması gibi nedenler zeminin dayanımında değişikliklere neden olur (TYDRYK, 2017). Özellikle killi ve geçirimsiz zeminlerde yer altı sularıyla birlikte killi zemin şişmesiyle zeminde hareketlenmeler olur. Killi zeminin kuruyup büzülmesiyle zemin aşağı doğru hareket eder ve oturmalar meydana gelir. Bu hasarlar temelde dönme veya oturma şeklinde ortaya çıkar ve üstteki taşıyıcı sistemde duvarlarda çatlaklar şeklinde kendini belli eder (Bayülke, 2013).

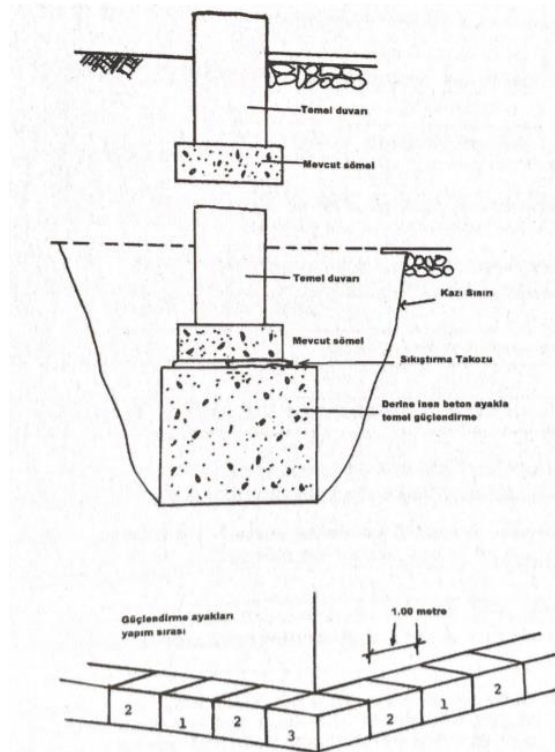
Temel güçlendirilmesinde kullanılacak ilk yöntem, temel boyutunun genişletilerek zemin gerilmelerinin azaltılması ve zeminin düşey yönde hareketini önleyip temel yetersizliğini ortadan kaldırmaya yöneliktir (Şekil5.1) (Bayülke, 2013). Bu işlem yapılırken dikkat edilmesi gereken, üst yapıya gelen yüklerin zemine düzenli bir şekilde aktarılması için temelin genişletilmesi duvarın her iki tarafından eşit miktarda yapılmalıdır (TYDRYK, 2017).



Şekil 5. 1. Temel güçlendirme ayrıntıları (Bayülke, 2013)

Temele yönelik kullanılan bir diğer yöntem eski temelin altına temelin yükünü daha derinde ki sert ve taşıyıcı zemine aktarılmasını sağlayan yeni ayaklar yapılmasıdır(Şekil 5.2). Bu uygulama için önce, yapının temelleri bölüm bölüm açılarak sağlam zemine kadar uzanan bir çukur açıldıktan sonra uygun bir betonla doldurulur. Yeni beton ile eski temelin arasındaki küçük boşluk ahşap takozlarla sıkılarak eski temelden yeni beton ayağa yük aktarımı sağlanır. (Bayülke,2013).

Mini, fore, çakma gibi farklı kazık türleri tercih edilebilir (TYDRYK, 2017).



Şekil 5. 2. Yığma yapı temelinin derine inen beton ayakla güçlendirilmesi (Bayülke, 2013)

Bir diğerk tercih edilen yöntem olan zemin iyileştirilmesinde çeşitli yöntemlerle zeminin taşıma gücünde iyileştirme sağlanır. Birden fazla uygulama yöntemi mevcuttur. Bunlara birkaç örnek aşağıda verilmiştir (TYDRYK, 2017).

Kimyasal harç enjeksiyonu; kum, çakıl veya killi zeminlerde harcın basınç ile zemin içerisindeki boşluklara enjekte edilmesi şeklindedir. İşlem süresinin kısa olması, zeminde hasar meydana getirmeden işlemin tamamlanması gibi avantajlarından tarihi yapılarda öncelikle tercih edilmektedir. Uygulama sırasında dikkatli yapılamadığı takdirde enjeksiyonun basıncından kaynaklı duvarlarda yapısal bozulma ve düşeyden sapma meydana gelebilir (TYDRYK, 2017).

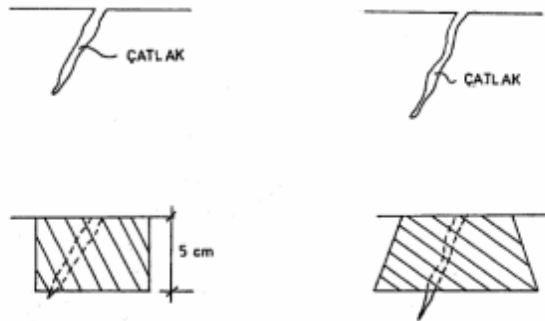
Geosentetikler; yumuşak veya zayıf zeminlerde geosentetiklerle donatılarak zeminin durabilitesini sağlamayı hedefler (TYDRYK, 2017).

Temelde güçlendirme yapmak gerek maliyet gerekse emek açısından zahmetli bir işlemdir. Bu yüzden bu işlem genellikle anıtsal değeri olan yapılar için vazgeçilmez olabilmektedir (Bayülke, 2013).

5.1.2. Duvara yönelik müdahaleler

Duvar çatlaklarının onarılması:

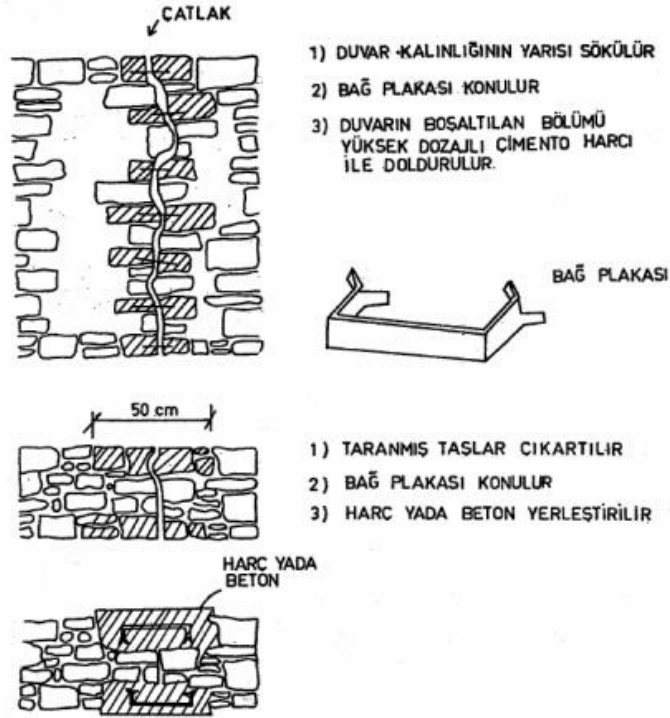
Fazla derine inmeyen küçük ve geniş olmayan çatlakların çevresinde 5-10 cm genişliğinde bir bölüm sökülerek yeniden yüksek dozlu çimento harcı ya da uygun dayanımlı kireç harç ile doldurularak onarılabilirler (Şekil 5.3). Yığma yapılarda tuğla veya taş duvarların iki yüzünde de bu işlem uygulanabilir (Bayülke, 2013).



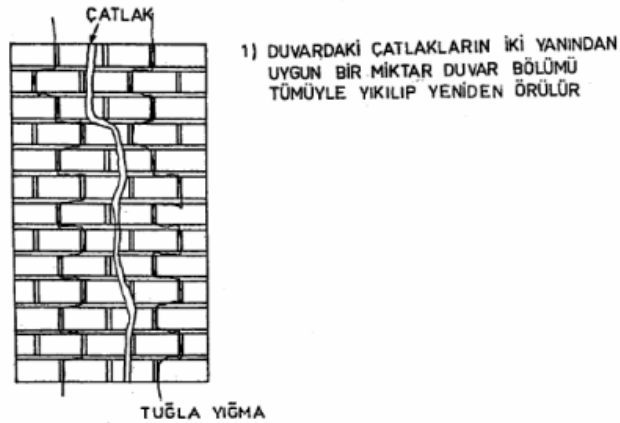
Şekil 5. 3. Çatlakların doldurulması (Bayülke, 2013)

Taş duvarlarda çatlakların çevresindeki bir bölgede sıvalar kaldırılır çatlakın her iki yanındaki taşlardan bazıları çıkarılarak buralara bağ plakaları yerleştirilir. Bağ plakaları

ya da demirler çatlağın her iki yanını tutan dikiş görevi görürler. Duvarda çıkarılan taşlar yerine uygun bir onarım malzemesi ile doldurulur (Şekil 5.4 ve Şekil 5.5). Burada onarım ve güçlendirme malzemesi olarak kullanılacak sıva ya da harç kireç, çimento ya da epoksi tabanlı bir malzeme olabilir. Bu malzemelerin mevcut yapıdaki taş, tuğla, beton vb. malzemeler ile kimyasal uyumlu malzeme olmasına dikkat edilmelidir (Bayülke, 2013).



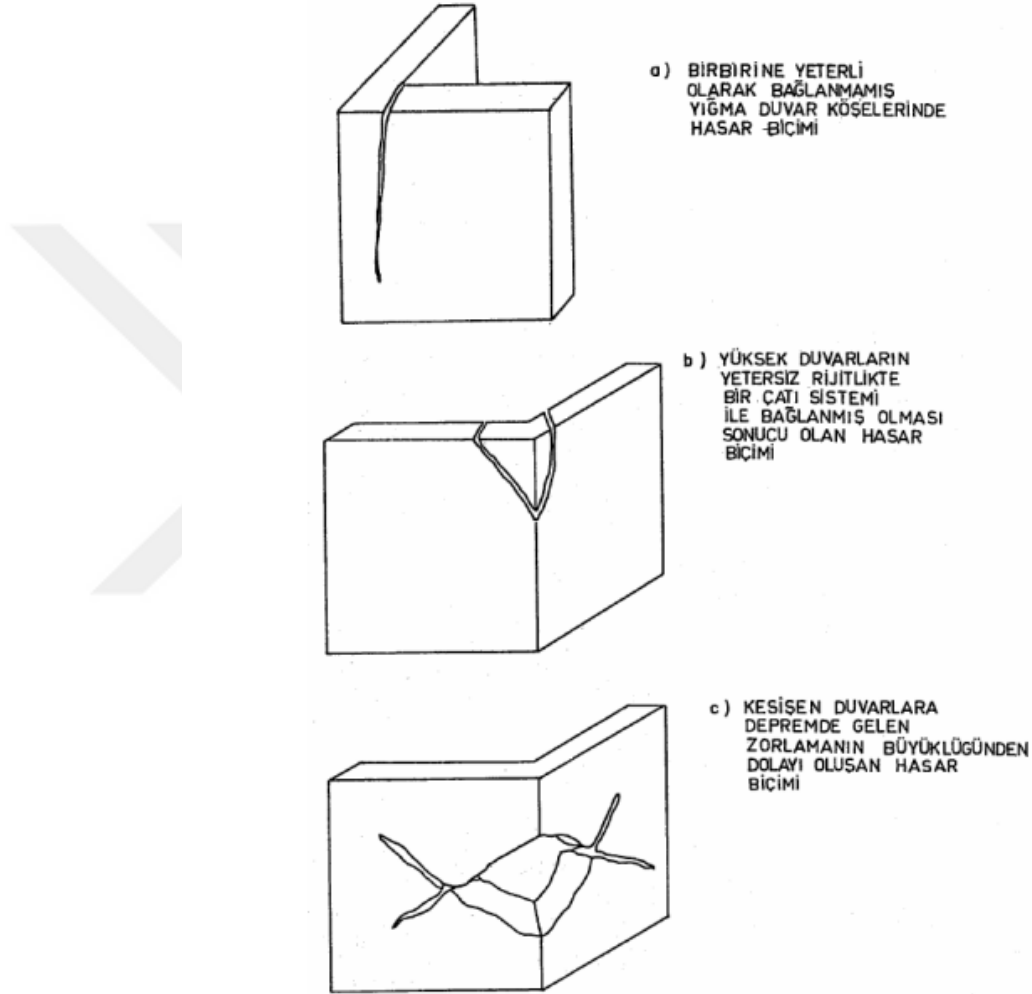
Şekil 5. 4. Taş duvarlarda düşey çatlak onarımı dikilmesi (Bayülke, 2013)



Şekil 5. 5. Tuğla duvarlarda çatlak onarımı (Bayülke, 2013)

Duvar birleşimlerinin onarım ve güçlendirilmesi:

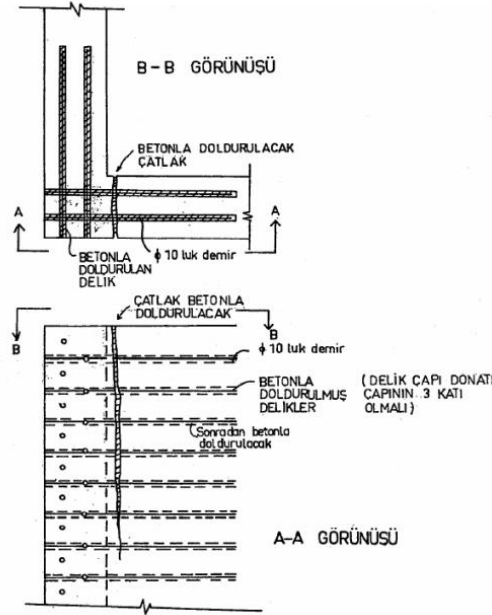
Yığma yapı duvarlarında meydana gelen deprem hasarı; yapı köşelerinin düşey doğrultu da çatlayarak birbirinden ayrılması, köşenin üst başından bir bölümünün parçalanması ya da her iki köşeden gelen çapraz kesme çatlaklarının kesiştiği bölümünün tümüyle dökülmesi şeklindedir(Şekil 5.6)(Bayülke, 1984).



Şekil 5. 6. Yığma yapı köşe hasar örnekleri (Bayülke, 1984)

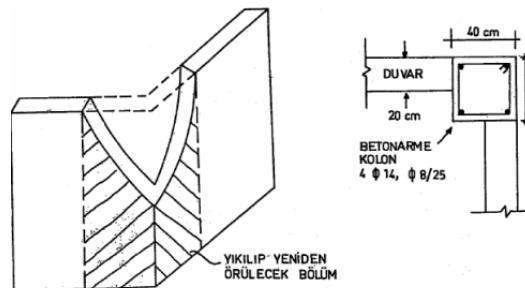
Meydana gelen hasarlardan ilk olanın nedeni duvarların köşede birbirleri ile geçmeli olarak yapılmamış olmasıdır. İkinci hasarın oluşmasının nedeni, hasar yükseklikleri büyük olan duvarların yeterli bir rijitliği olan bir çatı sistemi ile bağlanmamış olmasından kaynaklanmaktadır. Son hasarın nedeni ise kesişen duvarlardaki zorlamanın büyüklüğünden kaynaklanmaktadır (Bayülke, 1984).

Bu hasarların onarılmasında farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin amacı köşede kesişmekte olan duvarların birbirine eski halinden daha sağlam bir şekilde bağlanmasını sağlamaktır. Şekil 5.6. a'daki gibi bir köşe hasarında duvarlarda donatıların gireceği delikler açılır buralara her iki duvarı birbirine bağlayıcı olarak düşünülen donatılar yerleştirilerek her iki duvar arasındaki bağlantı sağlanmış olur. Bu onarım ilerde başka bir deprem etkisinde, köşe duvarlarının yeniden ayrılmasını önlemek amaçlıdır. Bu işlemin ayrıntıları şekil de gösterilmiştir(Şekil 5.7) (Bayülke, 1984).



Şekil 5. 7. Duvar kesişim bölgesine donatı yerleştirilmesi (Bayülke, 1984)

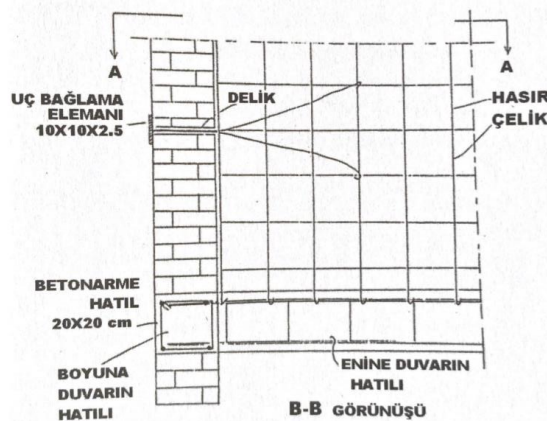
Köşe hasarlarının şekil 5.6. b ve c'de gösterilen biçimlerinin onarımı için, yapının hasarlı köşesi bütünüyle yıkılarak birbirine geçmeli olarak yeniden örülebileceği gibi, buraya bir betonarme kolon da konularak onarım yapılabilir. Bu betonarme kolonun donatısının duvar üst hatlı ve alt kat ya da temel duvarı üst hatlı ile bağlantılı olması gerekir (Şekil 5.8) (Bayülke, 1984).



Şekil 5. 8. Yığma yapı köşe hasarı onarımı (Bayülke, 1984)

Hasır çelikle güçlendirme:

Tuğla ve taş yığma yapıların duvarlarının kesme dayanımı düşüktür. Bu durum depremlerde tuğla duvarın kesme etkisiyle çatlamasına, çatlakların zamanla genişlemesiyle kopmaların meydana gelmesine, duvarların giderek düşey yükleri taşıyamama haline gelmesine nihai olarak da yıkılmasına neden olur. Tuğla duvarların depreme karşı güçlendirilmesi bir bakıma bu duvarların kesme dayanımlarının artırılmasıdır. Bu amaçla kesme dayanımlarını arttırmak için hasır çelik ya da kümes ve çit teli gibi çelik donatı ile kaplanması kullanılan yaygın bir yöntemdir. Bu yöntem pek çok farklı ülkede deprem öncesinde ve sonrasında hasarlı tuğla yığma yapılarda uygulanmıştır. Uygulama yöntemi ise, çelik hasır duvarın yüzeyinden 2-3 cm kadar dışarı konulup, ankrajlarla bağlanmakta ardından 5-6 cm kalınlıkta püskürtme beton ya da sıva kullanımıyla üzerinin kaplanması şeklindedir (Şekil 5.9)(Bayülke, 2013). Bu yöntem sonucunda yapının ötelenmesinde azalma ve kesme dayanımında artma gözlenmiştir (Canale ve ark., 1992).



Şekil 5. 9. Hasır çelikle kaplama ayrıntısı (Bayülke, 2013)

Çatlakların yüksek dayanımlı harçlarla doldurulması (harç enjeksiyonu):

Çatlakların mevcut ortama göre daha yüksek dayanımlı bir malzeme ile doldurulması bir tür onarımdır (Bayülke, 2013). Mevcut yapının enjeksiyon malzemesiyle uyumlu olması gerekir. Bu yüzden harç malzemesine benzer özellikte olan kireç esaslı malzeme tercih edilir (Bayülke, 2013). Duvarların mekanik özelliklerinde yani rijitlik ve dayanımında iyileşmeler gözlemlenir. Bu yöntem tarihi yapılarda sıkça kullanılan geri döndürülemez bir yöntemdir. Bu yüzden, gerek malzeme seçerken gerekse uygulama aşamasında işlem adımlarının doğru şekilde yetkili kişiler tarafından yapılması gerekir.

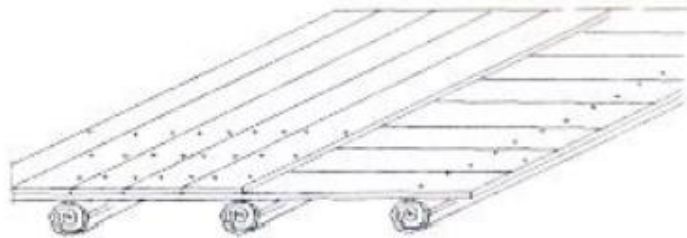
Donatı ekleme:

Yığma duvarların çekme dayanımının çok düşük olması ve duvarların içinde donatı olmaması gelen herhangi bir etkiyle meydana gelen hasarı çatlak şeklinde ortaya çıkar. Yapılan donatı takviyesiyle, çekme gerilmelerini karşılamak ve hasarı önlemek öngörülmektedir. Bu yöntemde, duvar yüzeyine veya derzlere paslanmaz çelik veya lifli polimer donatılar eklenerek çekme gerilme ihtiyacı karşılanır. Ayrıca bu yöntem, sandık duvarların iç ve dış katmanlarını birbirine bağlayarak bir bütün halinde çalışmasına da katkı sağlar (TYDRYK, 2017). Tüm bu kısmi onarım yöntemleri yeterli olmadığında, yapıda hasarların ileri düzeyde bulunduğu durumlarda zayıf veya hasarlı bölgeler sökülerek yeniden örülme işlemi gerçekleştirilir. Bu işlem yapılırken özgün yapıya uygun olması aslını koruyarak işlemlerin yapılması gerekmektedir (TYDRYK, 2017).

5.1.3. Döşemelere yönelik müdahaleler

Döşemeler gelen yatay yükleri düşey taşıyıcı elemanlarına aktaran taşıyıcı sistem elemanlarıdır. Yığma yapılarda döşeme sistemlerinde karşılaşılan problemler döşeme ve düşey taşıyıcılar arasındaki bağlantının yetersizliği ve döşemenin rijit bir davranış sergilememesinden kaynaklanmaktadır. Buna ek olarak döşemelerde kullanılan malzemelerin zaman içinde yıpranması ve ilk günkü özelliklerini koruyamamalarından taşıma kapasiteleri azalmaktadır (Kara, 2009) .

Yığma yapılarda kullanılan ahşap döşemelerde onarım yapmak için iki yol vardır. Bunlardan birincisi, eski işlevini yitiren taşıyıcı elemanlar yenileriyle değiştirmektir. İkinci olarak da kat döşemelerinin çift yönde çalışmasını sağlamak için ahşap döşemeler üzerine mevcut tahtalara dik doğrultuda ikinci bir döşeme tahtası yerleştirmektir (Şekil 5.10) (Kara, 2009) .



Şekil 5. 10. İkinci bir döşeme yerleştirme işlemi (Kara, 2009)

Yığma yapılarda daha sık karşılaşılan volta döşemeler ve ahşap döşemeler döşeme seviyesinde yapılacak diyagonal çelik hatıllar ya da yatay çelik kafes sistemlerle desteklenebilir (Şekil 5.11) (Kara, 2009).



Şekil 5. 11. Döşemede çelik çapraz kullanımı (Sesigür ve ark., 2007)

Betonarme döşemeler, yapının sonradan geçirdiği tadilatla yapılması uygun görülüş döşeme çeşididir. Mevcut döşemenin yapılan araştırmalar sonucunda yetersiz görülmesi durumunda döşeme ya güçlendirilir ya da yerine başka bir döşeme yapılır. Mevcut döşeme taşıyıcılık özelliğini kaybetmiş ise, mevcut döşemenin yerine güçlendirilme projesinde önerilen döşeme yapılır (Saraç, 2003).

5.1.4. Yapının tümüne yönelik müdahaleler

Çok katlı olmayan 1-2 katlı yapılar için uygulanan bu yöntem yapının çerçeve bir sistem içine alınarak gelen yatay yükleri karşılayacak biçimde boyutlandırılmasını temel alır. Aynı zamanda dıştan destek veren payandalar yardımıyla da güçlendirme gerçekleştirilebilir. Çerçevenin gelen yatay ve düşey yükleri aktarabilecek uygun boyutlara sahip olması gerekir(Önal ve Koçak,2005).

5. 2.Yeniden Yapım (Rekonstrüksiyon)

Depremler, savaşlar, yangınlar gibi çeşitli etkilerle yıkılmış harap halinde olan bir tescilli tarihi eserin bulunduğu çevrenin genel görünümüne katkıları, fonksiyonel değerlerinden kaynaklı olarak, çeşitli belgeler (fotoğraf, rölöve çizimleri) baz alarak

yeniden yapılmaları işlemine ‘rekonstrüksiyon’ denilmektedir (TYDRYK, 2017). Bu uygulama özel durumlarda başvurulması gereken bir yöntemdir. Yeni yapının yapıldığı dönemin izlerini yansıtmaması, özgün malzeme ve işçiliğine sahip olmaması bakımından gerçek değerini taşıması beklenemez. Bu yöntemin uygulanması için gerekli belgelerin elimizde olması gerekir. Özgünlüğü sağlaması açısından yıkılan yapıdan elde edilen özel parçaların saklanması, yeni yapıda uygun bir şekilde kullanılması yapının taşıdığı değer açısından önemlidir (Ahunbay, 2014).

5.3. Taşıma

Venedik Tüzüğü’nün 7. Maddesine göre yapılacak bayındırlık etkinlikleri yapılırken tarihi eserler göz önünde bulundurularak ona göre planlaması yapılmalı, mümkün olduğunca taşıma işleminden kaçınılması gereklidir (Ahunbay, 2014). Şekil 5.12’de tarihi bir eser olan Zeynel Bey Türbesinde taşıma işleminin gerçekleştirilmesi görülmektedir.



Şekil 5. 12. Tarihi eserlerde taşıma örneği (Zeynel Bey Türbesi)

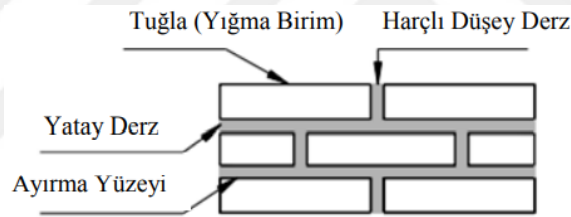
Tarihi yapının korunamaz olduğu ya da tehlikeli bir konumda (deprem bölgesinde olması) olduğu durumlarda anıtın uygun bir yere taşınarak varlığını sürdürmesi gerekebilir. Taşıma işlemi, anıtın boyutlarına ve malzemesine göre farklı tekniklerle gerçekleştirilmektedir. Bu teknik ahşap yapılar, kesme taştan meydana gelen yapılar için uygunken moloz taştan yapılan yapılar için uygun değildir. Taşınacak anıtın en az hasarla taşınabilmesi için alanında uzman kişiler tarafından yapılması gerekir (Ahunbay, 2014).

6. TARİHİ YAPILARDA MODELLEME TEKNİKLERİ VE ANALİZ YÖNTEMLERİ

6.1. Tarihi Yapılarda Kullanılan Modelleme Teknikleri

Ülkemizde hala en çok kullanılan yapı grubunu oluşturan yığma yapıların hesaplamaları genellikle hiç yapılmamıştır. Bilgisayar teknolojilerinin gelişimi büyük kütleli yapı sistemlerinin modellenmesine imkan sağlamıştır. Sonlu elemanlar yöntemi de yığma yapıların çözümlenmesine olanak sağlayan gelişimlerden biridir (Ural,2009).

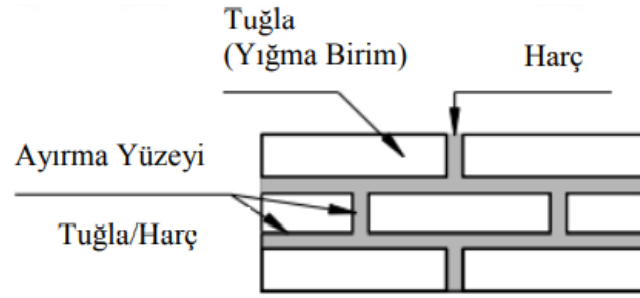
Yığma yapılar heterojen bir malzeme olmadığı için yapılan kabullerde tek tip malzeme olarak modellemek doğru olmayacaktır. Bu yüzden gerçeğe uygun bir şekilde modelleme gerçekleştirmek için literatürde kullanılan üç tip farklı modelleme tekniği kullanıldığından bahsedebiliriz. Mikro modellemeler yığma duvarların detaylı incelenmesinde ve kritik bölgelerin analizinde tercih edilmektedir. Makro modelleme ise kompleks ve büyük sistemlerin analizinde tercih edilmektedir(Şekil 6.1) (Ural, 2009).



Şekil 6. 1. Örnek yığma yapı elemanı (Lauronçe, 1996)

6.1.1. Ayrıntılı mikro modelleme

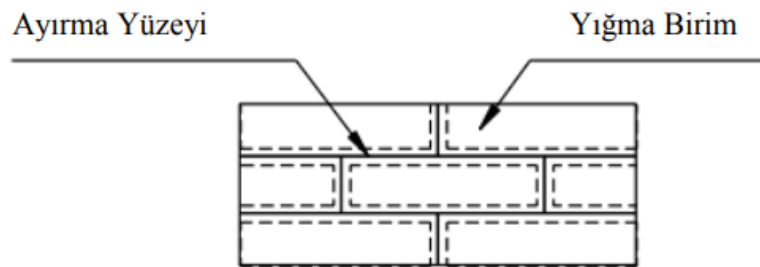
Yığma duvarların gerçek davranışının anlaşılmasında kullanılan en iyi modelleme tekniklerinden biridir. Yığma duvarı meydana getiren yığma birimin ve harcın elastisite modülleri, poisson oranları ve elastik olmayan diğer özellikleri ayrı ayrı dikkate alınmaktadır. Her elemanın mekanik özellikleri kendine has olduğu için tanımlama yapılırken ayrı bir şekilde tanımlanması gerekir. Bu modelleme tekniğinde yığma birimler ile harç arasındaki ilişki doğru bir şekilde tanımlanmalıdır (Ural,2009). Bu yaklaşımda deformasyonların taş ve tuğla ile harç ile ara yüzeyinde meydana geleceği varsayımı yapılmaktadır(Şekil 6.2) (Lourenço,1996).



Şekil 6. 2. Ayrıntılı mikro modelleme tekniği (Lauronçe, 1996)

6.1.2. Basitleştirilmiş mikro modelleme

Büyük sistemlerin çözümünde çözüm süresinin uzaması gibi dezavantajları en aza indirmek için geliştirilen basitleştirilmiş mikro modelleme tekniği, büyük kütleli yığma yapıların kısa sürede ve düşük kapasiteli bilgisayarlarda çözümüne imkan kılmıştır(Ural,2009). Şekil 6.3'te görüldüğü gibi iki yığma birim elemanın arasındaki harç kalınlığının yarısı kadar genişletilerek harç kalınlığının göz ardı edildiği varsayılmaktadır ve yığma birim elemanlar ortalama ara yüzey çizgileriyle birbirinden ayrılmaktadır. Bu modelleme tekniğinin yaptığı kabule göre, yığma duvarlarda meydana gelebilecek çekme ve kayma çatlaklarının ve tüm hasarın ara yüzeylerde oluşacağı ve tuğlalarda meydana gelecek çatlakların tuğlanın orta kısmında düşey olarak gerçekleşeceği kabul edilmektedir(Lourenço,1996)(Kamal ve ark,2014).



Şekil 6. 3. Basitleştirilmiş mikro modelleme tekniği için örnek eleman

6.1.3. Makro modelleme

Yığma yapıların sonlu elemanlar yöntemi ile analizinde harç ile yığma birim elemanı homojen tek tip bir malzeme gibi davrandığı kabulüne dayanarak modellenmesinin gerçekleştirildiği bir yöntemdir. Bu sayede büyük yapıli sistemlerde çözüm süresini azalttığı için genellikle tercih edilmektedir (Şekil 6.4)(Erkek ve ark., 2013).

Bütün Birim



Şekil 6. 4. Makro modelleme tekniği için örnek eleman

6.1.4. Sonlu elemanlar yöntemi

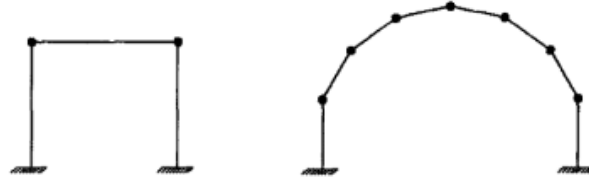
Sayısal modelleme, farklı kesit geometrisine ve malzeme özelliklerine sahip tarihi yapıların taşıyıcı sistem elemanlarının mekaniğin temel kurallarına göre doğru bir şekilde matematiksel terimlere dönüştürülmesi olarak tanımlanabilir. Bir başka tanımlamayla; yapının geometrik boyutlarını, mesnetlerin ve taşıyıcı sistem elemanlarının birleşim noktalarının hareket yeteneklerini ve serbestlik derecesini, yapı üzerine etki eden yükleri göz önüne alarak yapının tanımlanması işlemine sayısal modelleme denilmektedir. Sayısal modelleme tarihi yapıların yapısal analizlerinin en önemli aşamasıdır (Can ve Ünay,2011).

Sayısal modellemenin amacı; yapının tamamının, belli bir bölümünün ya da taşıyıcı sistem elemanlarının çeşitli yük veya çevresel etkiler altında gerçek davranışının belirlenmesini sağlamaktır. Tarihi yapıların yapısal analizi için genellikle sonlu elemanlar analizi yöntemi kullanılır(Can ve Ünay,2011).

Sonlu elemanlar yöntemi farklı türden yapıların tasarımında ve çözümünde kullanılmaktadır. Sayısal faktörleri çözüme katarak, zemin-yapı etkileşimini dikkate alarak analiz yapmasını olanak sağlayan bir yöntemdir. Sonlu elemanlar “düğüm noktaları” adı verilen kesişen eklemlerden oluşur. Yer değiştirme modellerindeki bilinmeyen büyüklük, düğüm noktalarındaki yer değiştirmelerdir (Şenel,1996).

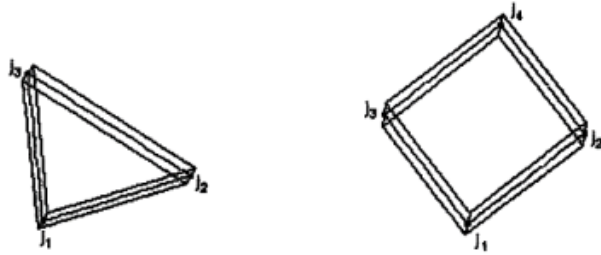
Sonlu elemanda kullanılan bireysel eleman tipleri aşağıda açıklamalarıyla verilmiştir.

Çubuk eleman (frame); genellikle iki eksenli basınç, eğilme ve kesme deformasyonu etkisinde olan kolon, kiriş, üç boyutlu çerçeveler, düzlem çerçeveler ile kabloların modellenmesinde kullanılır(Vatan, 2005). Altı serbestlik derecesine sahiptir (Şekil 6.5).



Şekil 6. 5. Çubuk elemanlar ile oluşturulan örnekler (Vatan,2005)

Kabuk eleman (Shell); bir boyutu diğer iki boyutunun yanında ihmal edilecek kadar küçük olan yapı elemanlarının modellenmesinde kullanılır (Vatan, 2005). Kabukların, plakların, duvarların analizinde kullanılır. Üç ya da dört düğüm noktasının birleştirilmesiyle oluşturulur ve her düğüm noktasının dört serbestlik derecesi vardır (Şekil 6.6). Kabuk elemanlarda elde edilen iç kuvvetlerin ve gerilmelerin tanımlanması için yerel eksenler vardır. Yerel eksenler düğüm noktalarının yazılış sırasına göre belirlenir (Can ve Ünay,2011).



Şekil 6. 6. Üç ve dört düğümlü kabuk elemanlar (Wilson, 2002)

Üç boyutlu katı eleman (solid) ; görünümlerinden dolayı “tuğla” eleman olarak da bilinirler. Masif, üç boyutlu kütleli yapıların ve taşıyıcı sistem elemanlarının modellenmesinde kullanılırlar (Can ve Ünay, 2011). Eleman yüzeyinin her bir köşesinin iç açısı 180 dereceden küçük olmalıdır. (Vatan, 2005). Sekiz düğüm noktasının birleştirilmesiyle oluşurlar. Altı serbestlik derecesi vardır. Her düğüm noktasında global eksenler doğrultusunda gerilme ve şekil değiştirme sonuçları elde edilir (Can ve Ünay,2011). Sonlu elemanlar yöntemi ile gerilme probleminin çözülmesi için programa girilmesi gerekli olan veriler aşağıda sırayla verilmiştir (Liu, 2003).

- Cismin geometrik modeli
- Yapıya ait elemanların elastisite modülü, poisson oranı ve birim ağırlık değerleri
- Başlangıç koşulları ile sınır ve yükleme koşulları: Sınır şartları mesnetler ve yükler olarak etki eder (Erdim, 2005).
- Yapılması istenen analizin çeşidi

6.2. Tarihi Yapılarda Analiz Yöntemleri

Tarihi yapıların analizinde doğrusal ve doğrusal olmayan analiz yöntemleri karşımıza çıkar. TBDY 2018'e göre deprem etkisi altındaki yapılar için dayanıma göre tasarım yaklaşımı kapsamında kullanılacak doğrusal hesap yöntemleri Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi (tek modlu) ve Modal Hesap Yöntemidir.

Modal hesap yöntemleri yönetmelikte belirtilen binaların tümünde kullanabileceği belirtilmiştir. Bu yöntemlerden Mod Birleştirme Yöntemi (çok modlu) deprem spektrumu ile hesaba dayalıyken Mod Toplama Yöntemi zaman tanım alanında hesaba dayalıdır. Bu yöntemler için ilgili bilgiler TBDY 2018'de 4. bölümde verilmiştir.

Çizelge 6. 1. TBDY 2018'e göre eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulama sınırları

| Bina Türü | İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfı | |
|---|------------------------------------|---------------|
| | DTS= 1,1a,2,2a | DTS=3,3a,4,4a |
| Her bir katta burulma düzensizliği katsayısının 2.0'den küçük olma koşulunu sağladığı ve ayrıca B2 düzensizliğinin olmadığı binalar | BYS \geq 4 | BYS \geq 5 |
| Diğer tüm binalar | BYS \geq 5 | BYS \geq 6 |

6.2.1. Düşey yükler altında statik analiz

Yapının kendi ağırlığının yanında, sabit ve hareketli yüklerin etkisinde zamana bağlı olmadan meydana gelen çözümlene biçimine statik analiz denmektedir (Çal, 2015).

Düşey yükler altında statik analiz, düşey yükleme (ölü yükler, hareketli yükler veya kar yükü de eklenerek) halinde yapıda meydana gelen yer değiştirme ve gerilme durumunu görmek amacıyla gerçekleştirilir (Dabanlı, 2008). İç kuvvetlerden dolayı yapıda meydana gelen yer değiştirmeler yapıdaki her bir düğüm noktasında okunabilir (Çal, 2015). Genellikle yapının düşey yükler altında problem yaratmayacağı düşünülür ama yapıda zamanla meydana gelen hasarlar, düşey yüklerin taşınması konusunda zayıflıklara neden olabilir. Bu durumun yapılacak analizler sonucunda değerlendirilmesi ve dikkate alınması gerekir (Dabanlı,2008).

6.2.2. Dinamik analiz

Yapıya etkiyen yüklerin zamana bağılı olarak değişimini dikkate alan analiz tipine dinamik analiz denilmektedir (Çal,2015).

6.2.2.1. Modal analiz

Yapının belli bir andaki şekil değiştirmiş haline mod denir. Modal analiz yöntemi, yapı sisteminin kütle ve rijitlik matrisleri kullanılarak yapının mod şekilleri, serbest titreşim periyotları, frekansları ve kütle katılım oranları belirlenir. Yapının davranışına, yapıya ait her bir serbest titreşim modunun katkısının bulunduğu ve bu katkıların ayrı ayrı belirlenip her bir moda ait katkının birleştirilmesi yoluyla yapının dinamik davranışının belirlenmesi esasına dayanan davranış spektrumu analizi mod birleştirme esasına dayanır (Dabanlı,2008).

7. KÜLTÜR MİRASI OLAN SİNOP KALESİ

7.1.Sinop Şehri

Türkiye'nin en kuzey ucunda bir burun üzerinde yer alan bir yarımada şehri olan Sinop tarihi coğrafi konumunun etkisiyle pek çok medeniyete ev sahipliği yapmıştır. Sinop adının kökeni hakkında değişik yorumlar bulunmaktadır. Bunlardan bazıları; Hititçe Sinova adı ile anılması, Asurların ay tanrısı 'SİN' den türediği ve Sinope'nin Yunan ırmak tanrısı Asapos'un su perisi kızını kastettiği, Amazon kraliçesinden aldığına dair çeşitli görüşler mevcuttur (Sinop Kültür Envanteri).

5000 yıllık tarihsel geçmişi ile birçok medeniyeti barındıran Sinop'un Kalkolitik Çağ'a kadar uzandığını gösteren bulgular vardır. 1951-1953'teki bulgulara göre ilk olarak M.Ö. 7.yüzyılın ortalarında Milet kolonisi tarafından kurulmuştur. Bir dönem Frig kökenli ailenin iskanına işaret eden bulgular bulunmuştur. M.Ö. 6.yüzyılın ortalarından itibaren Perslerin hakimiyeti altına girmiştir. M.Ö. 480 yılında Sinop bağımsızlığını kazanarak bu dönemde para bastırmıştır. Sinop en parlak dönemini Helenistik Çağda yaşamıştır. Bu çağda birçok yapı inşa edilmiş hatta kale surları onarılmıştır (Sinop Kültür Envanteri). Sinop şehrinin genel görünümü Şekil 7.1'de verilmiştir.



Şekil 7. 1. Sinop şehrinin genel görünüm

M.Ö. 70 yılında Roma İmparatorluğu tarafından işgal edilmiştir. Trabzon Rum İmparatorluğu'nun önemli limanı ve ticaret merkezi durumuna gelmiştir. 1214 tarihinde Türk hakimiyetine savaşız bir şekilde geçmiştir. 1243 Köseadağ Savaşı'ndan sonra 1259 tarihinde tekrar Trabzon Rum Devlet'inin yönetimine girmiştir. Ama Sinop'un önemli bir ticaret kenti olarak görülmesinden dolayı Selçuklu hükümdarı 4.Kılıçaslan önderliğinde 1262 yılında Sinop tekrardan Türk hakimiyetine geçmiştir (Sinop Kültür Envanteri).

Selçuklu döneminde Sinop Kalesi'nin birçok yeri yeniden onarılmış ilaveten iç kale inşa edilmiştir. Şehirdeki kiliseler camiye dönüştürülmüş, kazanılmasının şerefine Alaadin Cami inşa edilmiştir ve ilaveten Selçuklu Sultanı Alaaddin Keykubat tarafından tersane yapılmıştır. Bu dönemdeki Sinop'a yapılan yatırımlar sayesinde hem önemli bir ticaret limanı hem de önemli bir deniz üssü konumuna erişmiştir (Sinop Kültür Envanteri).

Osmanlı döneminde de Sinop liman şehri ve askeri üs olarak kullanılmaya devam etmiş, tersanede gemi yapımları artmıştır. Sinop'un deniz ticaretinin göz alıcılığı Rus devletinin sıcak denizlere inme isteğini arttırmıştır ve bunun sonucunda Rus donanması tarafından baskına uğramıştır. Bu dönem Sinop'un tarihinde önemli bir dönem olmuştur. 1853 yılında Paris Anlaşması ile alınan kararlara göre tersaneler kapatılmıştır. Böylece Sinop eski önemini yitirmeye yüz tutmuştur.

Sinop'un geçmişinden bugüne önemli bir ticaret ve liman kenti olmasından dolayı stratejik kalkınma planlarında Kültür ve Turizm'i ana hedef seçmiştir. Sinop için kültürel mirasın koruma ve sürdürülmesi önemli bir husus olduğundan tarihi değerlerini geleceğe aktarmada gerekli çalışmalar yapılmaya devam etmektedir (Sinop Kültür Envanteri).

7.2. Geçmişten Günümüze Sinop Kalesi

Sinop kalesinin yapım tarihi tam olarak bilinmemekle birlikte, tarihi Hitit devrine kadar uzandığı düşünülmektedir(Sevgen, 1959). M.Ö. 2000'lerde Kaşkarlar tarafından veya Milet'ten gelen koloni kuran göçmenler tarafından ilk defa yapıldığı düşünülmektedir. 7.yüzyılda Kimerler'in istilasından sonra yeniden onarım geçirmiştir. 6.yüzyılda Pontus Krallığı'nın önemli bir merkezi haline gelmiş olup bugünkü halini M.Ö. 72 yılında kurucusu Pontus Kralı olan 4. Büyük Mithridates tarafından onarılıp geliştirilmiştir. Kale bu tarihten itibaren Roma-Bizans döneminde çeşitli onarımlar görerek daha sonrasında 1214 ve 1261 tarihlerinde Selçuklular tarafından fethedildikten sonra hem güçlendirilmiş hem de iç kale ilavesi yapılmış olup, Candaroğlu ve Osmanlılar

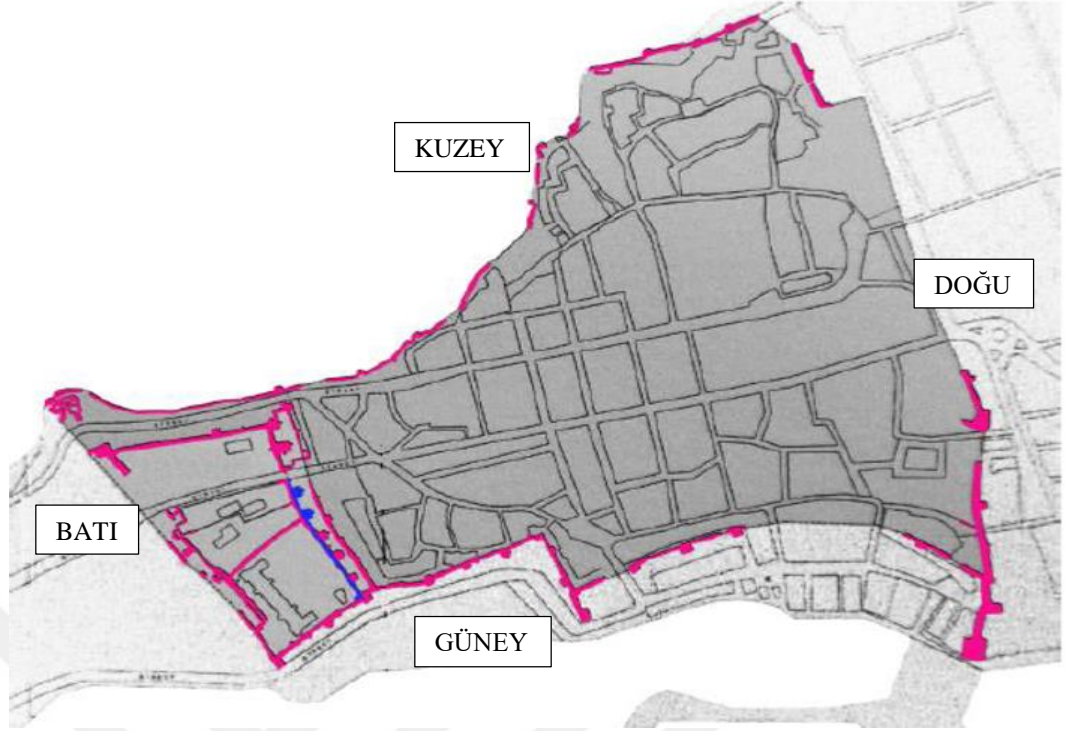
döneminde de eklemeler ve değişiklikler geçirerek bugünkü halini almıştır(Şekil 7.2)(Karadeniz İpekyolu Koridoru).



Şekil 7. 2. Sinop Liman'ından tarihi kale ve surların görünümü (Zeynel Zeki Özcanoğlu Arşivi)

Günümüzdeki görünüşüne bakarak altyapının Helenistik-Roma dönemi özelliği gösteren iri kesme taş ile yapıldığı görülmektedir. Kaleye ilerleyen zamanlarda Bizans, Selçuklu, Candaroğulları ve Osmanlılar çeşitli tamiratlar ve eklemeler yapmıştır (Esemenli, 1990).

Sinop kalesi iç kale, dış kale ve burçlar olmak üzere üç yapıdan oluşmakla birlikte tarih boyunca şehrin büyük bir kısmı bu kale içinde gelişmiştir (Esemenli, 1990). Dış unsurlar zaman içinde coğrafi ve iklimsel etkilerle yok olmaya yüz tutarken iç kale ve tersaneye bakan kısmı turizm açısından hala önemini korumakta olup günümüzde de devam eden kapsamlı restorasyon projelerine dahil olmuştur. Doğu suru 500 m, kuzey surları 880 m, batı surları 270 m, güney surları 400 m ve yüksekliği 10-15m arasındayken burç ve kuleler 25-30 m arasında değişmektedir(Şekil 7.3).



Şekil 7. 3. Sinop sur duvarları genel planı (Resford, 2014)

- Doğu suru, 500m uzunluğunda olup yer yer kesilerek devam etmektedir. Bu surun güney yönünde ‘‘Saathane Burcu’’ olarak adlandırılan saat kulesi bulunmaktadır (Şekil 7.4).



Şekil 7. 4. Sinop Saat Kulesi

Kalenin iskeleye bakan güney-doğu köşe burcu Sinop'un simgesel burcudur. Bu burç farklı yapım tekniklerine ve dönemlerine rastlanan yukarı doğru çıktıkça daralan küp şeklindedir (TDK). Ayrıca yapıda ‘bölgeyi savunmak için yapılan ve silahlarla güçlendirilen yapı’ olarak tanımlanan tabya kulübeleri denize bakan iki köşesinde mevcuttur. Günümüzde bu burca dik bir merdiven yardımıyla seyirdim bölümü ziyarete açıktır. Güney suru ise iç liman ve tersaneyi kapsamaktadır(Şekil 7.5) (Esemenli, 1990).



Şekil 7. 5. Sinop güney liman burcu

- Batı suru, 270 m uzunluğundadır. Kalenin batı duvarlarını İç Kale'nin batı surları oluşturmaktadır. Önceden kuzey ve güney surlarını birbirine bağladığı düşünülen batı suru büyük oranda yıkılmıştır. Bu sur duvar yıkılmadan önce ‘Kum Kapı’ girişini oluşturuyordu (Kılıç Demircan, 2020). Günümüzde Sinop Cezaevi olarak kullanılmaktadır. İç kalenin kuzey-batı köşesini oluşturan burç bulunmaktadır. Bu burç çeşitli onarımlar geçirmiş kare şeklinde yapılmış bir burçtur. Kesme ve yığma taş tekniğiyle yapılmıştır. Günümüze kadar hasarlıda olsa varlığını korumuştur(Şekil 7.6).



Şekil 7. 6. Sinop'un batı surları

• Kuzey suru, 880m uzunluğuyla etkileyici bir görünüşe sahip olan bu sur yer yer yıkılmıştır(Şekil 7.7) (Esemenli, 1990). Karedeniz ile kara ilişkisini keserek sahil şeridi boyunca uzanmaktadır. Kuzey (Kum Kapı) sur duvarları ve kuleleri zamanla kayba uğrarken, kuzey-doğu yönünde Tophane Mevkii olarak adlandırılan bölgede kale yapısal stabilitesini korumaktadır (Kılıç Demircan, 2020). Bir kale kent şehri olarak anılan Sinop için kuzey- güney boyunca uzanan surlar adeta Sinop için açık hava müzesi olarak işlev görmektedir (Şekil 7.8).



Şekil 7. 7. Kuzey sur duvarları hattı



Şekil 7. 8. Kuzey sur duvar bölümleri

• Güney suru, 400m uzunluğunda olup iç limana ve tersaneye bakmaktadır (Şekil 7.9). Güney surları batı yönünde Selçuklu Döneminde yapılmış İç Kale ve doğu yönünde iç kaledeki tersane ile bağlantısı olan uzun surlara ve kare tipli kulelere sahiptir (Şekil 7.10).



Şekil 7. 9. Sinop kuzey- güney sur duvarları (Kılıç Demircan, 2020)



Şekil 7. 10. Güney limana bakan sur duvarları

Selçuklular döneminde inşa edilip Osmanlı Döneminde cezaevi olarak kullanılan İç kale bölümü kuzey ve güney olarak iki kısma ayrılmıştır. Güneydeki kale 9500 metre uzunluğunda olup meşhur Sinop Cezaevini barındırmaktadır (Şekil 7.11). Kuzeydeki kısmı ise 2200 metre genişliğiyle depo, cephanelik ve eski bir cami barındırmaktadır.

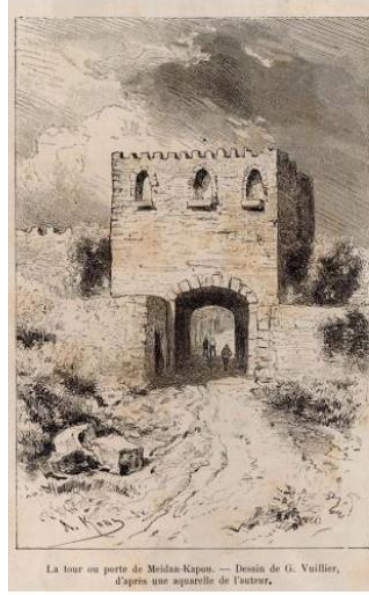


Şekil 7. 11. Sinop tarihi cezaevi

Anadolu kalelerine ait bilgilerin çoğuna betimlemeleriyle ve güzel anlatımıyla Evliya Çelebi'nin Seyahatname'sinden öğrenebiliyoruz. Seyahatname'sinde Sinop Kale'sinden bahsederken 8 adet kapı olduğundan bahseder. Bunlar; Kum kapısı, Meydan kapısı, Tersane kapısı, Yenice kapısı, Tabakhane kapısı, Lonca kapısı ve Deniz Kapısıdır. Şuanda Kumkapı ve Lonca Kapısı günümüze ulaşmıştır (Karadeniz İpekyolu Koridoru Kütüphane Kitap). İç kalede, Lonca kapısında ve Lonca Kapısı'nın güneyinde Antik Çağ'dan devşirilen büyük kesme taşlar kullanıldığı görülmektedir (Şekil 7.12) ve (Şekil 7.13) (Esemenli, 1990).



Şekil 7. 12. a) Lonca Kapısı- Jules Laurens (Resford, 2014) b) Lonca Kapısı Askerlik Şubesi-1910 (Özcanoğlu)



Şekil 7. 13. Meydan Kapı- 1889 (Atmaca, 2017)

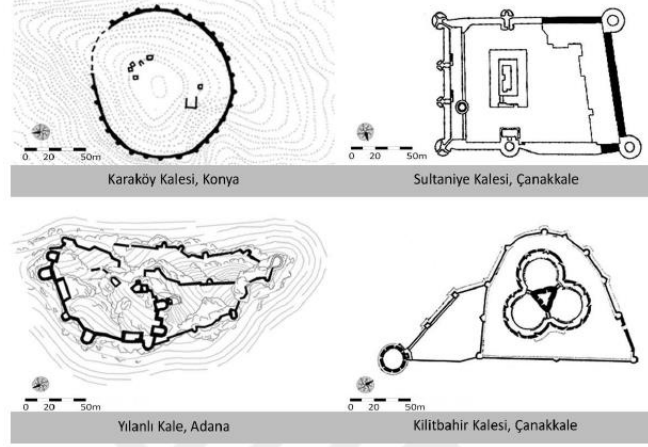
7.3. Kalenin Tanımı ve Yapısal Bileşenleri

İnsanlık var olduğundan beri en temel ihtiyaçlarından biri güvenlik olmuştur. Bu ihtiyacı karşılamak için savunma yapıları olan kaleleri inşa etmişlerdir. Kale ile ilgili pek çok tanım yapılmıştır. Bunlardan bazıları; ‘‘düşmanın gelmesi beklenen yollar üzerinde, askeri önem taşıyan şehirlerde, geçit ve dar boğazlarda güvenliği sağlamak için yapılan kalın duvarlı, burçlu, mazgallı yapı, kermen (TDK)’’, stratejik bir yeri, bir geçidi korumak ve gerekli askeri kuvveti barındırmak üzere yapılmış, tahkim edilmiş yapı (Eyice, 2001)’’, ‘‘bir yeri dış saldırılara karşı korumak amacıyla yapılan, kalın ve yüksek duvarlarla bunların üstüne belli aralıklarla yerleştirilen burçlardan oluşan yapı (Boran, 2001) şeklindedir.

Geçmişten beri yapılan kaleler gerek şehrin coğrafi özellikleri gerekse arazi özellikleri göz önünde bulunarak şehrin önemli stratejik yerlerine inşa edilmiş yapılardır. Kaleler inşa edilirken az bir kuvvet uygulanarak savunulabilmesi, uzun süre dış etkilere ve kuvvetlere karşı dayanabilecek şekilde inşa edilmiştir. Genellikle kalın bir duvar ve bu duvar boyunca (sur, beden) aralıklı burçlardan oluşmaktadır. Yapının bulunduğu topoğrafyaya ve arazi durumuna göre kullanılan malzemeler değişiklik göstermekle birlikte duvarlarda genellikle taş kimi zaman ise tuğla kullanılmış, bağlayıcı olarak ise horasan harcıyla örülmüştür (Ödekan, 1997).

Kaleler genellikle belirli bir plana göre yapılmamıştır. Mimari elemanlarında ortak yapısal elemanlar mevcut olsa dahi yapıma amacına göre yapısal elemanlarında ve

malzeme özelliklerinde kaleye ait özgünlük söz konusu olmuştur (Şekil 7.14) (Özçetin, 2016).



Şekil 7. 14. Farklı plan tiplerine sahip kaleler (Özçetin,2016)

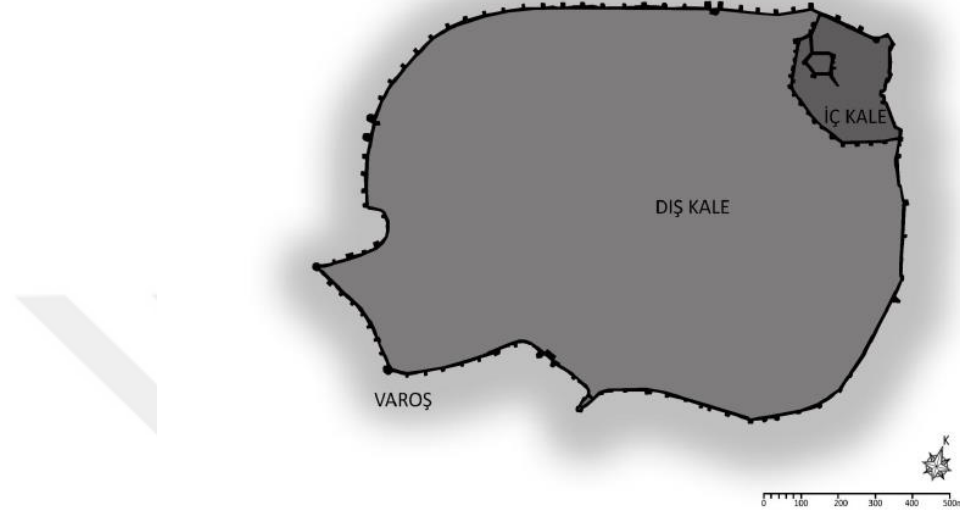
Kale duvarlarının üstünde bulunan düzlük alana savunuların her yere rahatlıkla yetişebilmelerini sağlamak için yapılan bu alana seyirdem yeri denilmiştir. Barbata denen mazgallı bir korkuluk duvar üstünde bulunmaktadır. Ayrıca yiyecek ambarı, sarnıçlar ve koğuşlar kalede bulunması gereken bölümlerden bazılarıdır(Ödekan,1997).

Kaleler genellikle iç kale, dış kale, şehristan ve ahdemek gibi bölümlerden oluşmakla birlikte ahdemek ve dış kale her kalede bulunmamaktadır(Arseven, 1954).

Dış kale; kentin asıl bölümünü oluşturan bütün kurumları ve konutları içine alan ve kentin etrafını çeviren uzun sura denilmektedir. Türk kentlerinin şehristan bölümünde; mahalleler, çıkmaz sokaklar, saray, kamu yapıları, vakıf kurumları ve pazar yerleri gibi bölümler yer almaktadır (Boran, 2001). Pek çok şehir için kullanılan ‘kale-kent’ tanımını oluşturan kavram dış kalenin içerisine yerleşimlerin sonucu bu bölümün kente dönüşmesinden kaynaklanmaktadır (Özçetin, 2016). 13.yüzyıldan sonra şehirlerin gelişmesiyle kervanların giriş çıkışına kolaylık sağlaması açısından dış kale yapımından vazgeçilmiştir (Boran, 2001).

İç kale; ‘surlarla çevrili bir kentin en yüksek yerinde hükümdarın, beyin ya da komutanın oturmasına ayrılmış, en son savunma yeri olan kale bölümü (Hasol, 1990)’olarak tanımlanır(Şekil 7.15). Konum olarak şehrin en iç kesiminde ve en yüksek yerinde konumlandırılmıştır (Cezar,1977). Birçok iç kale bulunmasına karşın pek çoğu döneminden sonrada farklı işlevler için kullanılmıştır. Anadolu’da Türk Döneminde

yapılan Van, Afyon, Diyarbakır, Alanya, Tokat gibi iç kaleler tamir edilerek kullanılmaya devam edilmiştir. Ayrıca Anadolu’da Türkler eliyle Çeşme Kale-i Sultani Kilitbahir gibi yeni iç kaleler inşa edilmiştir(Boran, 2001). Buna başka bir örnek olarak Sinop’ta inşa edilen iç kale zamanla cezaevi olarak kullanılmıştır.



Şekil 7. 15. Kalenin bölümleri (Gabriel, 1940)

Ahdemek; iç kaleyle karşılaştırılan bu kavram Anadolu Selçuklu döneminde askeri işlevli olup dış kaleyle bitişik bir şekilde inşa edilmiştir. Buna karşın, iç kalelerin bağımsız bir nitelikte olduğu, dış kaleyle beraber yapılabileceği gibi bağımsızda olabilmektedir. Selçuklu döneminde böyle bir ayırım yokken, Osmanlı döneminde ahdemek ve iç kale kavramındaki ayırım ortadan kalkmıştır(Boran, 2001). Ahdemekler gözetleme kulesi işlevine ek olarak hükümdarın kenti izleme balkonu olarak da kullanılmaktaydı. Ahdemeklerden günümüzde hala varlığını koruyan Divriği Kalesi’nde mevcuttur (Sakaoğlu, 2008).

Şehristan (şehir); kentin esas bölümü olan ticaret, konut, dini ve başka diğer kurumları da kapsayan bölüme denilmektedir (Boran, 2001).

Kapı; kalenin savunma açısından en öneme sahip, en zayıf bölümlerindedir. Kalın ve sağlam ağaçlardan yapıлып üzeri demir levhalarla kaplanıp güçlendirilmesi yapılmıştır. Ateşleme yöntemlerine göre yerleştirilen kuleler (burçlar) kapının iki yanına konumlandırılması sağlanıp emniyeti arttırmışlardır (Eyice, 2001).

Hendek; “geçmeye engel olacak biçimde uzunlamasına kazılmış derin çukur” olarak tanımlanır(TDK). Kalelerin en fazla tehlikeye maruz kalan kısımlarında duvarların

dışında hendekler oyulur, imkan varsa su ile doldurulurdu. Buna ilaveten hendek üzerinden geçişi sağlamak için inip kalkan köprü zincirlere bağlanarak hendeğin karşı kenarına iner böylece savunmaya en ihtiyaç duyulan kapı güvenlik açısından daha da güçlendirilmiş olurdu (Şekil 7.16) (Eyice, 2001).

Kapı ve hendeğin üzerine inşa edilen köprüyü koruyan kuleye siperli kale önü veya ‘hisar peçe’ denilmektedir. Düşmanı arkadan çevirebilmek veya dışarı haberci gönderebilmek için inşa edilen küçük kapılara ise uğrun veya huruç kapısı adı verilmiştir (Eyice, 2001)



Şekil 7. 16. Mamure Kalesi hendek örneği

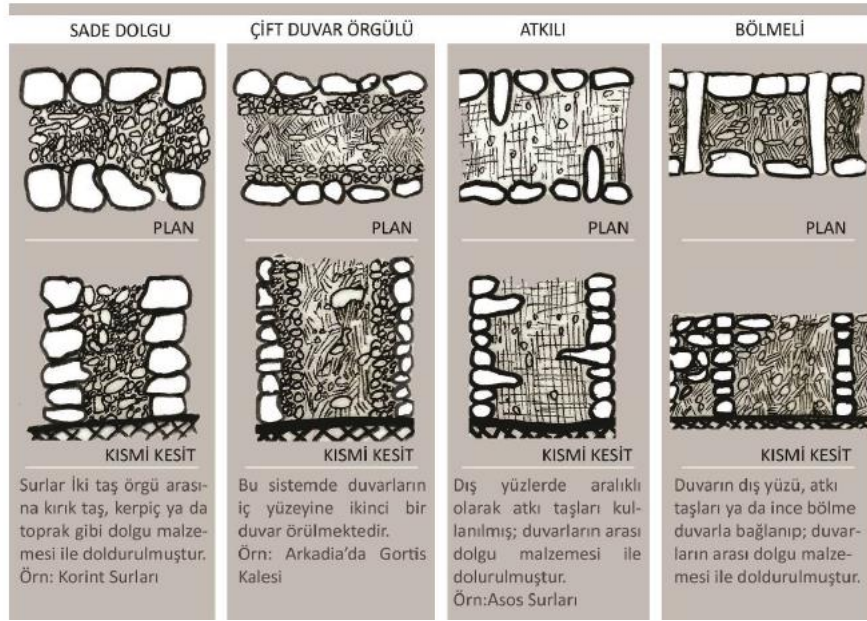
Kule; kale mimarisinin en önemli bölümü olup bazen de beden olarak isimlendirildiği görülmüştür. Kuleler inşa edilirken biri diğerinden yüksek ve kuvvetli olmasına dikkat edilmiştir. İnşa edilen bu kuleye baş kule veya erk denirdi. Tarihin eski çağlarında kişilerin kendi evlerini korumak için inşa edilen 3-4m yüksekliğindeki kerpiç duvarlardan inşa edilen basit yapıları kalelerin yerini şehrin tamamını korumak için inşa edilen uzun surlar yerini almıştır (Eyice, 2001). Şekil 7.17’de heybetli yapısıyla önemini hala koruyan Kızılkule örneği verilmiştir.



Şekil 7. 17. Kızılkule kule örneği

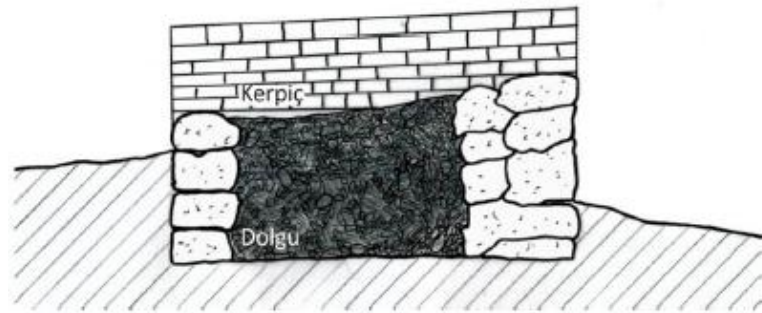
Hisar; içinde hükümdar veya kumandan bulunan konut özelliği taşıyan kalelerdir (Sakaoğlu, 2008).

Şehir suru; kaleleri ve kentleri koruyan en önemli yapı elemanları kalın savunma duvarıdır. Beden, baru olarak da isimlendirilmiştir (Sakaoğlu, 2008). Bulunduğu coğrafyaya taş, tuğla, kerpiç gibi malzemeler kullanılıp aralarına dolgu malzemesi konularak örülmüştür(Şekil 7.18). Ayrıca devşirme yöntemiyle çevreden elde edilen malzemelerinde (sütun, heykel) kullanımı mevcuttur(Özçetin, 2016).



Şekil 7. 18. Dolgulu duvar çeşitleri (Akarca, 1998)

Taşıma ve işleme maliyeti az olduğu için genellikle kale duvarlarında kerpiç tercih edilmiştir (Şekil 7.19). En büyük dezavantajı ise suyla temasında direncinin düşük olmasından taş temellere ve kaidelere oturtulmuş, duvarların yüzeyleri sıvanmıştır(Özçetin, 2016).



Şekil 7. 19. Mantinea surları kesiti (Akarca, 1998)

Başka bir yapıda kullanılan ve daha sonra oradan alınarak yeni bir yapıda farklı ya da benzer amaçlarla kullanılan yapı öğelerine devşirme malzeme denir(Sözen ve Tanyeli, 1986). Bazı kaleler ani bir tehlikeye veya akına uğradıklarında şehir ve kasabayı korumak için buldukları bölgeye devşirilen eski yapı taşlarıyla inşa etmişlerdir. Örneğin Amasra Kalesi, 19. yüzyılda Karadeniz’den gelen bir hücumun hemen arkasından İlk Çağ binalarından sökülen taşlar ile yapılmıştır. Aynı şekilde Trakya’da Meriç Irmağının denize döküldüğü yerdeki Enez Kalesi içinde söz konusudur (Şekil 7.20) (Eyice, 2001).



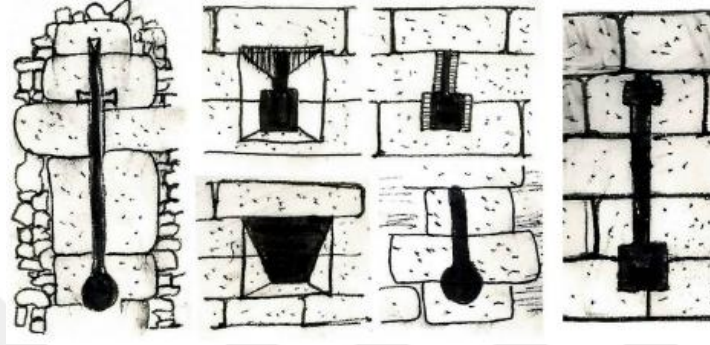
Şekil 7. 20. Amasra Kalesi

Kale mimarisi 20.yüzyılda modern imkanlarla değişik bir şekle girmiştir. Savaş usullerinin ve silahların gelişmesi ve değişmesi karşısında eski usulle inşa edilen kaleler önemini kaybetmiştir. Bunun için verilebilecek en güzel örnek, Orta Asya’dan gelen Türk akınlarına karşı yapılan kilometrelerce uzunluktaki Çin Seddi’dir (Şekil 7.21) (Eyice, 2001).



Şekil 7. 21. Çin Seddi

Mazgal siperi; surların ve burçların üzerinde bulunan dış şeklindeki kalkanlardır(Sakaoğlu, 2008).Siper, barbata veya dendan olarak adlandırılmıştır (Eyice, 2001). Bunların arasında ‘mazgal’ denen top, tüfek ve ok atma açıklıkları mevcuttur (Şekil 7.22)(Sakaoğlu, 2008).



Şekil 7. 22. Çeşitli mazgal görünüş tipleri (Mesqui, 2014)

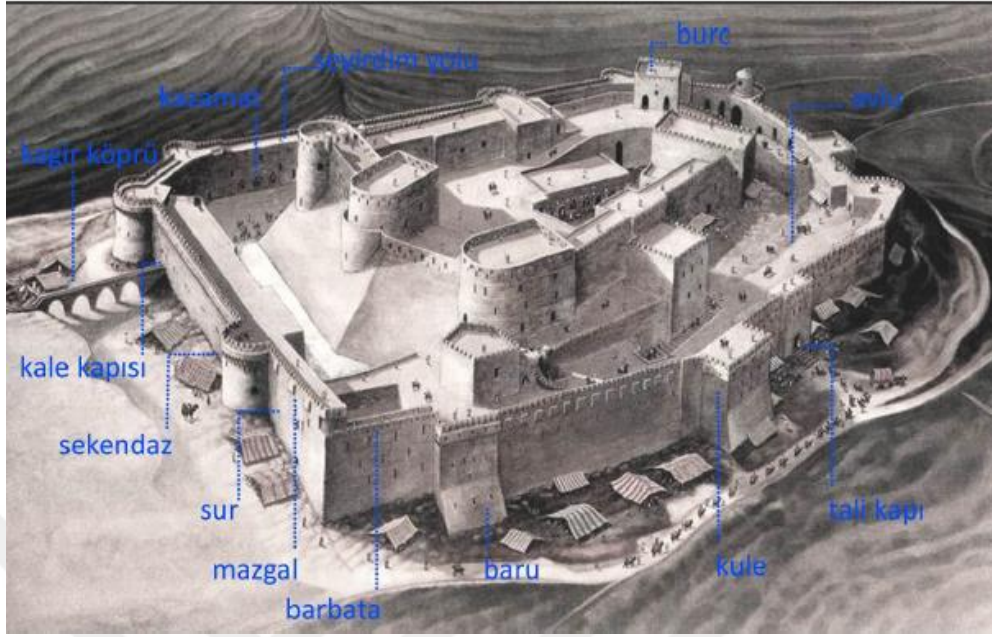
Avlu; sosyal hayatın gerçekleştiği sarnıç, ambar, dini yapılar gibi yapıların bulunduğu alandır. Kalenin bölgelerini ve kademelerini gösteren ayırıcı boşluklardır (Özçetin, 2016).

Duvarların üzerinde ‘‘seğirdim (devriye) yolu’’ denen düzlük alanlarda savunanların her yere rahat geçmelerini sağlayan güvenli, dar yollar bulunmaktadır(Şekil 7.23). Dolgusuz burçların içinde nöbetçi odaları ve bunların da ‘ barbakan’ denen ince uzun ışık ve siper açıklıkları bulunurdu (Sakaoğlu, 2008).



Şekil 7. 23. Sinop Kalesi seyirdim yolu örneği

Şekil 7.24'te kalenin mimari öğeleri resim üzerinde gösterilmektedir.



Şekil 7. 24. Kalenin mimari öğeleri, Krak Des Chevaliers Kalesi (Edwards, 1983)

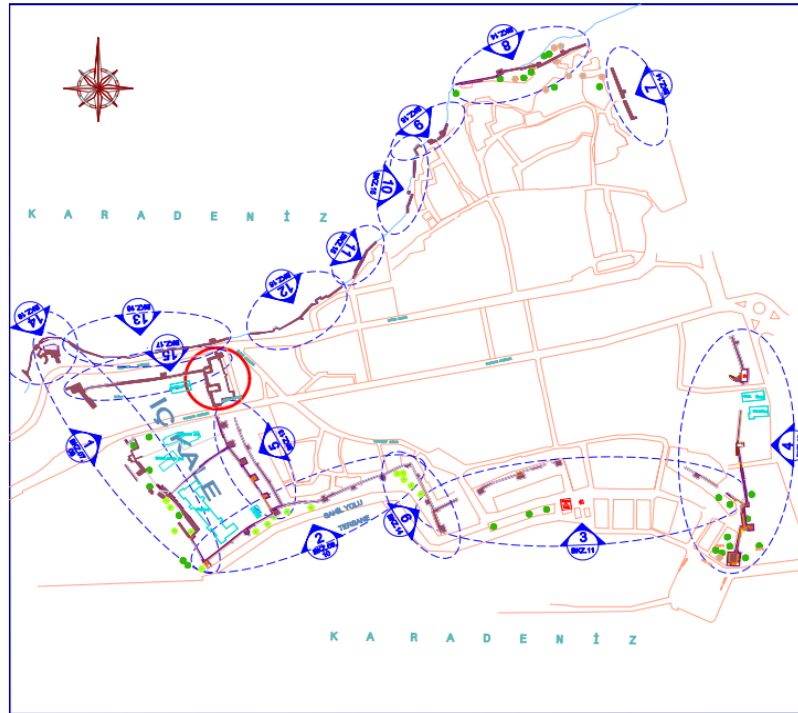
Tabyalı kale; özellikle deniz kenarında bulunan, gemilere karşı top ateşi yapabilmesi için silahlarla güçlendirilmiş kale mimarisidir. Bu yapı daha çok savaş tekniklerinin gelişmesiyle eş güdümlü olarak askeri mimarisinde gelişme göstermiştir (Eyice, 2001).

8. SİNOP KALESİ'NİN MEVCUT DURUMUNUN ANALİZİ VE SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ KULLANILARAK MODELLENMESİ

8.1.Kalenin Mevcut Durumu ve Kullanılan Mimari Ölçüler

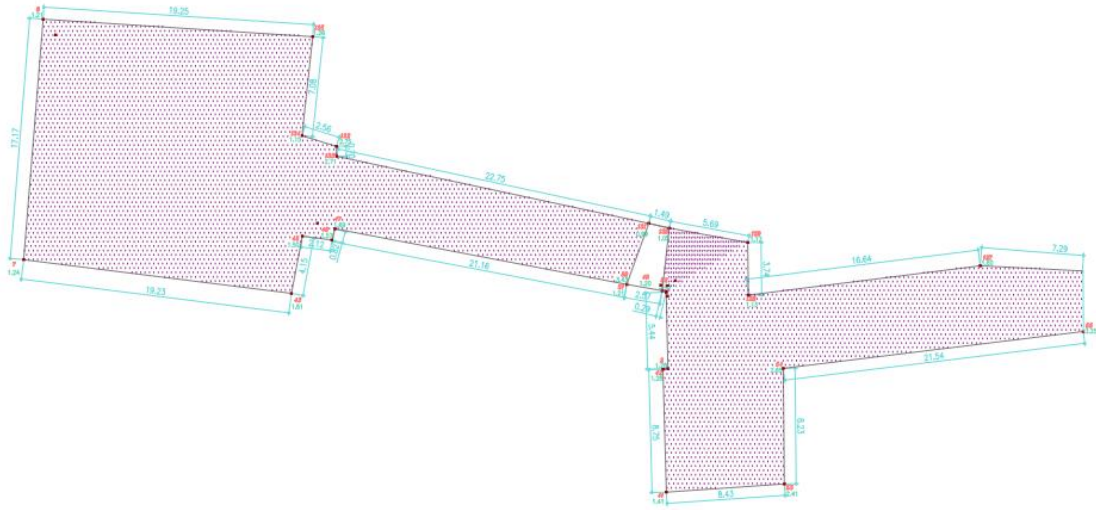
Kale ile ilgili çalışma 2004 yılında Kalan Mühendislik tarafından Tarihi Sinop Kalesi ve Cezaevi'ni kapsayan rölöve, restitüsyon ve restorasyon çalışmaları kapsamında yapılmıştır. İlgili çalışmanın Autocad 2017 paket programındaki rölöve çizimleri Samsun Rölöve ve Anıtlar Müdürlüğü'nden temin edilmiş olup, Sinop Müze Müdürlüğü'nden, çizimlerin mimarı Selma An'dan ve çalışmayı yapan kişilerden ilgili izinler alınmıştır. Çalışmalarda Sinop'un güney burcunda yer alan 4. bölge 10 nolu burç incelenecek olup gerekli kot ölçüleri ve koordinat noktaları çizimlerden elde edilmiştir. Bu veriler kullanılarak sonlu elemanlar yöntemi ile SAP 2000 V20 paket programında 3 boyutlu SOLID eleman olarak modellemeler yapılmıştır.

Rüya Kılıç Demircan (2020) doktora tezinde Sinop ilinde yer alan Sinop Kalesi'nin 14. bölge kuzey sur ve burçları üzerinde bir çalışma yürütmüştür. Bu çalışmada kalenin çevresel etkiler altında aşamalı olarak yıkılmasının senaryosu için analitik bir yöntem önermiştir. Şekil 8.1'de Sinop kale surları ve cezaevi paftası verilmiştir.



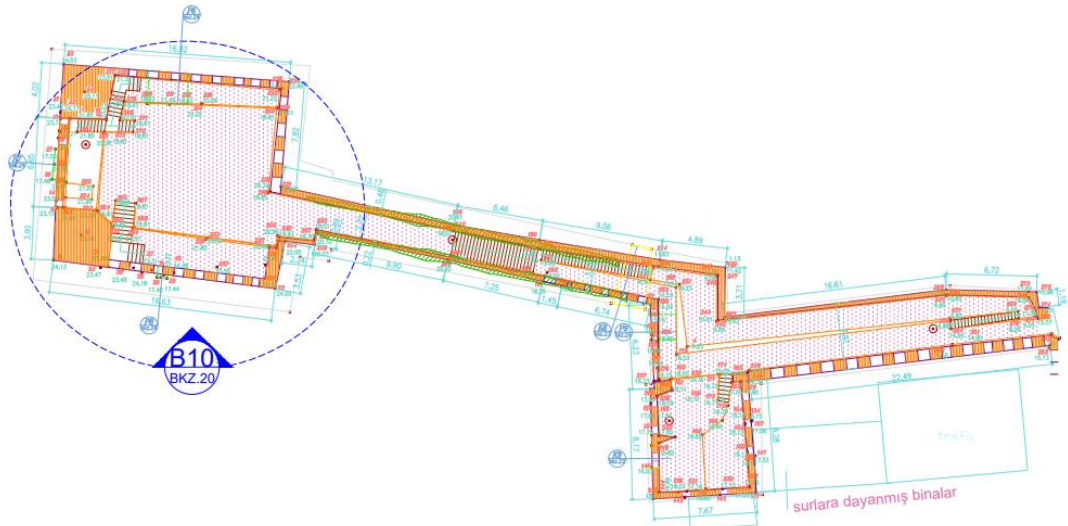
Şekil 8. 1. Sinop kale surları ve cezaevi paftası

Rölövesi mevcut olan 4. bölgenin AUTOCAD çizimleri üzerinden koordinat noktaları alınmıştır. Modelleme yapılırken Şekil 8.2'de sur taban kot ölçüleri, Şekil 8.3'de sur üst kot ölçülerinden ve Şekil 8.4'teki görünüşünden yararlanılmıştır.



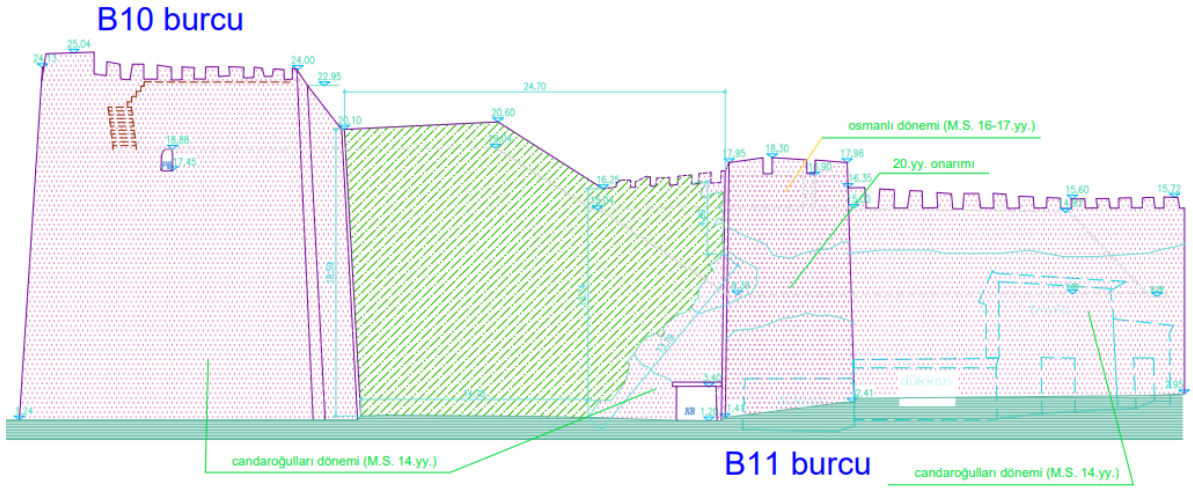
SUR TABAN KOT VE ÖLÇÜLERİ

Şekil 8. 2. 4. Bölge sur taban kot ve ölçüleri



SUR ÜST KOT VE ÖLÇÜLERİ

Şekil 8. 3. 4. Bölge sur üst kot ve ölçüleri



GÖRÜNÜŞ

Şekil 8. 4.4. Bölge görünüşü

Kalenin kuzey cephesi 17,5 m, güney cephesi 17,5 m, doğu cephesi 19,5 m, batı cephesi 19,5 m dikdörtgen biçimde olup çizimde 10 nolu burç ve burcu takip eden 24 m uzunluğundaki sur çalışmada modellenmiştir (Şekil 8.5).



Şekil 8. 5. 4. Bölgenin burç ve surlarının görünümü

Sinop kalesinin güney limana bakan burcun farklı açıdan fotoğrafları verilmiştir (Şekil 8.6, Şekil 8.7 ve Şekil 8.8). Burç geometrik olarak kareye yakın bir şekle sahip olduğu fotoğraflarda görülmektedir.



Şekil 8. 6. 10 nolu burç güney-batı cephesi



Şekil 8. 7. 10 nolu burç güney (ön) cephesi



Şekil 8. 8. 10 nolu burç ve sur duvarları yandan görünümü

4. bölgedeki ana burca ve surlara ait AUTOCAD çizimlerinden alınan ölçüler çizelge 8.1’de verilmiştir. Çizelgede verilen değerler modellemede kullanılmıştır.

Çizelge 8. 1. 4. Bölgedeki kaleye ait burç ve surların ölçüleri

| Cepheler | Burç Ölçüleri (m) | Burç Duvar Kalınlığı (m) | Sur Ölçüleri(m) | Sur Duvar Kalınlığı(m) |
|----------|-------------------|--------------------------|-----------------|------------------------|
| Kuzey | 17,5 | 1,5 | 4 | 1 |
| Güney | 17,5 | 1,5 | 4 | 1,5 |
| Doğu | 19,5 | 1,5 | 24 | 1 |
| Batı | 19,5 | 1 | 24 | 1,5 |

8.2. Kalenin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Modellenmesi

Tarihi Sinop Kalesi'nin seçilen bölümündeki burç ve surlarının modellenmesi için gerekli bütün boyutlar ve ölçüler daha önce hazırlanmış olan rölöveler kullanılarak elde edilmiştir. Modelleme ve hesap parametreleri aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Kalenin tamamı SOLID eleman olarak modellenmiştir. Bu modellemeler 9238 düğüm noktası ve 5788 SOLID elamandan oluşmaktadır.
- Yapıda kullanılan malzeme taştır. Malzeme örneği alma ve test etme olanağı bulunmadığından, malzeme özellikleri benzer yapılar sonucu elde edilen ve uluslararası literatürde önerilen bağıntılardan yararlanarak yürürlükte olan şartnamelerde geçen yığma yapılar için önerilen değerler dikkate alınarak seçilmiştir.
- Taş yığma yapı elemanlarının harç ile birlikte tek bir malzeme özelliği gösterdiği varsayılarak elastisite modülü ve birim ağırlık kabulleri yapılmıştır.
- Hazırlanan hesap modelinde sabit yükler ve deprem spektrumu ile tanımlanan yer hareketinin yol açtığı zorlamaların göz önüne alındığı iki ayrı yükleme durumu uygulanmıştır. Spektrum, EQX ve EQY yüklemeleri olmak üzere ayrı ayrı iki asal doğrultuda uygulanmıştır. G (sabit yükler) ve EQX ve EQY (deprem yükleri) dikkate alınarak, G, G+EX, G+EY, G-EX, G- EY yük kombinasyonları oluşturulmuştur.
- Yapıya etkiyecek deprem kuvvetinin hesabında TBDY 2018 'e göre AFAD'dan ilgili veriler SAP 2000 V20 programına girilmek üzere elde edilmiştir.
- Deprem etkilerinin belirlendiği spektral hesapta ilk 10 mod incelenmiştir.

Sinop Tarihi Kalesi'nin strüktürel performansını belirlemek için SOLID eleman olarak modellenen elemanlarda hesaplanan gerilmelerden, her elemanın kendi yerel eksenine göre düşey doğrultuda (SAP2000 programına göre S33 olarak tanımlanan) meydana gelen çekme veya basınç gerilmeleri yapının dayanımı hakkında en açıklayıcı sonucu vermektedir.

Yapının rölöve projesini esas alarak duvar kalınlıkları 1,5m ve 1m olarak değişmektedir. Zemine aktarılan noktalara ankastre mesnet tanımlanmıştır.

Kalenin sonlu eleman modelinin gerçek yapı davranışları sergilemesi isteniyorsa bunun için seçilen malzeme özelliklerinin doğru seçilmesi çok önemlidir. Tarihi yapılarda malzeme özelliklerini belirlemek birçok açıdan zordur. Bunun nedenleri, işlemlerin pahalı olması ve tarihi yapıya hasar verilmek istenmemesidir. Bu çalışmada modellenmesi yapılan kalede kullanılan doğrusal elastik malzeme özellikleri, Kılıç Demircan (2020) yaptığı doktora çalışmasından elde edilmiştir (Çizelge 8.2).

Çizelge 8. 2. Sinop Kalesi 4. Bölge güney surları ve burçlarına ait sonlu elemanlar modelindeki malzeme özellikleri

| Eleman Tipi | Elastisite Modülü (kN/m ²) | Özgül Ağırlık (kN/m ³) | Kütle (t/m ³) | Poisson Oranı |
|-----------------------------------|--|------------------------------------|---------------------------|---------------|
| Sur duvarları (harç ile birlikte) | 1 000 000 (1000 Mpa) | 20 | 2,04 | 0,2 |
| Burçlar (harç ile birlikte) | 1 000 000 (1000 Mpa) | 20 | 2,04 | 0,2 |

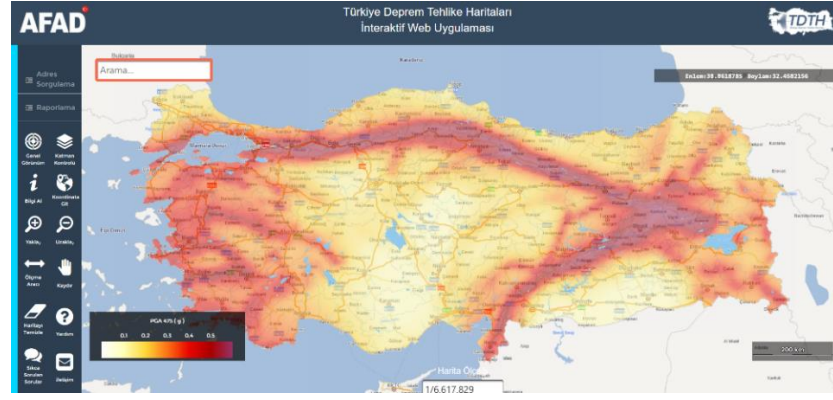
Elde edilen gerilme değerlerinin değerlendirilmesi aşamasında kabul edilen sınır gerilme değerleri yapılan bilimsel çalışmalardan elde edilmiştir (Çizelge 8.3).

Çizelge 8. 3. Malzeme grupları için kabul edilen emniyet gerilmeleri

| Malzeme Tipi | Basınç Gerilmesi (Mpa) | Çekme Gerilmesi(Mpa) | Kayma Gerilmesi (Mpa) |
|---------------|------------------------|----------------------|-----------------------|
| Sur duvarları | 2,4 | 0,15 | 1,05 |
| Burçlar | 2,4 | 0,15 | 1,05 |

8.2.1. TBDY 2018'e göre yapısal analiz için oluşturulan modellemeye kullanılan parametreler

Yapıya etkiyecek deprem kuvvetinin hesabında TBDY 2018 'e göre kullanılan parametreler için veriler tdth.afad.gov.tr adresinden alınmıştır (Şekil 8.9, Şekil 8.10, Şekil 8.11 ve Şekil 8.12) ve (Çizelge 8.4).



Şekil 8. 9. Türkiye deprem tehlike haritası

$$S_S = 0.344$$

$$S_1 = 0.134$$

$$PGA=0.149$$

$$PGV=11.117$$

S_S : Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

S_1 : 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

PGA : En büyük yer ivmesi [g]

PGV : En büyük yer hızı [cm/sn]

Şekil 8. 10. AFAD'dan alınan spektral ivme katsayısı değerleri

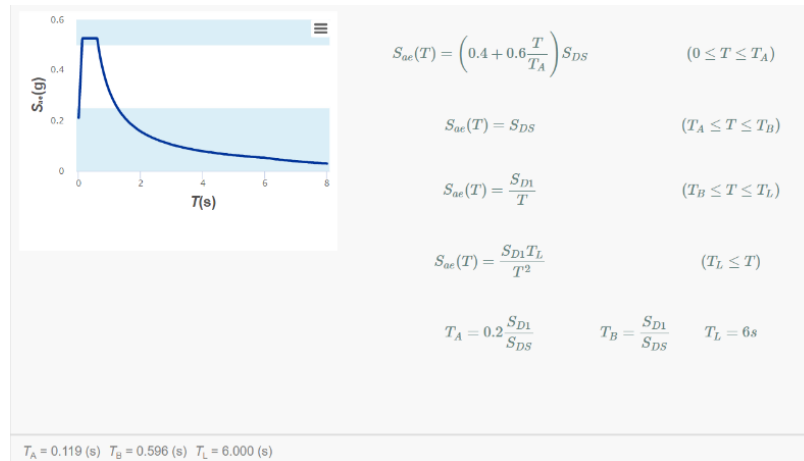
$$S_{DS} = S_S F_S = 0.344 \times 1.525 = 0.525$$

$$S_{D1} = S_1 F_1 = 0.134 \times 2.332 = 0.312$$

S_{DS} : Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

S_{D1} : 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

Şekil 8. 11. AFAD'dan alınan tasarım spektral ivme katsayısı değerleri



Şekil 8. 12. AFAD'dan alınan yatay elastik tasarım spektrumu

TBDY 2018'e göre ve tdth.afad.gov.tr adresinden alınan veriler Çizelge 8.4'te verilmiştir. Sinop Tarihi Kalesi ile ilgili yapılan daha önceki çalışmalarda yerel zemin sınıfı ZD olarak alındığı için bu çalışmada da kalenin bulunduğu konumdaki zemin sınıfı ZD olarak alınmıştır. Bu çalışmalardan dikkate alınan öncelikli çalışma "Büyük Kütleli Tarihi Yapıların Çevresel Etkiler Altında Yapısal Dengesinin Analitik Yöntemlerle İncelenmesi; Sinop Kalesi Örneği" adlı doktora tez çalışmasında Sinop Kalesi'nin kuzey surlarının modellenmesi yapılırken yerel zemin sınıfı ZD olarak alınmıştır.

Çizelge 8. 4. TBDY 2018'e göre alınan değerler

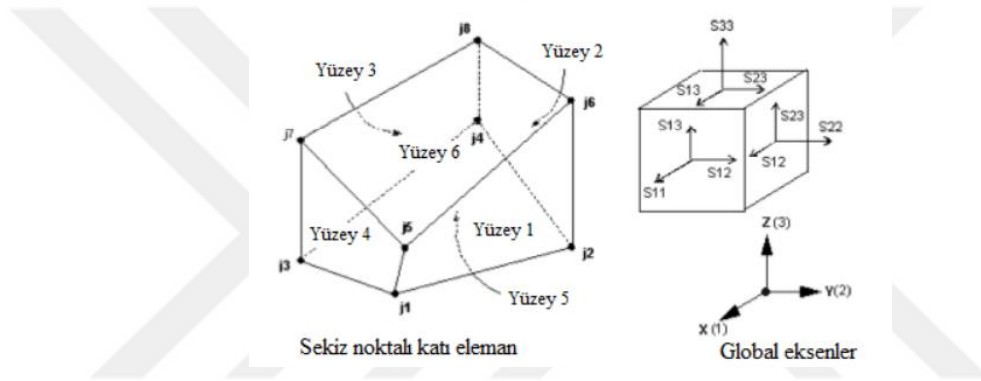
| Özellikler | TBDY 2018 |
|--|----------------------|
| Taşıyıcı Sistem Türü | Donatısız yığma yapı |
| Deprem Yer Hareketi Düzeyi | DD2 |
| Yerel Zemin Sınıfı | ZD |
| Kısa Periyot Harita Spektral İvme Katsayısı (S_s) | 0,344 |
| 1.0 Saniye Periyot İçin Harita Spektral İvme Katsayısı (S_1) | 0,134 |
| Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı (S_{DS}) | 0,525 |
| 1.0 Saniye Periyot İçin Tasarım Spektral İvme Katsayısı (S_{D1}) | 0,312 |
| Yatay Elastik Tasarım Spektrumunda Sabit Yer Değiştirme Bölgesine Geçiş Periyodu (T_L) | 6 |
| 1.0 Saniye Periyot İçin Yerel Zemin Etki Katsayısı (F_1) | 2,332 |
| Kısa Periyot Bölgesi İçin Yerel Zemin Etki Katsayısı (F_s) | 1,525 |
| Spektrum Köşe Periyodu (T_B) | 0,596 |
| Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R) | 2,5 |
| Dayanım Fazlalığı Katsayısı (D) | 1,5 |
| Bina Önem Katsayısı (I) | 1,2 |
| Deprem Tasarım Sınıfı (DTS) | 2 |
| Bina Kullanım Sınıfı (BKS) | 2 |

8.2.2. İşaret uyumu ve yön kabulleri

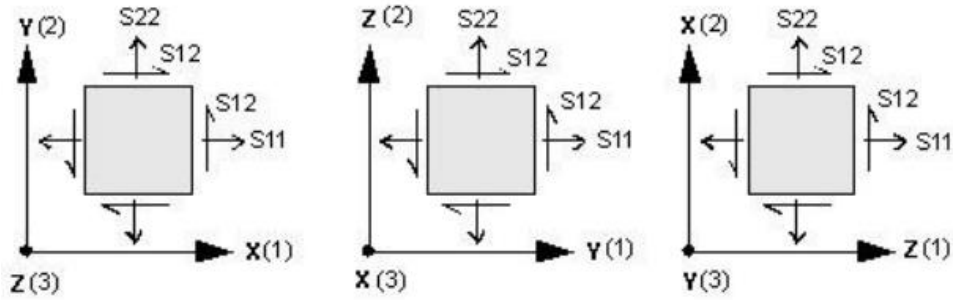
SOLID eleman her türlü yapısal elemanların modellenmesinde kullanılabilir. SOLID elemanın avantajı, model üzerinde herhangi bir kabul ve basitleştirme yapmadan geometri, rijitlik ve sınır şartlarını tam olarak modelleyebilmesidir. SOLID elemanda 8

düğüm noktası bulunmasından dolayı elemanın her doğrultudaki kesit alanı, hacmi vb. özellikleri bellidir. SOLID elemanlara yükleme yaparken düğümlere yükler verilebileceği gibi 6 adet yüzeye sahip olan SOLID elemanların yüzeylerine de yüzey basıncı olarak yüklenebilir. Yapılan yüklemeler sonucunda 6 adet gerilme ve bunlara karşılık oluşan 6 adet yer değiştirme mevcuttur. Düğümlerde oluşan kuvvet ve gerilmeler analiz sonucu olarak alınabilir (Arıkan, 2006).

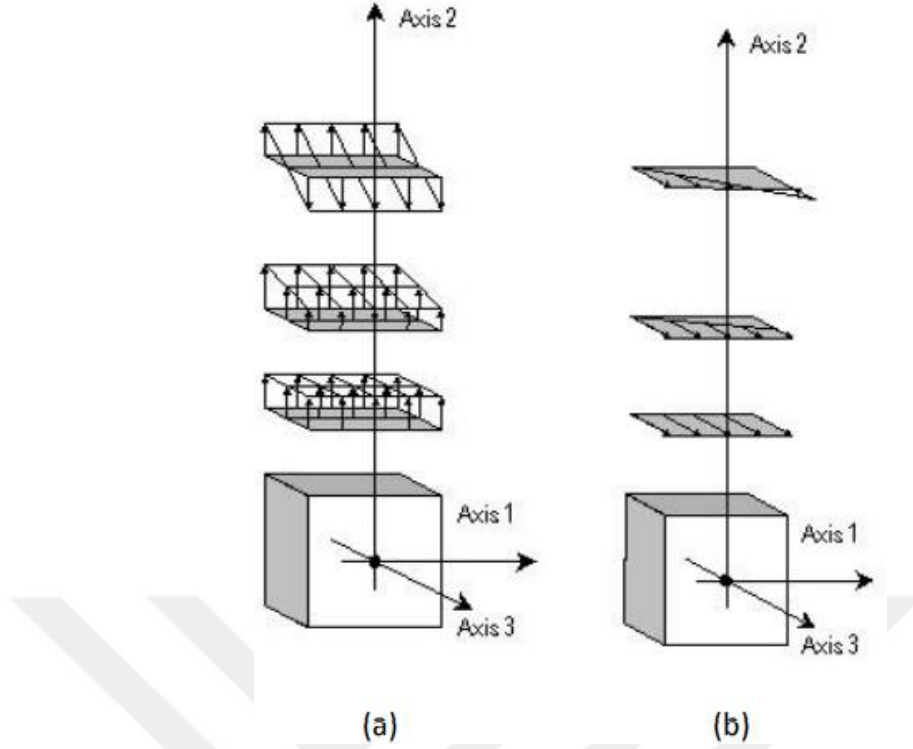
Yapının sonlu eleman modelinde kullanılan SOLID elemanların gerilmelerine ait yön kabulleri ve işaret uyumu ile gerilme isimleri aşağıda Şekil 8.13, Şekil 8.14 ve Şekil 8.15'te gösterilmiştir. Bu işaret uyumu SAP 2000 programındaki kabullerden alınmıştır.



Şekil 8.13. Katı (SOLID) eleman işaret ve yönleri



Şekil 8.14. Global koordinatlar ve gerilmeler



Şekil 8. 15. a) S22 düşey gerilmesi b) S21 kayma gerilmesi

S11: (x) yönünde düşey gerilme

S22: (y) yönünde düşey gerilme

S33: (z) yönünde düşey gerilme

S12= S21: (x-y) düzleminde kayma gerilmesi

S13, S23: Düzlem dışı kesme gerilmesi

$$S_{Vmax} = \sqrt{S_{13}^2 + S_{23}^2}$$

8.2.3. Yapının SAP2000 programına tanıtılması

Sinop Tarihi Kale'sinin bilgisayar ortamında sonlu elemanlar yöntemiyle modellenmesinde SAP2000 V20 programı kullanılmıştır. Modellemeye dair bilgiler aşağıda anlatılmıştır.

Yapıda kullanılan taş duvar malzemesine ait değerler programa girilmiştir (Şekil 8.16).

Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: TAŞ1

Material Type: Other

Material Notes: Modify/Show Notes...

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 20,

Mass per Unit Volume: 2,0394

Units

KN, m, C

Isotropic Property Data

Modulus of Elasticity, E: 1000000,

Poisson, U: 0,2

Coefficient of Thermal Expansion, A: 1,170E-05

Shear Modulus, G: 416666,7

Şekil 8. 16. Yapıda kullanılan taş malzemesine ait özellikler

Deprem parametreleri programda Function > Response Spectrum bölümüne girilmiştir (Şekil 8.17) EX ve EY deprem yükleri tanımlanmıştır (Şekil 8.18 ve Şekil 8.19).

Response Spectrum IBC 2006 Function Definition

Function Name: ZD-DD2

Function Damping Ratio: 0,05

Parameters

Ss and S1 from USGS - by Lat./Long.

Ss and S1 from USGS - by Zip Code

Ss and S1 User Specified

Site Latitude (degrees): ?

Site Longitude (degrees): ?

Site Zip Code (5-Digits): ?

0.2 Sec Spectral Accel, Ss: 0,344

1 Sec Spectral Accel, S1: 0,134

Long-Period Transition Period: 6,

Site Class: F

Site Coefficient, Fa: 2,2875

Site Coefficient, Fv: 3,498

Calculated Values for Response Spectrum Curve

SDS = (2/3) * Fa * Ss: 0,5246

SD1 = (2/3) * Fv * S1: 0,3125

Define Function

| Period | Acceleration |
|--------|--------------|
| 0, | 0,2098 |
| 0,1191 | 0,5246 |
| 0,5957 | 0,5246 |
| 0,8 | 0,3906 |
| 1, | 0,3125 |
| 1,2 | 0,2604 |
| 1,4 | 0,2232 |
| 1,6 | 0,1953 |

Function Graph

Display Graph: (5,0136 , 0,0623)

OK Cancel

Şekil 8. 17. Yapıyla ilgili deprem parametrelerinin programa girilmesi (TBDY 2018 için)

Load Case Data - Response Spectrum

Load Case Name: EX

Notes: Modify/Show...

Load Case Type: Response Spectrum

Modal Combination:

- CQC
- SRSS
- Absolute
- GMC
- NRC 10 Percent
- Double Sum

GMC f1: 1, GMC f2: 0, Periodic + Rigid Type: SRSS

Modal Load Case:

Use Modes from this Modal Load Case: MODAL

- Standard - Acceleration Loading
- Advanced - Displacement Inertia Loading

Directional Combination:

- SRSS
- CQC3
- Absolute

Scale Factor: []

Mass Source: Previous (MSSSRC1)

Diaphragm Eccentricity:

Eccentricity Ratio: 0, Override Eccentricities: Override...

Loads Applied:

| Load Type | Load Name | Function | Scale Factor |
|-----------|-----------|----------|--------------|
| Accel | U1 | ZD-DD2 | 9,81 |
| Accel | U1 | ZD-DD2 | 9,81 |

Buttons: Add, Modify, Delete

Other Parameters:

Modal Damping: Constant at 0,05, Modify/Show...

Buttons: OK, Cancel

Şekil 8. 18. Yapıda tanımlı EX response spectrum (TBDY 2018 için)

Load Case Data - Response Spectrum

Load Case Name: EY

Notes: Modify/Show...

Load Case Type: Response Spectrum

Modal Combination:

- CQC
- SRSS
- Absolute
- GMC
- NRC 10 Percent
- Double Sum

GMC f1: 1, GMC f2: 0, Periodic + Rigid Type: SRSS

Modal Load Case:

Use Modes from this Modal Load Case: MODAL

- Standard - Acceleration Loading
- Advanced - Displacement Inertia Loading

Directional Combination:

- SRSS
- CQC3
- Absolute

Scale Factor: []

Mass Source: Previous (MSSSRC1)

Diaphragm Eccentricity:

Eccentricity Ratio: 0, Override Eccentricities: Override...

Loads Applied:

| Load Type | Load Name | Function | Scale Factor |
|-----------|-----------|----------|--------------|
| Accel | U2 | ZD-DD2 | 9,81 |
| Accel | U2 | ZD-DD2 | 9,81 |

Buttons: Add, Modify, Delete

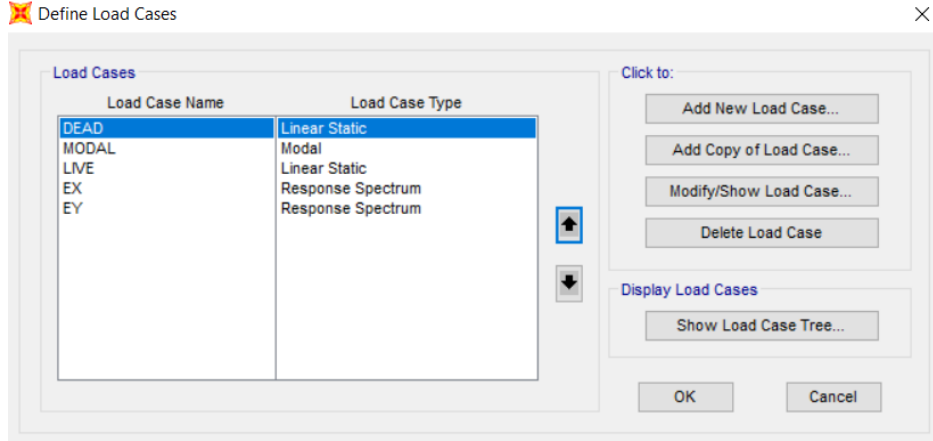
Other Parameters:

Modal Damping: Constant at 0,05, Modify/Show...

Buttons: OK, Cancel

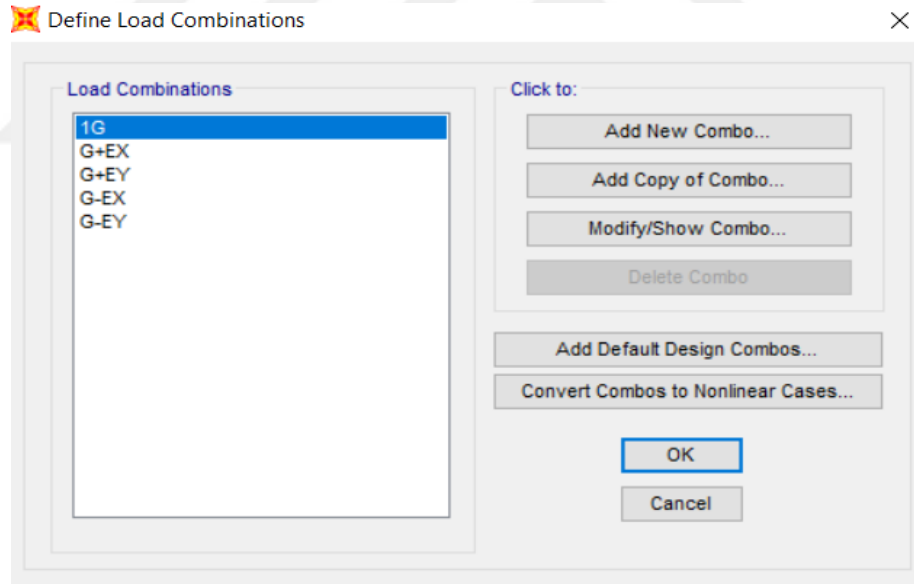
Şekil 8. 19. Yapıda tanımlı EY response spectrum (TBDY 2018 için)

Yapıya ait yük tanımlamaları programa girilmiştir (Şekil 8.20).



Şekil 8. 20. Yük tanımlamalarının girilmesi

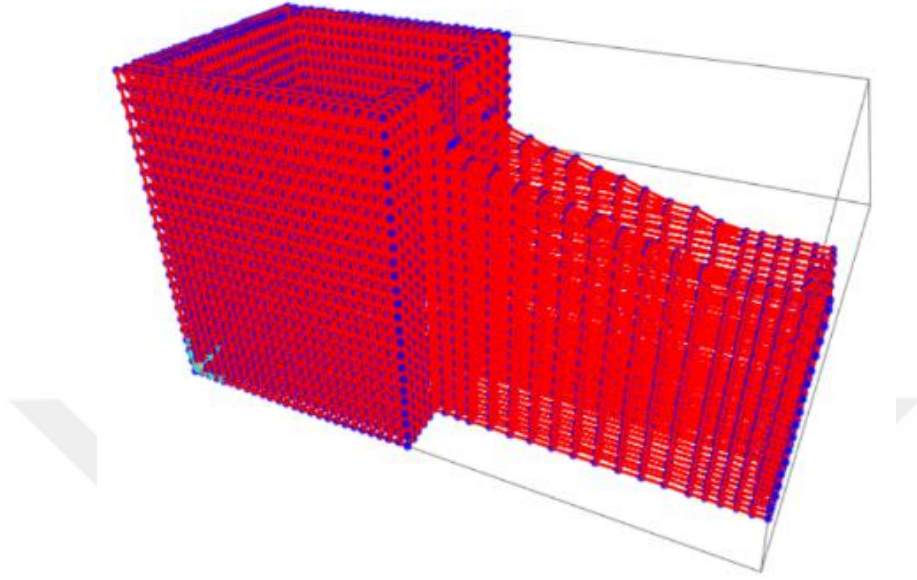
Yapıda G, G+EX, G+EY, G-EX, G-EY şeklinde beş adet yük kombinasyonları programa girilmiştir (Şekil 8.21).



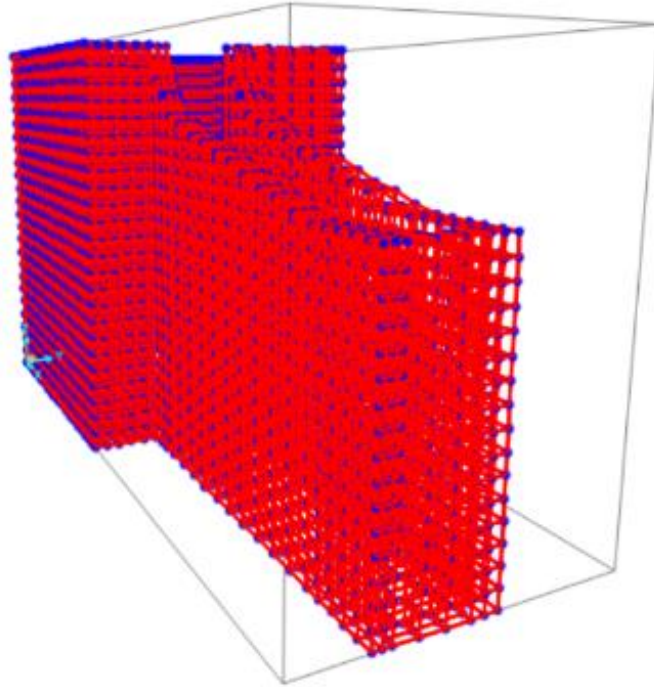
Şekil 8. 21. Yapıya etkiye yük kombinasyonlarının girilmesi (TBDY 2018 için)

Elde edilen analiz sonuçlarının, her bir düğüm noktasında ve her bir elemanda elde edilen ötelenme, kuvvetler ve gerilmelerin tek tek incelenerek yorumlanması oldukça zordur. Bu yüzden elde edilen sonuçların yorumu, renkli gerilme dağılımları ve grafikler kullanılarak en elverişsiz değerler dikkate alınarak yapılmıştır. Yapının

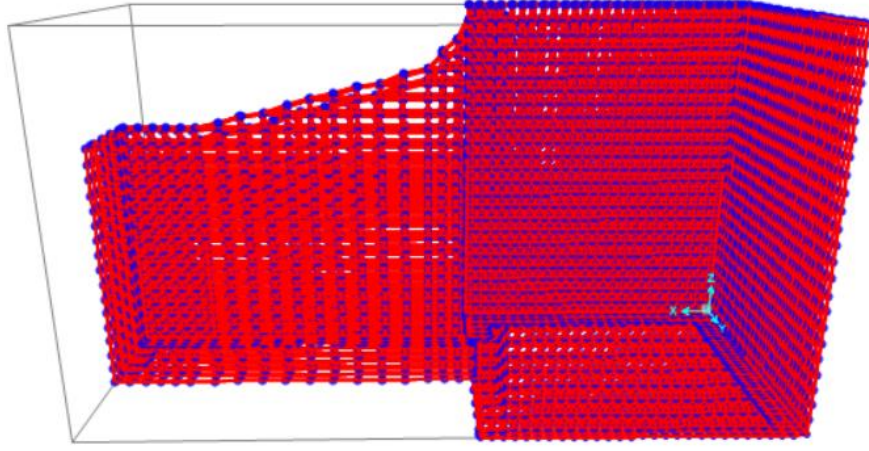
SAP2000 V20'deki 3 boyutlu modeli Şekil 8.22, Şekil 8.23, Şekil 8.24 ve Şekil 8.25'te gösterilmiştir.



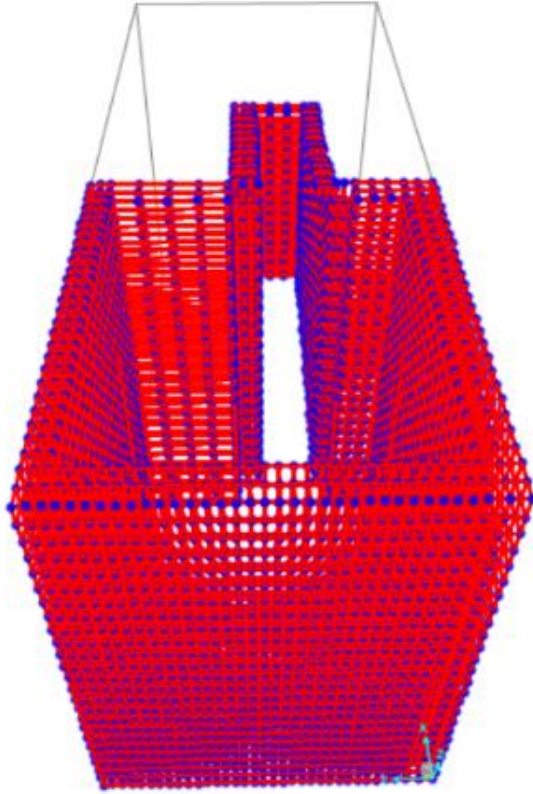
Şekil 8. 22. Tarihi Sinop Kalesi'nin üç boyutlu modellemesinin doğu cephesinden görünümü



Şekil 8. 23. Tarihi Sinop Kalesi'nin üç boyutlu modellemesinin önden görünümü



Şekil 8. 24. Tarihi Sinop Kalesi'nin üç boyutlu modellemesinin batı cephesinden görünümü



Şekil 8. 25. Tarihi Sinop Kalesi'nin üç boyutlu modellemesinin güney cephesinden görünümü

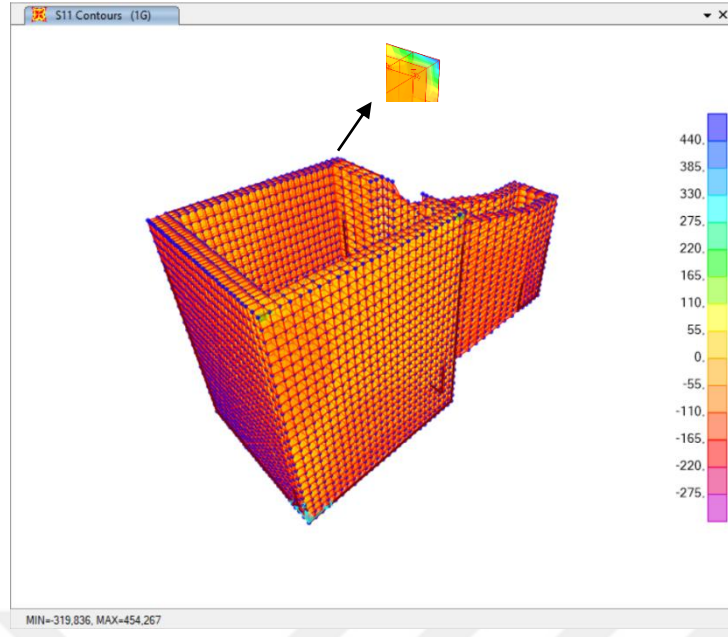
8.2.3.1 Ölü yükler altında yapının analizi

Yapının toplam ağırlığı $G= 71759 \text{ kN}$ ' dur.

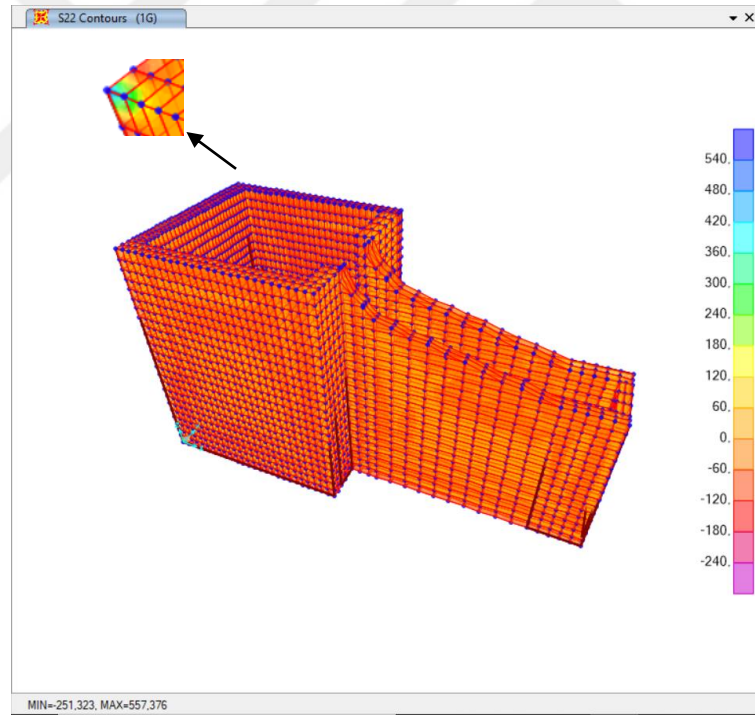
Sinop Tarihi Kalesi'nin üç boyutlu sonlu eleman modelinin kendi ağırlığı altında yapılan statik analizi sonucunda yapıda oluşan gerilme dağılımlarına, şekil değiştirmelere ulaşılmış olup çatlak oluşabilecek yerler tespit edilmiştir.

Yapının statik analizi sonucu ölü yükler altında X ekseninde (S11) meydana gelen maksimum basınç gerilmesinin $319,86 \times 10^{-3} \text{ MPa}$, çekme gerilmesinin $454,267 \times 10^{-3} \text{ MPa}$ olduğu hesaplanmıştır. Meydana gelen en büyük gerilmenin burcun üst köşe noktalarında meydana geldiği görülmektedir. (Şekil 8.26). Y ekseninde (S22)'de meydana gelen maksimum basınç gerilmesi $251,323 \times 10^{-3} \text{ MPa}$, çekme gerilmesi $557,376 \times 10^{-3} \text{ MPa}$ 'dır ve meydana gelen en büyük gerilmenin burcun üst köşe noktalarındadır (Şekil 8.27). Z ekseninde (S33)'de maksimum basınç gerilmesi $729,495 \times 10^{-3} \text{ MPa}$ iken çekme gerilmesi $78,675 \times 10^{-3}$ olarak hesaplanmıştır ve meydana gelen en büyük gerilmenin burcun alt köşe noktalarındadır (Şekil 8.28).

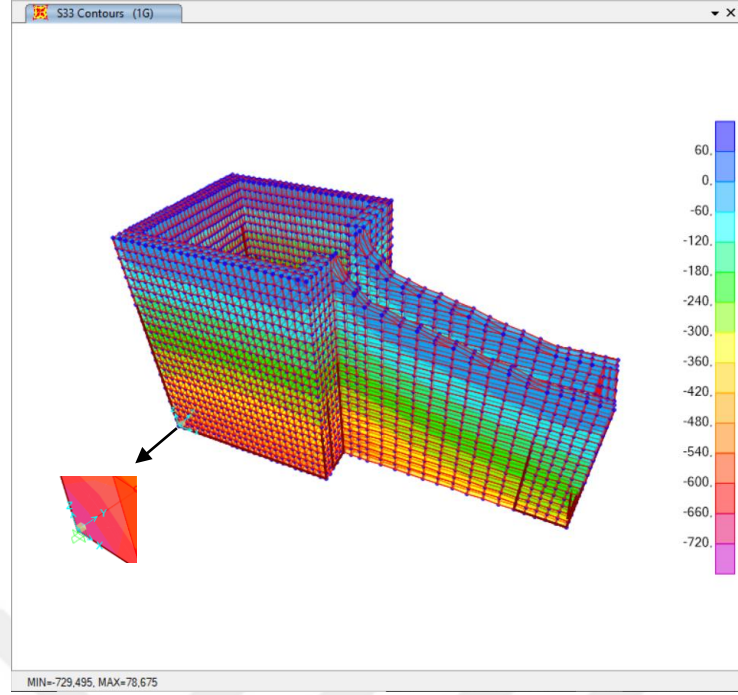
Analiz sonucuna göre maksimum basınç gerilmeleri dağılımına bakıldığında en büyük gerilmelerin ana burcun köşe alt noktalarında meydana geldiği görülürken sur duvarlarında meydana gelen gerilme değerleri oldukça düşüktür. Z eksenindeki en büyük gerilme değeri (S33) grafiğinden $729,495 \times 10^{-3} \text{ MPa}$ olarak bulunmuştur. Maksimum çekme gerilme dağılımlarına bakıldığında en büyük gerilmelerin ana burcun güney-batı cephesine bakan köşesinde meydana geldiği görülmektedir. Y ekseninde en büyük gerilme değeri (S22) grafiğinden $557,376 \times 10^{-3} \text{ MPa}$ 'dır. Basınç gerilmeleri emniyet gerilmelerinin altında çıkarken çekme gerilmesi sınır gerilme değerini aştığı görülmektedir.



Şekil 8. 26. G yüklemesi S11 grafiği (X doğrultusu)

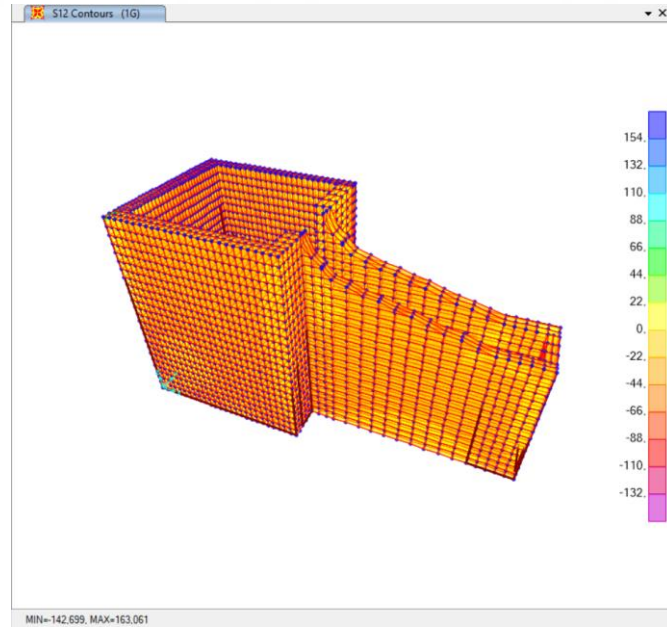


Şekil 8. 27. G yüklemesi S22 grafiği (Y doğrultusu)



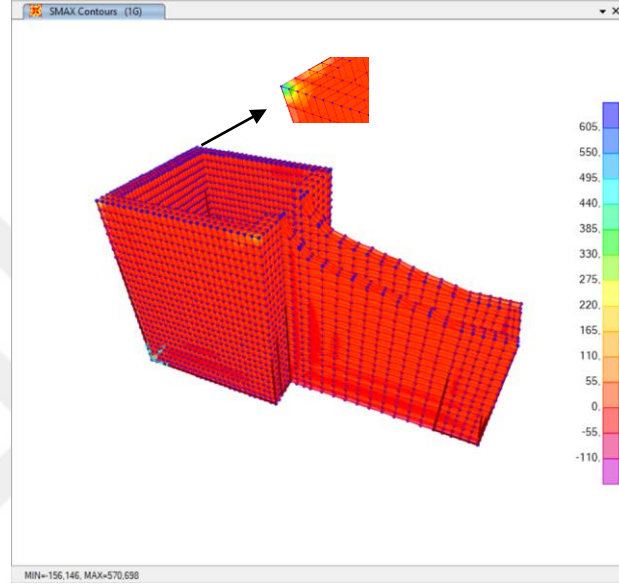
Şekil 8. 28. G yüklemesi S33 grafiği (Z doğrultusu)

Yapının statik analizi sonucu X-Y düzleminde meydana gelen (S12) kayma gerilmesinin maksimum değeri $163,061 \times 10^{-3}$ MPa'dır. (Şekil 8.29).

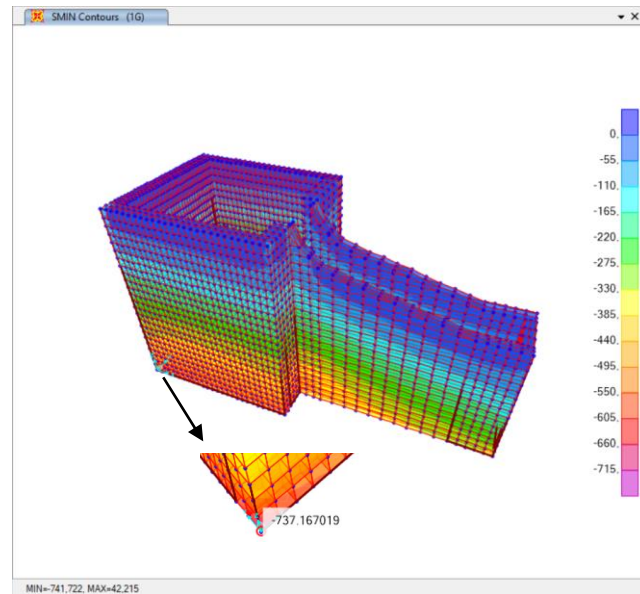


Şekil 8. 29. G yüklemesi S12 grafiği (X-Y düzlemi)

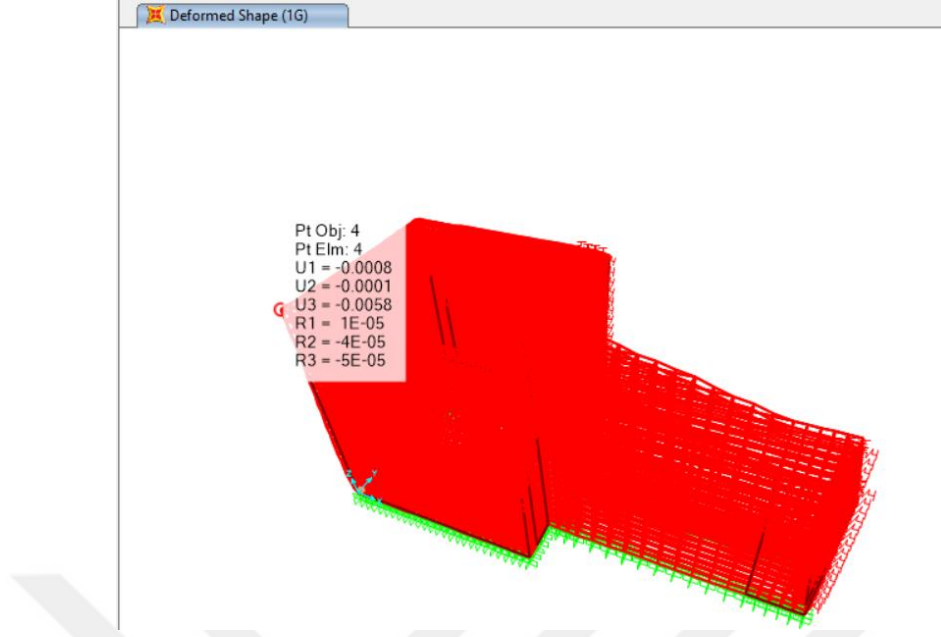
Smax çekme kuvvetlerinin neden olduğu bileşke gerilmeleri, Smin basınç kuvvetinin neden olduğu bileşke gerilmelerini tanımlamaktadır. Yapının ölü yükler altında meydana gelen maksimum asal çekme gerilmesi Smax $570,698 \times 10^{-3}$ MPa olup güney- batıya bakan bölümünde ana burcun en üst köşesinde meydana gelmiştir (Şekil 8.30). Minimum asal basınç gerilmesi Smin $741,722 \times 10^{-3}$ MPa güney-doğuya bakan bölümünde ana burcun en alt köşesinde meydana gelmiştir (Şekil 8.31). Çekme gerilmeleri emniyet gerilme sınırını aşarken, basınç gerilmelerinin aşmadığı görülmüştür.



Şekil 8. 30. G yüklemesi altında meydana gelen maksimum asal gerilme dağılımı



Şekil 8. 31. G yüklemesi altında meydana gelen minimum asal gerilme dağılımı



Şekil 8. 32. G yüklemesi altında oluşan maksimum yer değiştirme (m)

G yükü altında yapıdaki en büyük yer değiştirme düşey doğrultuda 5,8 mm olmaktadır. Bu analizde $R=2,5$ değeri kullanıldığı için elastik yer değiştirme $5,8 \times 2,5 = 14,5$ mm olarak hesaplanır (Şekil 8.32).

8.2.3.2. Modal çözümleme

Deprem etkisi altında taşıyıcı sistemin modal davranışını esas alan Modal Hesap Yöntemleri, yönetmeliğin ilgili bölümünde verilen deprem spektrumu ile hesaba dayalı Mod Birleştirme Yöntemidir. Verilen bir deprem doğrultusunda deprem tasarım spektrumundan yararlanılarak dikkate alınan her bir titreşim modunda davranış büyüklüklerinin en büyük değerleri modal hesap yöntemi olan mod birleştirme yöntemi ile hesaplanır (Nemutlu, 2019).

TBDY 2018'e göre uygulanan mod birleştirme yöntemi için X ve Y deprem doğrultularında her bir mod için hesaplanan taban kesme kuvveti modal etkin kütlelerinin toplamının bina toplam kütlelerinin %95 'inden daha az olmaması kuralına göre belirlenecektir. Hesaba katılacak yeterli titreşim mod sayısını belirlemede bu değer göz önüne alınacaktır (TBDY, 2018).

Bu bölümde yapının serbest titreşim periyotlarını ve oluşan mod şekillerini belirlemek için, yapı sisteminin kütle ve rijitlik matrislerini kullanarak modal analiz

yapılmıştır. Modların süperpozisyonunu gerçekleştirmek için Kareleri Toplamının Karekökü (SRSS) yöntemi kullanılmıştır.

Tarihi Sinop Kalesi'nin modellenmesinde tanımlanan deprem yüklerinin etkilerini belirlemede mod birleştirme yöntemi kullanılmıştır. Kalenin düşey etki ile deprem etkileri sonucu elastik davranışına ulaşılacak istenmiştir. Periyotlarda deprem yükü azaltma katsayısı $R=2,5$ 'dur.

Yapının analiz sonucunda 50 tane mod şekli ve serbest titreşim periyodu elde edilmiştir. Tanımlanan 50 modun sonucunda kütle oranları toplamı, bina toplam kütlelerinin X yönünde %83'üne ve Y yönünde % 87'sine ulaşabilmiştir. Yapı simetrikliğe çok yakın olduğu için kütle katılım oranları hemen hemen aynı değeri vermiştir. Ana kütlelerin X doğrultusunda yanal yer değiştirme hareketini gösteren 10. modun kütle katılım oranı %13,1, Y doğrultusunda yanal yer değiştirme hareketini gösteren 1. modun kütle katılım oranı ise % 21 ve Z doğrultusunda 38. modun kütle katılım oranı %21,1 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 8.5).

Çizelge 8. 5. TBDY 2018'e göre ilk 50 modun serbest titreşim periyotları ve kütle katılım oranları

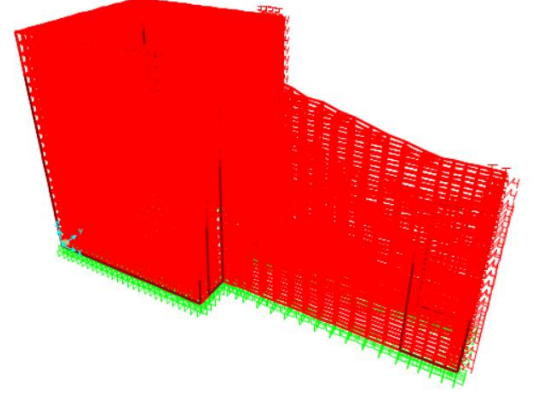
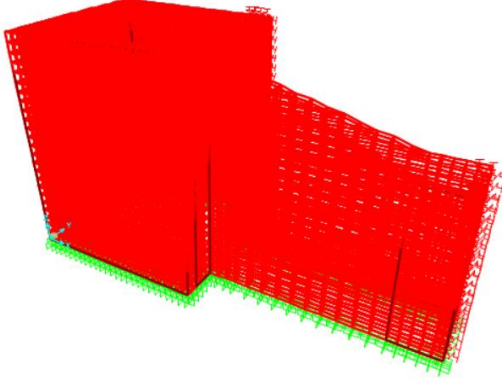
| TABLE: Modal Participating Mass Ratios | | | | | | | | | |
|--|----------|----------|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| OutputCase | StepType | StepNum | Period | UX | UY | UZ | SumUX | SumUY | SumUZ |
| Text | Text | Unitless | Sec | Unitless | Unitless | Unitless | Unitless | Unitless | Unitless |
| MODAL | Mode | 1 | 1,083 | 0,006 | 0,208 | 0,000 | 0,006 | 0,208 | 0,000 |
| MODAL | Mode | 2 | 0,858 | 0,015 | 0,009 | 0,000 | 0,021 | 0,217 | 0,000 |
| MODAL | Mode | 3 | 0,770 | 0,004 | 0,195 | 0,000 | 0,025 | 0,412 | 0,000 |
| MODAL | Mode | 4 | 0,615 | 0,040 | 0,015 | 0,000 | 0,065 | 0,426 | 0,000 |
| MODAL | Mode | 5 | 0,486 | 0,011 | 0,043 | 0,000 | 0,075 | 0,469 | 0,000 |
| MODAL | Mode | 6 | 0,459 | 0,040 | 0,121 | 0,000 | 0,115 | 0,591 | 0,000 |
| MODAL | Mode | 7 | 0,395 | 0,006 | 0,030 | 0,000 | 0,121 | 0,621 | 0,000 |
| MODAL | Mode | 8 | 0,365 | 0,080 | 0,019 | 0,000 | 0,201 | 0,640 | 0,000 |
| MODAL | Mode | 9 | 0,340 | 0,014 | 0,024 | 0,000 | 0,215 | 0,664 | 0,000 |
| MODAL | Mode | 10 | 0,336 | 0,131 | 0,004 | 0,000 | 0,345 | 0,668 | 0,000 |
| MODAL | Mode | 11 | 0,325 | 0,009 | 0,021 | 0,000 | 0,355 | 0,688 | 0,000 |
| MODAL | Mode | 12 | 0,304 | 0,014 | 0,012 | 0,000 | 0,369 | 0,700 | 0,000 |
| MODAL | Mode | 13 | 0,278 | 0,006 | 0,005 | 0,000 | 0,376 | 0,706 | 0,000 |
| MODAL | Mode | 14 | 0,269 | 0,035 | 0,000 | 0,000 | 0,411 | 0,706 | 0,000 |
| MODAL | Mode | 15 | 0,260 | 0,037 | 0,029 | 0,000 | 0,448 | 0,735 | 0,000 |
| MODAL | Mode | 16 | 0,240 | 0,004 | 0,006 | 0,000 | 0,452 | 0,741 | 0,001 |
| MODAL | Mode | 17 | 0,231 | 0,002 | 0,009 | 0,000 | 0,454 | 0,750 | 0,001 |
| MODAL | Mode | 18 | 0,222 | 0,053 | 0,025 | 0,001 | 0,507 | 0,775 | 0,001 |
| MODAL | Mode | 19 | 0,210 | 0,089 | 0,000 | 0,001 | 0,596 | 0,775 | 0,003 |
| MODAL | Mode | 20 | 0,207 | 0,004 | 0,005 | 0,000 | 0,600 | 0,780 | 0,003 |
| MODAL | Mode | 21 | 0,204 | 0,033 | 0,004 | 0,000 | 0,632 | 0,783 | 0,003 |

| | | | | | | | | | |
|-------|------|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| MODAL | Mode | 22 | 0,198 | 0,000 | 0,004 | 0,000 | 0,633 | 0,787 | 0,003 |
| MODAL | Mode | 23 | 0,188 | 0,122 | 0,000 | 0,002 | 0,754 | 0,787 | 0,005 |
| MODAL | Mode | 24 | 0,181 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,754 | 0,787 | 0,005 |
| MODAL | Mode | 25 | 0,167 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,754 | 0,787 | 0,005 |
| MODAL | Mode | 26 | 0,164 | 0,010 | 0,000 | 0,000 | 0,764 | 0,787 | 0,005 |
| MODAL | Mode | 27 | 0,162 | 0,012 | 0,019 | 0,000 | 0,776 | 0,806 | 0,005 |
| MODAL | Mode | 28 | 0,157 | 0,001 | 0,001 | 0,002 | 0,777 | 0,807 | 0,007 |
| MODAL | Mode | 29 | 0,153 | 0,007 | 0,002 | 0,000 | 0,784 | 0,809 | 0,007 |
| MODAL | Mode | 30 | 0,150 | 0,001 | 0,013 | 0,000 | 0,784 | 0,822 | 0,007 |
| MODAL | Mode | 31 | 0,150 | 0,001 | 0,001 | 0,000 | 0,786 | 0,823 | 0,007 |
| MODAL | Mode | 32 | 0,149 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,786 | 0,823 | 0,008 |
| MODAL | Mode | 33 | 0,146 | 0,000 | 0,000 | 0,002 | 0,786 | 0,823 | 0,010 |
| MODAL | Mode | 34 | 0,142 | 0,002 | 0,003 | 0,012 | 0,788 | 0,826 | 0,022 |
| MODAL | Mode | 35 | 0,141 | 0,012 | 0,000 | 0,007 | 0,799 | 0,826 | 0,029 |
| MODAL | Mode | 36 | 0,139 | 0,002 | 0,000 | 0,055 | 0,801 | 0,826 | 0,083 |
| MODAL | Mode | 37 | 0,138 | 0,002 | 0,010 | 0,202 | 0,804 | 0,836 | 0,285 |
| MODAL | Mode | 38 | 0,135 | 0,009 | 0,004 | 0,211 | 0,813 | 0,840 | 0,496 |
| MODAL | Mode | 39 | 0,134 | 0,001 | 0,012 | 0,058 | 0,814 | 0,852 | 0,555 |
| MODAL | Mode | 40 | 0,130 | 0,001 | 0,004 | 0,000 | 0,815 | 0,856 | 0,555 |
| MODAL | Mode | 41 | 0,127 | 0,000 | 0,003 | 0,006 | 0,815 | 0,859 | 0,561 |
| MODAL | Mode | 42 | 0,124 | 0,003 | 0,000 | 0,000 | 0,818 | 0,859 | 0,561 |
| MODAL | Mode | 43 | 0,122 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,819 | 0,859 | 0,562 |
| MODAL | Mode | 44 | 0,122 | 0,006 | 0,000 | 0,001 | 0,825 | 0,859 | 0,563 |
| MODAL | Mode | 45 | 0,120 | 0,001 | 0,000 | 0,002 | 0,826 | 0,859 | 0,564 |
| MODAL | Mode | 46 | 0,118 | 0,000 | 0,000 | 0,024 | 0,826 | 0,859 | 0,588 |
| MODAL | Mode | 47 | 0,118 | 0,000 | 0,003 | 0,026 | 0,826 | 0,862 | 0,614 |
| MODAL | Mode | 48 | 0,117 | 0,000 | 0,002 | 0,008 | 0,826 | 0,864 | 0,622 |
| MODAL | Mode | 49 | 0,114 | 0,002 | 0,001 | 0,022 | 0,829 | 0,865 | 0,643 |
| MODAL | Mode | 50 | 0,112 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,829 | 0,866 | 0,643 |

Yapıya ait ilk 10 modun deformasyon grafikleri Şekil 8.33'te verilmiştir.

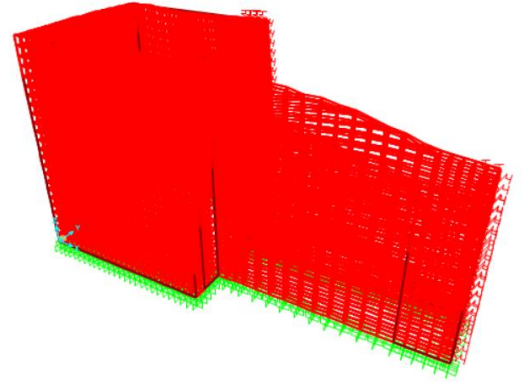
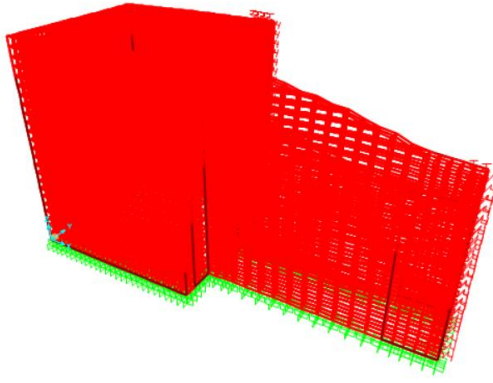
Deformed Shape (MODAL) - Mode 1; T = 1,08314; f = 0,92324

Deformed Shape (MODAL) - Mode 2; T = 0,85792; f = 1,16561



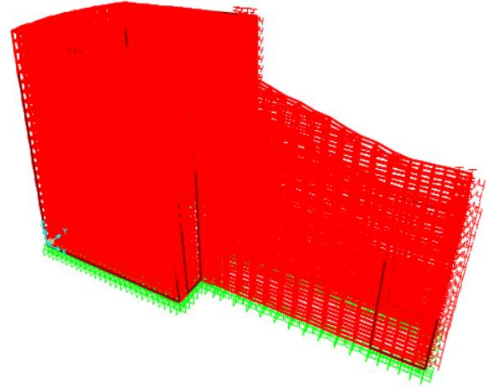
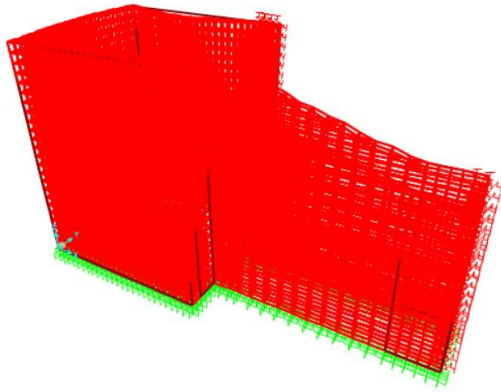
Deformed Shape (MODAL) - Mode 3; T = 0,7702; f = 1,29837

Deformed Shape (MODAL) - Mode 4; T = 0,61476; f = 1,62664



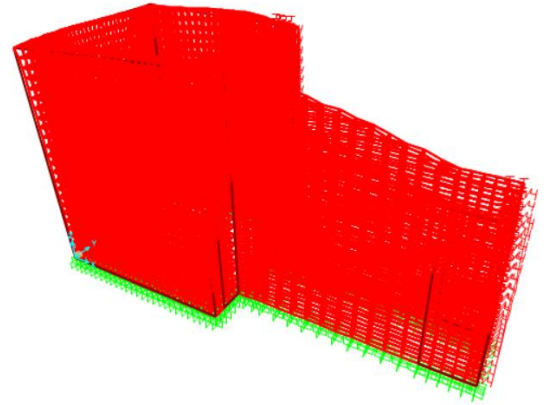
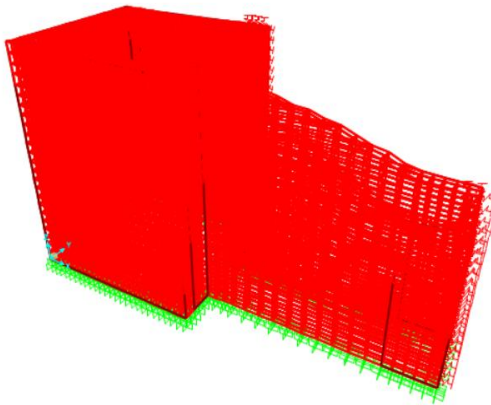
Deformed Shape (MODAL) - Mode 5; T = 0,48634; f = 2,05617

Deformed Shape (MODAL) - Mode 6; T = 0,45925; f = 2,17749



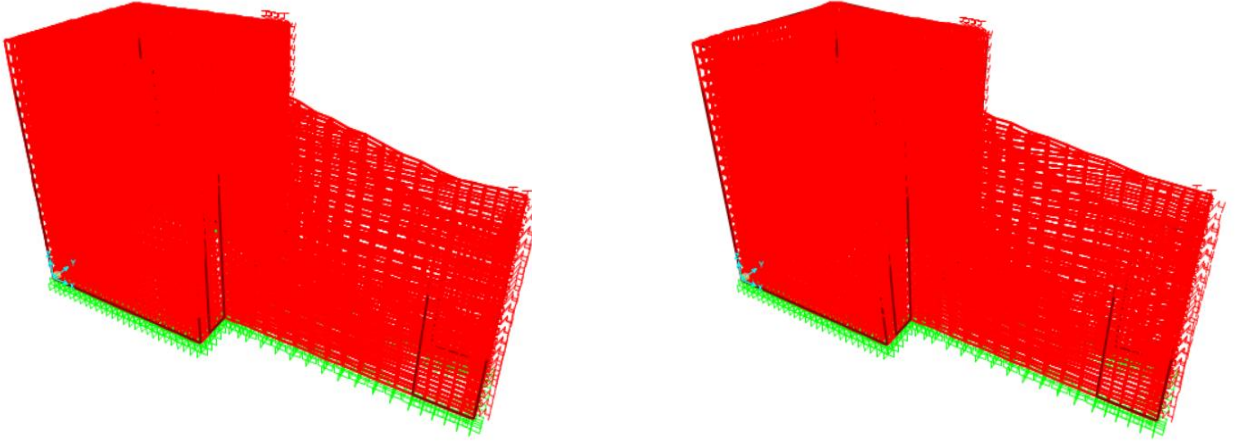
Deformed Shape (MODAL) - Mode 7; T = 0,39508; f = 2,53116

Deformed Shape (MODAL) - Mode 8; T = 0,36503; f = 2,73949



Deformed Shape (MODAL) - Mode 9; T = 0,34009; f = 2,94041

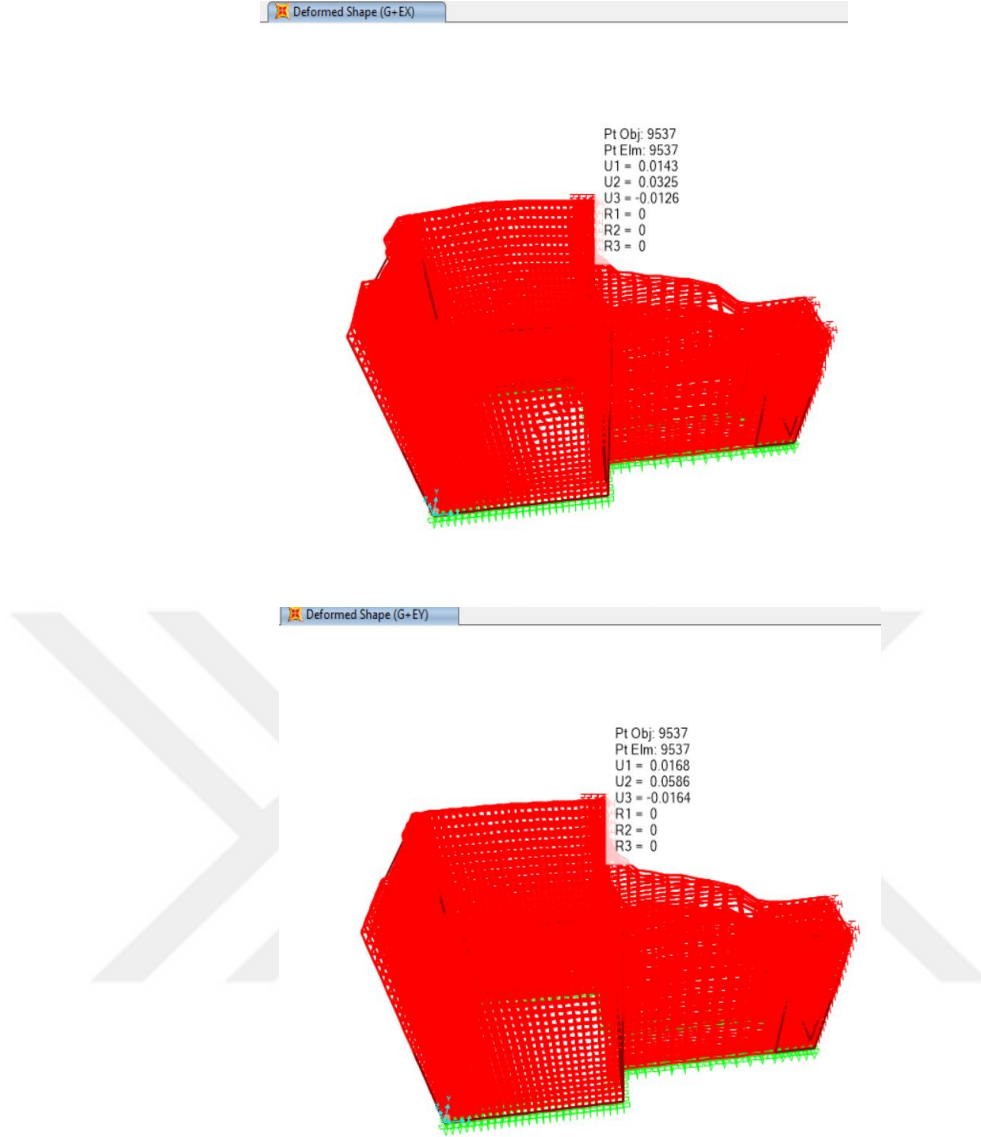
Deformed Shape (MODAL) - Mode 10; T = 0,33627; f = 2,97377



Şekil 8. 33. Sinop Tarihi Kalesi'nin ilk 10 moda ait deformasyon hareketleri

8.2.3.3. G+EX ve G+EY deprem yüklemeleri

Ölü yükler ile X ve Y doğrultusunda etki eden deprem yüklerinin kombinasyonlarının modal yapısal analiz sonucunda yapıda meydana gelen şekil değiştirmeler Şekil 8.34 'te verilmiştir.



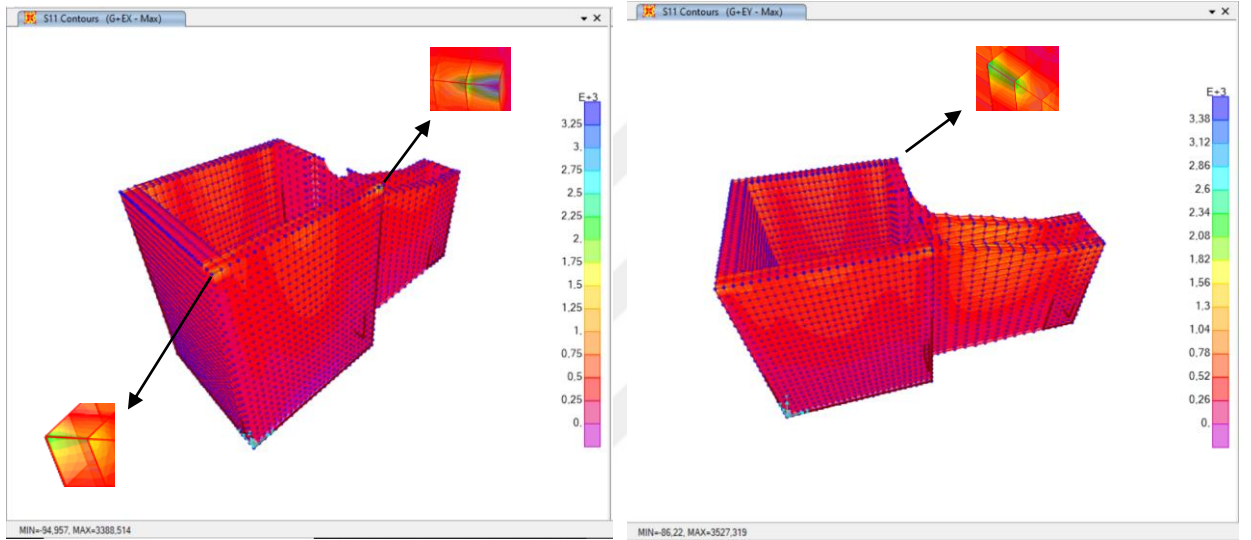
Şekil 8. 34. Sinop Kalesi'nin G+EX ve G+EY deprem yükleri altındaki yer değiştirmeleri (m)

G+EX deprem yüklemesi X yönünde 14,13 mm ve Z yönünde 12,6 mm yanıl öteleme meydana getirmektedir. G+EY deprem yüklemesi Y yönünde 58,6 mm ve Z yönünde 16,4 mm ötelenme meydana getirmektedir. Yapılan analizler sonucunda en fazla yer değiştirmenin, yapının en çok zorlanan bölümleri olan burçların köşe üst noktalarında meydana geldiği tespit edilmiştir.

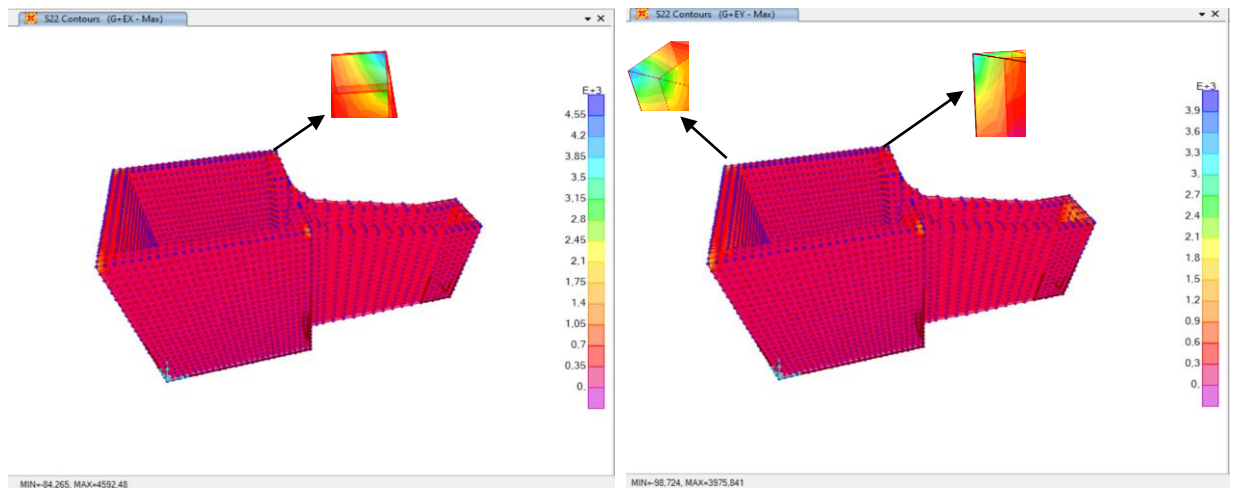
G+EX deprem yükleme durumunda yapıdaki (S11) ve (S22) gerilmelerinin elverişsiz olan yerlerinin burcun üst köşe noktaları olduğu görülmektedir. Oluşan en büyük basınç gerilmesi $94,957 \times 10^{-3}$ MPa, en büyük çekme gerilmesi $4592,48 \times 10^{-3}$ MPa olarak hesaplanmıştır. Bu değer basınç emniyet gerilmesi 2,4 MPa'ın altındayken, oluşan

çekme gerilmesi çekme emniyet gerilmesi 0,15 MPa'ı aştığı görülmekte ve güçlendirme gerekmektedir (Şekil 8.35).

G+EY deprem yükleme durumunda yapıdaki (S11) ve (S22) gerilmelerinde oluşan en büyük basınç gerilmesi $98,724 \times 10^{-3}$ MPa, en büyük çekme gerilmesi $3975,841 \times 10^{-3}$ MPa olarak hesaplanmıştır. Bu değer basınç emniyet gerilmesi 2,4 MPa'ın altındayken, oluşan çekme gerilmesi çekme emniyet gerilmesi 0,15 MPa'ı aştığı görülmektedir (Şekil 8.36).



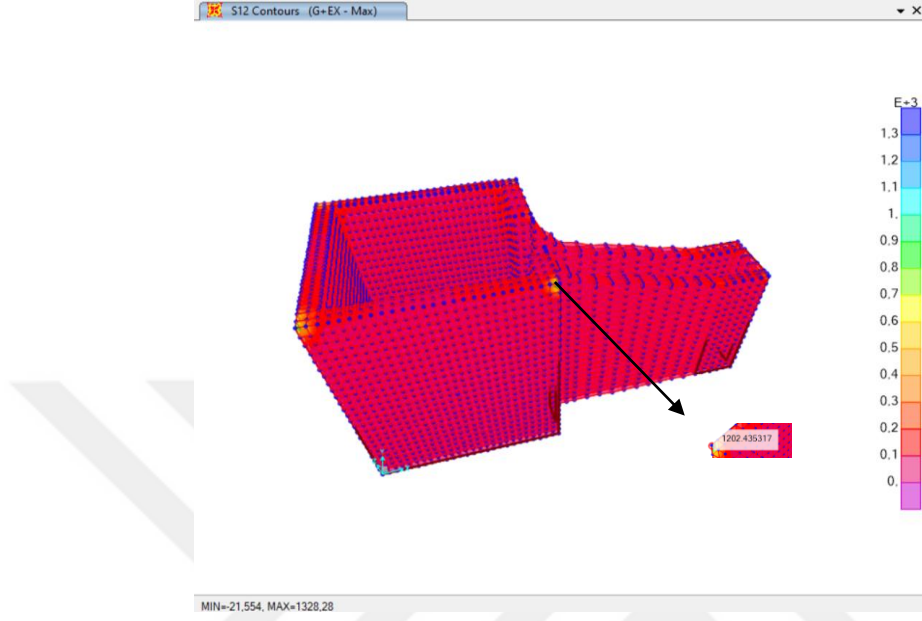
Şekil 8. 35. Sinop Kalesi'nin G+EX ve G+EY deprem yükleri altındaki S11 gerilmesi (kN/m^2)



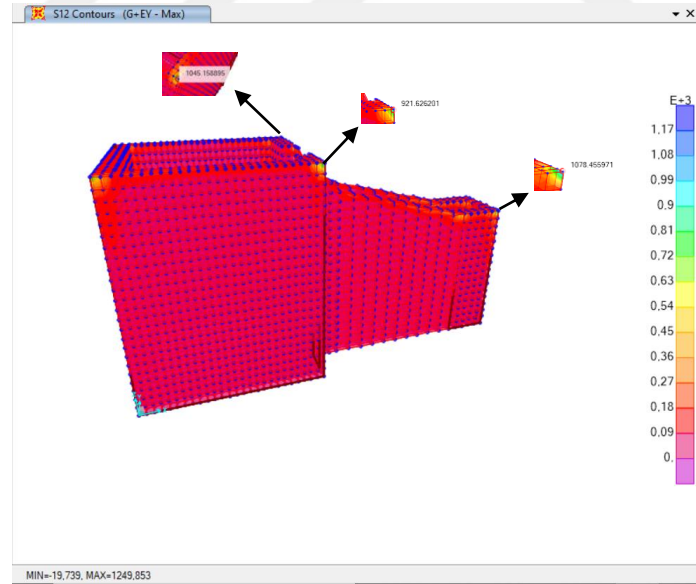
Şekil 8. 36. Sinop Kalesi'nin G+EX ve G+EY deprem yükleri altındaki S22 gerilmesi (kN/m^2)

Hesaplanan maksimum kayma gerilmesi $1328,28 \times 10^{-3}$ MPa 'dır. Bu değer emniyetli kayma gerilmesini aşmaktadır. G+EX deprem yüklemesi altında S12'de oluşan

gerilmelerde en çok zorlanan bölgeler burcun üst köşe noktalarıdır (Şekil 8.37). G+EY deprem yüklemesi altında (S12)'de oluşan kayma gerilmeleri sur duvarının üst köşe noktaları ve burcun üst köşe noktalarında oluşmuştur (Şekil 8.38).



Şekil 8. 37. Sinop Kalesi'nde G+EX deprem yükleri altındaki S12 gerilmesi (kN/m^2)



Şekil 8. 38. Sinop Kalesi'nde G+EY deprem yükleri altındaki S12 gerilmesi (kN/m^2)

9.SONUÇLAR

Bu çalışmada Sinop ilinde bulunan tarihi bir yapı olan Tarihi Sinop Kalesi'nin TBDY 2018'e göre analizi yapılmıştır. Sinop Kalesinin burç ve surları hassas bir şekilde tespit edilmiş olmasına rağmen onun tamamlayıcısı olan yan bilgilere ulaşılamamıştır. Bunun nedeni çalışmanın kapsamına giren tarihi yapıların tahribatlı numune alınmasına uygun olmaması ve izin prosedürlerinin sıkı olmasından kaynaklanmaktadır. Elde edilen analiz sonuçlarının değerlendirilmesinde mühendislik kriterlerine uygun bir şekilde tahminler yürütülmüştür. Yapının taşıyıcı sistemini oluşturan elemanların malzeme özellikleri literatür araştırması ve mevcut yönetmeliklerde önerilen değer doğrultusunda alınmıştır. Yapılan analizler sonucunda yapının kendi ağırlığının neden olduğu düşey yükler ve olası deprem yükleri altındaki davranışı sonucunda taşıyıcı elemanların gösterdikleri dayanıma ilişkin aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

- Bölgeye ait deprem verileri girilerek yapılan analizlerde en büyük ötelenme burcun üst köşe noktasında x yönünde 14,13 mm ve y yönünde 58,6 mm olarak bulunmuştur. Tarihi Sinop Kalesi'nin burçları ve surlarının oldukça rijit bir davranış sergilediği görülmektedir.
- Yapının analizi sonucunda elde edilen 50 tane modun sonucunda kütle katılım oranları toplamı, bina toplam kütlelerinin X yönünde % 83'üne ve Y yönünde % 87'sine ulaşabilmiştir. Yapının simetrikliğe çok yakın olmasından dolayı kütle katılım oranları birbirine çok yakın çıkmıştır. Bu sonuca göre yapıda 50 mod tanımlanmasına rağmen deprem yönetmeliğindeki kütle oranları toplamının bina toplam kütlelerine oranları için verilen %95'inden daha az olmaması kuralına ulaşamadığı görülmüştür. Bu da dinamik davranışın yeterli olmadığını göstermektedir. Ana kütlelerin X doğrultusunda yanal yer değiştirme hareketini gösteren 10.modun kütle katılım oranı %13,1 Y doğrultusunda yanal yer değiştirme hareketini gösteren 1. modun kütle katılım oranı ise % 21 ve Z doğrultusunda 38. moda karşılık gelen kütle katılım oranı % 21,1 olarak hesaplanmıştır.
- Yapının düşey yükler altındaki statik analizi sonucunda Y ekseninde oluşan en büyük çekme gerilmesinin (S22) grafiğindeki değeri $557,376 \times 10^{-3}$ MPa olup burcun güney- batı cephesine bakan kısmında en üst köşe noktasında meydana gelmiştir. Z eksenindeki en büyük basınç gerilmesinin ise (S33) grafiğinden

anlaşılacağı gibi $729,495 \times 10^{-3}$ MPa değeriyle meydana gelmiştir. Bu gerilme burcun güney- doğu cephesine bakan kısmında en alt köşe noktalarında yani duvar kesişim noktalarında oluşmuştur. Gerçekten de yapının bugün ki mevcut halinde gerilme yoğunluğunun fazla çıktığı bu bölgede kopmalar ve çeşitli hasarlar meydana geldiği gözle görülebilmektedir. Bu yüzden çevreye ve yapıya olası daha büyük bir zarar verebileceği endişesiyle restorasyon işlemlerine başlanılmıştır.

- Yapının ölü yükler altında oluşan maksimum asal çekme gerilmesi S_{max} $570,698 \times 10^{-3}$ MPa olup kalenin güney-batıya bakan bölümünde ana burcun en üst köşe noktasında meydana gelmiştir. Minimum basınç asal gerilme S_{min} ise $741,722 \times 10^{-3}$ MPa değeriyle kalenin güney-doğuya bakan bölümünde ana burcun alt köşesinde meydana gelmiştir. Çekme gerilmeleri emniyet gerilme sınırını aşarken, basınç gerilmeleri emniyet gerilme sınırını aşmamıştır. Çekme gerilmeleri duvar köşelerinde, küçük bir alanda kabul edilebilir bir düzeyde meydana gelmiştir. Bunun nedeni kullanılan yapı elemanlarının yapısı gereği yatay yüklemelerde bu gerilmelerin oluşması kabul edilebilir düzeyde olmasıdır.
- TBDY 2018'e göre yapılan analizler sonucunda G+EX deprem yükleme durumunda yapıda (S11) ve (S22) gerilmelerinin elverişsiz olan yerlerinin burcun üst köşe noktaları olduğu görülmüştür. Oluşan en büyük basınç gerilmesi $94,957 \times 10^{-3}$ MPa, en büyük çekme gerilmesi $4592,48 \times 10^{-3}$ MPa olarak hesaplanmıştır. Bu değer basınç emniyet gerilmesi 2,4 MPa'ın altındayken, oluşan çekme gerilmesi çekme emniyet gerilmesi 0,15 MPa'ı aştığı görülmekte ve güçlendirme gerekmektedir.
- G+EY deprem yükleme durumunda yapıdaki (S11) ve (S22) gerilmelerinde oluşan en büyük basınç gerilmesi $98,724 \times 10^{-3}$ MPa, en büyük çekme gerilmesi $3975,841 \times 10^{-3}$ MPa olarak hesaplanmıştır. Bu değer basınç emniyet gerilmesi 2,4 MPa'ın altındayken, oluşan çekme gerilmesi çekme emniyet gerilmesi 0,15 MPa'ı aştığı görülmektedir.
- G+EX deprem yüklemesi altında (S12)'de oluşan gerilmelerde en çok zorlanan bölgeler burcun üst köşe noktalarıdır. G+EY deprem yüklemesi altında (S12)'de oluşan kayma gerilmeleri sur duvarının üst köşe noktaları ve burcun üst köşe noktalarıdır. Hesaplanan maksimum kayma gerilmesi $1328,28 \times 10^{-3}$ MPa 'dır. Bu değer emniyetli kayma gerilmesi değerini aşmaktadır.

- Oluşan gerilmelerin en büyük gerilme değerlerine burcun üst köşe ve alt köşe noktalarında bazı durumlarda da surun köşe noktalarında meydana geldiği tespit edilmiştir. Analizlerin sonucunda basınç gerilmelerinin emniyet gerilmesini aşmadığı, çekme ve kayma gerilmelerinin emniyet gerilmesini aştığı görülmektedir. Yapının güncel durumuna bakıldığında analiz sonuçlarıyla uyumlu olarak alt köşe noktalarında göçmeler yer yer kopmalar meydana geldiği görülmektedir.

Ölü yükler ve deprem yükleri altında meydana gelen gerilmelerin maksimum değerleri incelendiği zaman en büyük gerilmelerin burcun köşe noktalarında olduğu için bu bölgeler için yapıya ve tekniğe uygun bir şekilde onarım ve güçlendirme yapılmalıdır.

Tarihi yapılarda onarım ve güçlendirme yapılırken yapının özgün malzemesine ek olarak takviye amaçlı kullanılacak malzeme seçilirken, seçilen malzemenin özelliklerinin yapıda mevcut olan malzeme ile uyum oluşturacak şekilde ve geriye dönüşü mümkün olabilecek özellikte olması gerekmektedir. Tarihi yapıların onarım ve güçlendirilmesi genel olarak bölgesel onarım, bölgesel güçlendirme ve temel güçlendirme şeklindedir.

Bölgesel onarım, bölgesel yerel çatlakların önlenmesi amacıyla uygulanmakta olup bu yöntem çatlakların genişliğine ve meydana geldiği bölgeye bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir. Burcun üst köşe noktalarında maksimum gerilmelerin yer yer meydana geldiği bu bölgelerde çatlaklar gözle de görülebilmektedir. Bu bölge için çatlakların enjeksiyon yöntemi ile onarımı uygun olabilir.

Bölgesel güçlendirme de ise güçlendirilen eleman yalnızca bir bileşendir. Geniş çatlakların hatta yer yer kopmaların meydana geldiği burcun alt köşe noktasında, çekme gerilmelerini karşılayacak elemanlar kullanılarak güçlendirilmesi sağlanabilir. Bu işlem için hasar görmüş bölgeye çelik bağlantı elemanları veya dikiş elemanları yerleştirildikten sonra püskürtme beton uygulaması yapılarak istenilen dayanım sağlanabilir. Bu bölge için kullanılacak diğer bir yöntem ise lif takviyeli polimer (LP) çubukları ile güçlendirme işlemidir. Bu işlem içinde eğilmeye karşı boyuna, kesmeye karşı enine doğrultuda olmak üzere lif takviyeli polimer çubuklar yerleştirilebilir.

Yapılan analizler sonucunda elde edilen değerlere uygun bir şekilde onarım ve güçlendirilme yöntemi önerileri verilmiştir. Hangi yöntemin uygulanması gerektiğine ilgili kurumlar tarafından karar verilecek olup burada yazılanlar öneri niteliği taşıdığı unutulmamalıdır.

Tarihi yapılar yapı ağırlıkları fazla olması sebebiyle daha fazla deprem yüküne maruz kalırlar ve bu sebepten yapısal hasarlar oluşur. Tarihi mirasın korunması için bu yapıların deprem davranışlarının bilinmesi ve korunması gereklidir. Özellikle çekme gerilmesine dayanımı olmayan malzemelerle inşa edilmiş tarihi yapılar için bu gerilme değerleri risk taşımaktadır. Bu yüzden bu gerilmelerin ilgili kişiler tarafından iyileştirilmesi zorunludur.

Tarihi yapılar ile ilgili deprem yönetmeliğimizde ayrıca bir bölüm mevcut olmadığı için çalışma yaparken bazı kabullerin yapılması zorunluluğu ile karşı karşıya kalınmaktadır. Bu konuda ülkemizde konu ile ilgili uzman kişilerin çalışmalara öncelik vermesi gerektiği, deprem yönetmeliğimize tarihi yapıların hesap yöntemleri ile ilgili ek bir başlık getirilmesi gerekmektedir.

Ülkemizde betonarme ve çelik yapılara göre çalışma alanı daha az olan yığma yapılarla ilgili çalışmalar arttırılmalıdır. Ayrıca tarihi yapılardan numune alınması yapıya zarar verebileceği endişesiyle zor ve uygun olmadığı için tahribatsız yöntemlerle dayanım belirlenmesi konusunda çalışmalara öncelik verilmelidir.

Tarihi yapıların onarım ve güçlendirilmesi ile ilgili en doğru karara mühendislik, mimarlık, restorasyon ve sanat tarihi gibi farklı disiplinlerdeki uzman kişilerin yardımı ile sonuca varılabilir. Onarım ve güçlendirmede öncelikli olan yapının güvenliğinin sağlanması ile kültürel değerlerinin korunması arasındaki dengenin sağlanmasıdır. Bunun içinde en az müdahale ile en fazla koruma sağlayacak yöntemler tercih edilmelidir.

Çalışma kapsamında yapılan analizler ve elde edilen analiz sonuçlarının ileride yapılacak çalışmalara ışık tutacağı düşünülmektedir. Bu çalışma ileride yapılacak çalışmalarda farklı yönetmeliklerin kıyaslanmasında öncülük edebilir. Bunun yapılabilmesi için TBDY 2018'e göre taşıma gücü yönteminin kullanılması gerekmektedir. Farklı taşıyıcı sistem formuna sahip tarihi yapılarda benzer çalışmaların yapılmasının milli değerlerimizin geleceğe aktarılması açısından oldukça önemli ve gerekli olduğu düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Ahunbay, Z.; 2004, Tarihi çevre koruma ve restorasyon, 28, *Yapı Yayın*, İstanbul, 38-39.
- Akarca, A., 1998, Şehir ve savunması, *Türk Tarih Kurumu Yayınları*, Ankara.
- Akman, S., 2000, Yapı hasarları ve onarım ilkeleri, İstanbul, 26–27.
- Akman, S., 2003, Yapı malzemelerinin tarihsel gelişimi. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 426(4), 30–36.
- Aköz, A. H., (2008), Deprem Etkisi Altındaki Tarihi Yığma Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Anonim, Antik tuğla [online], <https://tasduvarpanelleri.com/antik-tugla-red-1110/>, İstanbul, [Ziyaret Tarihi: 16 Şubat 2022].
- Anonim, 2017, Kemer nedir ve çeşitleri nelerdir? [online], <https://okuryazarim.com/kemer-nedir-cesitleri-nelerdir/>, [Ziyaret Tarihi: 16 Şubat 2022].
- Anonim, Sinop Kalesi hakkında bilgi [online], <http://imturkey.com/tr/sinop-kalesi>, [Ziyaret Tarihi: 16 Şubat 2022].
- Anonim, Sinop Cezaevi [online], <https://ayder.com.tr/lokasyon/sinop-cezaevi/23>, [Ziyaret Tarihi: 16 Şubat 2022].
- Anonim, Sinop Tarihi Cezaevi [online], <https://www.e-yasamrehberi.com/seyahat-rehberi/sinop-tarihi-cezaevi.html>, [Ziyaret Tarihi: 16 Şubat 2022].
- Anonim, Kemer [online], <https://mimariterim.com/kemer/>, [Ziyaret Tarihi: 16 Şubat 2022].
- Anonim, 2017, Tonoz nedir ve çeşitleri nelerdir? [online], <https://okuryazarim.com/tonoz-nedir-ve-cesitleri-nelerdir/>, [Ziyaret Tarihi: 16 Şubat 2022].
- Anonim, 2008, Tarihi Lonca Kapısı ve Kumkapı yeniden ayağa kalkıyor [online], <https://www.haberler.com/tarihi-lonca-kapisi-ve-kumkapi-yeniden-ayaga-haberi/>, [Ziyaret Tarihi: 16 Şubat 2022].
- Anonim, 2018, Amasra Kalesi restorasyon çalışmalarının yüzde 50'si tamamlandı [online], <https://www.arkeolojikhaber.com/haber-amasra-kalesi-restorasyon-calismalarinin-yuzde-50si-tamamlandi-16528/>, [Ziyaret Tarihi: 08 Martı 2022].
- Arıkan, S., (2006), Dörtlü Grup Siloların İç Basınç Tesirleri Altında Sonlu Elemanlar Yöntemi İle İnceenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.

- Arseven, C., 1954, Türk Sanat Tarihi, I-II, İstanbul.
- Atmaca, Y., (2017), Mimarlıkta Biçimlenme Sorunsalı: Sinop Sur Duvarı Üzerinden Bir Tartışma, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Aydın, E. Ö., Çömlekçioğlu, R. ve Fahjan, Y., 2007, Deprem Bölgelerindeki Tarihi Kagir Yapıların Güçlendirilmesinde Kullanılan Yeni Teknikler, *International Earthquake Symposium Kocaeli 2007*, 636–644.
- Bağcı, U. B., 2018, Yığma Demiryolu Köprülerinin Sonlu Elemanlar Programları İle Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Bayülke, N., 2013, Yığma yapılar: Taş ve Tuğla, *İnşaat Mühendisleri Odası*, Ankara, 237-267.
- Bayülke, N., 1984, Depremde Hasar Gören Yapıların Onarımı Ve Güçlendirilmesi, *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası*, Ankara.
- Bayraktar, A., 2005, Tarihi Yığma Yapıların Depreme Karşı Güçlendirilmesi, *Yığma Yapıların Deprem Güvenliğinin Artırılması Çalıştayı*, Ankara.
- Boran, A., Türk Sanatında Kale Mimarisi, Cilt 7, *Türkler Ansiklopedisi*.
- Böke, H., Akkurt, S. ve İpekoğlu, B., 2004, Onarım Amaçlı Horasan Harç Ve Sıvaların Hazırlanması, *Yapı*, 90–95.
- Dabanlı, Ö., (2008), Tarihi Yığma Yapıların Deprem Performansının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Döndüren, M., (2008), Bağlayıcı Özelliği Artırılan Duvar Ve Sıva Harcının Düzlem Dışı Yüklene Tuğla Duvarların Mekaniksel Davranışına Etkisi, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- Canale M. D., R. Briseno de la Vega, 1992, ‘Retrofitting Techniques Used in Telephone Buildings in Mexico, *10th World Conference on Earthquake Engineering*.
- Can, H. ve Ünay, A.İ., 2011, Tarihi Yapıların Deprem Davranışını Belirlemek İçin Sayısal Analiz Yöntemleri, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 27 (1), 211-217.

- Çal, G., (2015), Ortaköy Büyük Mecidiye Camii'nin Deprem Etkisi Altında Yapısal Davranışının Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Çamlıbel, N., 2000, Yapıların Taşıma Gücünün İyileştirilmesi, *Birsen Yayınevi Ltd. Şti.*, İstanbul.
- Cezar, M., 1977, Anadolu Öncesi Türklerde Şehir Ve Mimarlık, *İş Bankası Kültür Yayınları*, İstanbul.
- Çelebi, M.R., 2012, Anadolu Kerpiç Mimarlığı, *İstanbul Kültür Üniversitesi*, İstanbul, 18.
- Demir, O., (2019), Tarihi Diyarbakır Dicle (On Gözlü) Köprüsü'nün Sonlu Eleman Yöntemiyle Analizi, Yüksek Lisans Tezi, *Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzincan.
- Doğan, S., <https://www.flickr.com/photos/sinandogan/4812889621>, [Ziyaret Tarihi: 16 Şubat 2022].
- Döndüren, M. S. Şişik, Ö. ve Demiröz, A., 2017, Tarihi Yapılarda Görülen Hasar Türleri, *Selçuk Üniversitesi Sosyal ve Teknik Araştırmalar Dergisi*, 13, 45-48.
- Edwards, W.R., 1983, Fortifications of Medieval Clicia (Turkey), University of California, Berkeley.
- Ercan, E., (2010), Tarihi Yığma Yapıların Güvenliklerinin Analitik Ve Deneysel Yöntemlerle Belirlenmesi, Doktora Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir.
- Erdim, M., (2005), Önden Yükleme Otomatik Çamaşır Makinesi Tamburunun Dinamik Modellenmesi Ve Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Analizi, Yüksek Lisans Tezi, *Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir.
- Erkek, H., Calayır, Y., Sayın, E., Karaton, M., 2013. Tarihi Malatya Ulu Camisinin Sismik Davranışı, 2. *Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, Mustafa Kemal Üniversitesi, Hatay.
- Ertuğrul, E., 2015, Efes'in UNESCO kaderi 5 temmuzda belli oluyor [online], İstanbul, <https://arkeofili.com/efesin-unesco-kaderi-5-temmuzda-belli-oluyor/>, [Ziyaret Tarihi: 16 Şubat 2022].
- Esemenli, D., (1990), Sinop İli Türk Dönem Mimarisi, Doktora Tezi, *İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, İstanbul.

- Gabriel, A., 1940, *Voyages Archeologiques Dans La Turquie Orientale*, E.de Boccard, Paris.
- Hasol, D., 1990, *Ansiklopedik Mimarlık Sözlüğü*, *Yem yayınları*, İstanbul.
- Kara, H. G., (2009), *Tarihi Yığma Yapıların Taşıyıcı Sistemleri, Güvenliğinin İncelenmesi, Onarımı Ve Güçlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Kamal, O.A., Hamdy, G.A., ve El-Salakawy, T.S., 2014, *Nonlinear analysis of historic and contemporary vaulted masonry assemblages*, *Hawke's Bay Regional Council Journal*, 10(3), 235–246.
- Kılıç Demircan, R., (2020), *Büyük Kütleli Tarihi Yapıların Çevresel Etkiler Altında Yapısal Dengesinin Analitik Yöntemlerle İncelenmesi: Sinop Kalesi Örneği*, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Kögler, F.; Scheidig, A.; 1960, *Temel Zemini ve Yapı*, *İ.T.Ü. Matbaası*, İstanbul.
- Liu, G.R., Quek, S.S., 2013, *The finite element method: A practical course*, *Butterworth Heinemann*, Oxford, 1-11.
- Lourenço, P. B., (1996), *“Computational Strategies For Masonry Structures”*, Doktora Tezi, *Porto Üniversitesi*, Portekiz, 12-26.
- Mahrebel, H. A. (2006), *"Tarihi Yapılarda Taşıyıcı Sistem Özellikleri, Hasarlar, Onarım Ve Güçlendirme Teknikleri"*, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Mesqui, J., 2014, *Savaştan Barışa Şatolar ve Kaleler*, *Yapı Kredi Yayınları*, 58, İstanbul.
- Namlı, M., (2001), *"Tarihi Yapıların Temel Sistemleri Ve Temel Takviyesi Önlemleri"*, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Nemutlu, Ö.F., (2019), *"2007-2018 Türk Deprem Yönetmeliklerinin Ve Amerikan Deprem Yönetmeliğinin Deprem Hasarları Açısından Karşılaştırılması"*, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Ödekan, A., 1997, *Kale, Ezcacıbaşı Sanat Ansiklopedisi*, II, İstanbul, 932-933.
- Önal, M. M. ve Koçak, A., 2005, *Yığma Yapı Hasarları Ve Onarım Ve Güçlendirme Yöntemlerinin Ayrıntıları*, *Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi*, Antalya, 93-108.

Özer, S.S., (2006)," Geleneksel Yığma Yapılarda Strüktürel Elemanların Analizi", Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri.

Özşahin, S., <https://mapio.net/pic/p-3126221/>, [Ziyaret Tarihi: 16 Şubat 2022].

Penelis, G., Venkov, V., Zambas, C., Csak, B., Popp, T., ve Kuban, D., 1984, Repair And Strengthening Of Historical Monuments and Buildings In Urban Nuclei, *Building Construction Under Seismic Conditions In The Balkan Region*, Vienna.

Resford, S., 2014, Legends of authority / The 1215 Seljuk Inscriptions of Sinop Citadel, Turkey, *Koç Üniversitesi Yayınları*, İstanbul.

Saraç, M., (2003), "Tarihi Yığma Kagir Yapıların Güçlendirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

SAP2000 V20.2.0, Integrated Finite Elements Analysis and Design of Structures. Computers and Structures, Inc, Berkeley, CA, 2017.

Sesigür, H., Çelik, O. C. ve Çılı, F., 2007, Tarihi Yapılarda Taşıyıcı Bileşenler, Hasar Biçimleri, Onarım Ve Güçlendirme, *İstanbul Bülten*, 89/303, 10–21.

Sevgen, N., 1959, Anadolu Kaleleri, 1. Cilt, *Doğuş Ltd. Şirketi Matbaası*, Ankara.

Şenel, M.Ş., (1996), "Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Üç Boyutlu Yapı Analizi Yapan Bir Bilgisayar Programı", Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli.

Şişik, Ö., (2017), "Edirne’de Bulunan 15.Yy Ve 16.Yy’da İnşaa Edilmiş Tarihi Cami Ve Türbelerin Taşıyıcı Sistem Analizi ve Çözüm Önerileri", Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya

Tuğcu, M., 2020, Türkiye’nin 10 tarihi köprüsü [online], <https://www.atlasdergisi.com/kesfet/gezi/turkiyenin-10-tarihi-koprusu.html>, [Ziyaret Tarihi: 16 Şubat 2022].

Tuluk, Ö.İ., (1999), "Mekana Bağlı Strüktür Analizi: Osmanlı Dini Mimarisinde Örnekler (15.- 17. YY.)", Doktora Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, 24-25.

Türker, B., (2010), "Tarihi Yığma Yapıların Yapısal Davranışının Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

Ural,A., (2009), "Yığma Yapıların Doğrusal Ve Doğrusal Olmayan Davranışlarının İncelenmesi", Doktora Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon.

Uzuner, B.A., 2013, Temel Mühendisliğine Giriş, 5, Trabzon, 310-311.

Ünay, A.İ., 2002, Tarihi Yapıların Depreme Dayanımı, *ODTÜ Mimarlık Fakültesi Yayınları*, Ankara.

Sözen, M. ve Tanyeli, U., 1986, Sanat Kavram ve Terimleri Sözlüğü, İstanbul

Vatan, M., (2005), "Yığma Yapıların Sonlu Elemanlar Yöntemine Dayalı Analiz Modelinin Oluşturulmasında Fotogrametrik Verilerin Kullanılması" Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

Yergün, U., (2002), "Batılılaşma Dönemi Mimarisinde Yapım Teknolojisindeki Değişim Ve Gelişim", Doktora Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

Yıldız, Gültekin., 2013, Osmanlı Askeri Tarihi Kara, Deniz Ve Hava Kuvvetleri 1792-1918, *Timaş Yayınları*, İstanbul.

Yılmaz, P., (2006), "Tarihi Yapıların Modellenmesi Ve Deprem Güvenliklerinin Belirlenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya.

Yüce, A., (2021), "Tarihi Kagir Yapıların Güçlendirilmesinde Yenilikçi Yaklaşımlar", Yüksek Lisans Tezi, *Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

Wilson, E. I., 2002, SAP2000 Version 8.0, İntegrated Software for Structural Analysis and design analysis reference manuel, Computers and Structures, July 2002, California.

2017, Tarihi Yapılar İçin Deprem Risklerinin Yönetimi Kılavuzu.