T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

EDİRNE'DE BULUNAN 15.YY VE 16.YY'DA İNŞAA EDİLMİŞ TARİHİ CAMİ VE TÜRBELERİN TAŞIYICI SİSTEM ANALİZİ VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

Özlem ŞİŞİK

Mayıs-2017
KONYA
Her Hakkı Saklıdır
TEZ KABUL VE ONAYI

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.

Özlem ŞİŞİK

Tarih:

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EDİRNE'DE BULUNAN 15.YY VE 16.YY'DA İNŞAA EDİLMİŞ TARİHİ CAMİ VE TÜRBELERİN TAŞIYICI SİSTEM ANALİZİ VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

Özlem ŞİŞİK

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Mahmud Sami DÖNDÜREN

2017, 186 Sayfa

Jüri

Tarihi yapılar bir toplumun geçmişini anlatan en önemli kalıntılardır. Yılların yıpratıcı etkilerine ve doğal afetlere maruz kalmış tarihi yapılar, genelde çok büyük sorunların etkisi altında olup, yıkılma ve yok olma riski taşırlar. Tarihi yapıların çoğu basınç gerilmelerine göre yapılmış yığma yapı niteliğindedir. Dolayısıyla yapıların strüktür bileşenlerini, taşıyıcı duvarlar, sütunlar, payandalar, tonozlar ve kubbeler oluşturmaktadır. Zaman içerisinde bu yapılarda kullanılan malzemelerde ve strüktürde çeşitli etkiler sonucunda bazı sorunlar ortaya çıkmaktadır. Bu sebeple, tarihi yapılarda onarım ve güçlendirme faaliyetleri çerçevesinde bir takım uygulamalara gidilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, tarihi yapıların restorasyonu konusunda, önemli kısımlardan biri olan yapıların taşıyıcı sistemlerinin yeterliliğinin kontrolü ve gerekiyorsa yeterliliğinin sağlanması konusu incelenmiştir. Bu amaçla, Edirne'de bulunan ve 15.YY. ile 16. YY'da inşa edilmiş 4 adet cami ve 2 adet türbe örneklerinin statik analizleri yapılarak, uygulanmış ve/veya uygulanabilecek güçlendirme önerileri ortaya konulmuştur. Yapılar SAP 2000 versiyon 18 paket programında sonlu elamanlar modeli ile modellenerek çeşitli yükler altında oluşan kuvvetler ve gerilmeler hesaplanmıştır. Bu gerilmelere bağlı oluşan deformasyonlar belirlenmiştir. Hesaplanan deformasyon ve gerilmelerin emniyet gerilmelerini aşıp aşmadığı irdelenmiştir. Ayrıca tarihi yapılarda taşıyıcı sistem elemanları ve kullanılan malzemeler hakkında bilgi verildikten sonra, yığma yapılarda kullanılan modelleme yöntemleri kısaca anlatılmıştır. Sayısal uygulama için Ayşe Kadın Camii, Edirne-Merkez Beylerbeyi Türbesi, Edirne-Uzunköprü Gazi Turhan Bey Camii, Edirne-Merkez Sitti Sultan Camii, Edirne-Merkez Demirtaş (Timurtaş) Camii, Edirne-Merkez Tütünsüz Baba Türbesi seçilmiştir. Bu yapıların lineer statik ve dinamik analizleri yapılmıştır. Bu analizler yapılırken 4. derece deprem bölgesi ivme kayıtları kullanılmıştır. Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak makro modelleme yaklaşımı ile modellemeler yapılarak SAP 2000 paket programı yardımıyla çözümler elde edilmiştir. Analiz sonuçlarında yapıda oluşan asal gerilmeler değerlendirilmiş, cami ve türbelerin statik anlamda taşıyıcılık durumları belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Klasik Devir Osmanlı Türbeleri ve Camileri, SAP 2000 v18 Analiz, Tarihi Yapılarda Güçlendirme.

ABSTRACT

MS THESIS

STRUCTURAL SYSTEMS ANALYSIS AND SOLUTION PROPOSAL FOR MOSQUES AND TOMBS BUILT IN 15TH. AND 16.TH CENTURIES, LOCATED IN EDIRNE

Özlem ŞİŞİK

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN CIVIL ENGINEERING

Advisor: Asst. Doç. Dr. Mahmud Sami DÖNDÜREN

2017, 186 Sayfa

Jury

Historical buildings are the most important ruins to describe history of a society. Buildings exposed to harsh effects of years and to natural disasters are generally under effect of very serious problems and they have risk of collapse and extinction. Most of historical buildings are built with pressure stress and have the characteristics of masonry structures. Therefore, the structure components of buildings are constituted bearing walls, columns, buttresses, vaults and domes. In time, some problems were occurred in used materials and in structure as a result of various effects. Therefore, it is necessary to apply various applications in framework of repair and strengthening of buildings. In this study, about the restoration of historic buildings, the control of the adequacy of the bearing systems as one most important part of structure and if needed ensuring the adequacy will be examined. For this purpose,static analysis of 4 mosque and of 2 tombs, built in 15th and 16th centuries located in Edirne, will be made and suggestion reinforce applied and/or will be applied will be revealed. Structure will be modeled with finite element model of SAP 2000 V18 package program and the forces generated under various loads and stresses, the occurred deformation due to that, overflow of allowable stress of this deformation and stresses will be investigated. Also, after giving information about the history of the structure and the materials used in structural elements, modeling methods used in masonry structures will be discussed. For numerical applications, Ayşe Kadın Mosque, Edirne-Merkez Beylerbeyi Tomb, Edirne-Uzunköprü Gazi Turhan Bey Mosque, Edirne-Merkez Sitti Sultan Mosque, Edirne-Merkez Demirtaş (Timurtaş) Mosque, Edirne-Merkez Tütünsüz Baba Tomb has been selected. The linear statics and dynamic analyzes of these buildings will be made. While this analysis, acceleration standard of the seismic zone 4 will be used. Solutions will be obtained by using macro modeling approach with finite element model and by help of SAP 2000 package program. This study also will evaluate the results of the principal stresses in the structure and strengthening method will be recommended for structures with inadequate carrier systems.

Keywords: Classical Period Ottoman Tombs and Mosques, SAP 2000 V18 Analysis, Strengthening on Historic BuildingS.

ÖNSÖZ

Öncelikle, yüksek lisans tezimin danışmanlığını yürüten, gösterdiği sabır ve özveri ile hiç bir zaman desteğini ve engin bilgilerini benden esirgemeyen, çalışmalarımın her aşamasında önerileri ile beni yönlendiren değerli hocam Sayın Doç. Dr. Mahmud Sami DÖNDÜREN'e,

Bu çalışmada incelenen tarihi türbe ve camilere ait rölöve, restorasyon bilgilerinin teminiyle tez çalışmama son derece önemli katkı sağlayan T.C. Başbakanlık Vakıflar Genel Müdürlüğü Edirne Bölge Müdürlüğü'ne ,

Yüksek lisans sürecimde, tecrübelerini ve bilgilerini benimle paylaşan, desteğini eksik etmeyen değerli meslektaşım ve kıymetli eşim M.Alparslan ŞİŞİK'e, bugüne kadar bıkmadan usanmadan her daim yanımda olan canım aileme, varlıklarıyla hayatıma renk katan, dayanma ve mücadele gücü veren kızlarım M.Dilara ŞİŞİK ve M.Sevde ŞİŞİK'e sonsuz teşekkürlerimi ve şükranlarımı sunarım.

Özlem ŞİŞİK
KONYA-2017

İÇİNDEKİLER

ÖZET iv

ABSTRACT v

ÖNSÖZ vi

ŞEKİLLER DİZİNİ xi

TABLOLAR DİZİNİ xx

1.GİRİŞ 1

2.TARİHİ YAPILARDA KULLANILAN MALZEME VE ÖZELLİKLERİ 3

2.1 Doğal Taş Malzemeler 3

2.2 Harçlar 5

2.3 Kargir Malzeme 7

2.4 Ahşap Malzeme 8

2.5 Tuğla 8

3.TARİHİ YAPILARDA TAŞIYICI BİLEŞENLER 10

3.1 Temeller 10

3.2 Duvarlar 11

3.2.1 Kaba Yonu Taş Duvarlar 11

3.2.2 Sıfır derz taş duvar 12

3.3 Sütunlar ve Ayaklar 13

3.4 Kemerler 14

3.5 Tonozlar 17

3.6 Kubbeler 19

4.TARİHİ YAPILARDA GÖRÜLEN HASAR TÜRLERİ 22

4.1 Zeminden Kaynaklanan Hasarlar 22

4.2 Taşıyıcı Duvarlarda Oluşan Hasarlar 24

4.3 Kubbe, Kemer ve Tonozlarda Oluşan Hasarlar 27

4.4 Tarihi Yapılarda Görülen Diğer Hasar Türleri 31

5.TARİHİ YAPILAR İÇİN ONARIM VE GÜÇLENDİRME İLKELERİ 37

5.1 Araştırma ve Teşhis 38

5.2 İyileştirici Önlem 38

5.3 Denetim 39

6.TARİHİ YAPILARDA ONARIM VE GÜÇLENDİRME TEKNİKLERİNİN BELİRLENMESİ 40

6.1 Çatlakların Onarımı 40

6.2 Taşıyıcı Elemanların Güçlendirilmesi 43

6.2.1 Temellerin güçlendirilmesi 44

6.2.2 Duvarların güçlendirilmesi 45

6.2.3 Kubbe, tonoz ve kemerlerin güçlendirilmesi 49

6.2.4 Sütun ve minarelerin güçlendirilmesi 52

6.2.5 Döşemelerin güçlendirilmesi 54

7.EDİRNE'DE BULUNAN TARİHİ TÜRBE VE CAMİ ÖRNEKLERİNİN STATİK DEĞERLENDİRİLMESİ 56

7.1. Yapısal Analiz İçin Oluşturulan Modellemelerde Kullanılan Parametreler 57

7.1.1. SAP 2000 Modellerinin Tanımlamaları 59

7.1.2. Emniyet gerilmelerinin hesabı 64

7.2 Beylerbeyi Türbesi 66

7.2.1. Yapının restorasyon öncesi mimari özellikleri 67

7.2.2. Statik Parametreler 69
7.2.3. Yapısal model ve analizler 73
7.2.3.1. Ölü yükler altında yapının analizi 74
7.2.3.2 Modal çözümleme 76
7.2.3.3. G+E_x ve G+E_y deprem yüklemeleri 80
7.2.3.4 Modele güçlendirme uygulaması 82
7.3 Tütünsüz Baba Türbesi 87
7.3.1 Yapının restorasyon öncesi mimari özellikleri 88
7.3.2 Yapısal model ve analizler 91
7.3.2.1. Ölü yükler altında yapının analizi 92
7.3.3.2. Modal çözümleme 94
7.3.3.3. G+E_x ve G+E_y deprem yüklemeleri 98
7.3.3.4. Model güçlendirme uygulaması 100
7.4. Timurtaş (Demirtaş) Camii 107
7.4.1. Yapının restorasyon öncesi mimari özellikleri 107
7.4.2 Yapısal model ve analizler 110
7.4.2.1. Ölü yükler altında yapının analizi 111
7.4.2.2. Modal çözümleme 114
7.4.2.3. G+E_x ve G+E_y deprem yüklemeleri 118
7.5. Gazi Turhan Bey Cami 122
7.5.1. Yapının restorasyon öncesi mimari özellikleri 123
7.5.2 Yapısal model ve analizler 127
7.5.2.1. Ölü yükler altında yapının analizi 128
7.5.2.2 Modal çözümleme 130
7.5.2.3 G+E_x ve G+E_y deprem yüklemeleri 134
7.6 Sitti Şah Sultan Cami 138
7.6.1 Yapının restorasyon öncesi ve sonrası mimari özellikleri 140
7.6.2 Yapısal model ve analizler 141
7.6.2.1 Ölü yükler altında yapının analiz 142
7.6.2.2 Modal çözümleme 144
7.6.2.3. G+E_x ve G+E_y deprem yüklemeleri 148

7.7. Ayşe Kadın Camii 152
7.7.1. Yapının restorasyon öncesi mimari özellikleri 157
7.7.2. Yapısal model ve analizler 160
7.7.2.1. Ölü yükler altında yapının analizi 161
7.7.2.2. Modal çözümleme 163
7.7.2.3. $G+E_x$ ve $G+E_y$ deprem yüklemeleri 167
7.7.2.4 . Modele güçlendirme uygulaması 169
8.SONUÇLAR 182
ÖZGEÇMİŞ 188

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Taş duvar örgü biçimleri (Uğuz, 2016) 4

Şekil 3.1. Yatay derzli kaba yonu taş duvarlar örneği 12

Şekil 3.2. Sıfır derzli taş duvar örnekleri 12

Şekil 3.3. Tarihi yapılarda sütun örnekleri 13

Şekil 3.4. Ayak detayı 14

Şekil 3.5. Tarihi yapılarda ayak örnekleri 14

Şekil 3.6. Tarihi yapılarda kemer örnekleri 15

Şekil 3.7. Kemerin Muhtelif Kısımlarının İsimleri (Bayülke, 1992) 15

Şekil 3.8. Kemer gösterimi (Süleymaniye Cami Avlusu-İstanbul) 16

(**Kaynak**: www.tr.wikipedia.org. Erişim Tarihi: Aralık/2011) 16

Şekil 3.9. Kemeri yapım şekilleri (Mahrebel, 2006) 17

Şekil 3.10. Tonoz Çeşitleri 18

Şekil 3.11. Tarihi binalardan tonoz örnekleri 19

Şekil 3.12. Kubbe çeşitleri 19

Şekil 3.13. Kubbenin zemine yük aktaran elemanları 20

Şekil 3.14. Kubbe örnekleri 21

Şekil 4.1. Binaların düşeyden ayrılma ve oturma şeması 23

Şekil 4.2. Temel taşlarının doğru yerleştirilmemesi sonucu oluşan çökme 23

Şekil 4.3. Taşıyıcı duvarlarda, düşey ve yatay yüklerden kaynaklanan çatlak tipleri 24

Şekil 4.4. Yatay derzlere paralel yükler altında yığma duvarlarda kırılma biçimleri (Ülker, 2016) 26

Şekil 4.5. Taşıyıcı duvarlarda. düşey ve yatay yüklerden kaynaklanan çatlak tipleri (Mahrebel, 2006) 26

Şekil 4.6. Kagir kemerlerde yük aktarma diyagramı 28

Şekil 4.7. Kemerde itki çizgisinin yeri 28

Şekil 4.8. Yerçekimin kemerlerde oluşturduğu çatlak tipleri 29

Şekil 4.9. Yerçekimin tonoz ve kubbelerde oluşturduğu çatlak tipleri 29

Şekil 4.10. Deprem, hava koşulları, yer çekimi, zemin v.b durumlar sonucu kubbelerde oluşan hasarlar 30

Şekil 4.11. Kubbelerde yük taşıma mekanizması (Haluk SESİGÜR, Şubat, 2007)..... 30

Şekil 4.12. Atmosferin etkisiyle taşlarda oluşan bozulma örnekleri 31

Şekil 4.13. Siyah kabuk oluşumuna örnekler 32

Şekil 4.14. Duvar örgüsünde suyun hareketi 33

Şekil 4.15. Yer altı sularının yapı temellerinden başlayarak yükselmesi ile oluşan bozulma (İstanbul. Yeni Cami)..... 34

Şekil 4.17. Taş yüzeylerinde ya da derzlerinde meydana gelen yosun oluşumları 35

Şekil 4.18. İnsanların ateş yakmak, yazı yazmak suretiyle tarihi eserlerde yaptığı tahribat örnekleri..... 35

Şekil 4.19. Savaşta tahrip olmuş tarihi eser örnekleri 36

Şekil 4.20. Deprem ve sel baskını sonucu oluşan hasar örnekleri..... 36

Şekil 6.1 Kılcal ve yapısal çatlak örnekleri 41

Şekil 6.2. Çatlakların enjeksiyon yöntemi ile onarımı (Haluk SESİGÜR, Şubat, 2007) 42

Şekil 6.3. Çatlak duvarın dikilerek onarılması (Aköz, 2008)..... 43

Şekil 6.4. Temellerin güçlendirilmesine ilişkin detaylar (Kara, 2009) 45

Şekil 6.5. Çatlakların enjeksiyon yöntemi ile onarımı 45

Şekil 6.6. Taş yığma yapılarda duvarlardaki düşey çatlakların onarımı (Kara, 2009) 46

Şekil 6.7. Duvarlardaki düşey çatlakların dikişi (Kara, 2009) 46

Şekil 6.8. Duvarlardaki çapraz çatlakları kesen, duvara kısmen gömülü betonarme takviye bantları (Kara, 2009)..... 47

Şekil 6.9. Duvarlardaki düşey hatıl oluşturulması..... 47

Şekil 6.10. İki taraflı hasır çelik ve püskürtme beton uygulaması (Aköz, 2008) 48

Şekil 6.11. Tek taraflı hasır çelik ve püskürtme beton uygulaması (Aköz, 2008) 49

Şekil 6.12. Kemerlerde gergi düzenlemesi ve mesnetlerin sabitlenmesi (Roma Forumu'nda Yapı) (Sesigür. Çelik. Çılı. 2007: 22). 50

Şekil 6.13. İstanbul II. Beyazid Camii kemerinde Mimar Sinan tarafından yapılan güçlendirme (Sesigür, Çelik, Çılı, 2007). 50

Şekil 6.14. Kubbede oluşturulan çekme çemberi ve detayı..... 51

Şekil 6.15. Kubbenin kendi özgün malzemesi ile yeniden örülmesi (Sesigür, Çelik, Çılı, 2007). 51

Şekil 6.16. Kubbenin dikilmesi (Vakıflar Genel Müdürlüğü, 2012) 52

Şekil 6.17. Minarede dikiş yöntemiyle güçlendirme (Sesigür, Çelik, Çılı, 2007) 53

Şekil 6.18. Sütunlarda çember (bilezikler) uygulaması 53

Şekil 6.19. Çemberlenmiş sütun örneği 54

Şekil 6.20. Mevcut ahşap döşemenin üzerine uygulanan ikinci ahşap katman 54

Şekil 6.21. Çelik çaprazlar ile döşemenin rijitleştirilmesi 55

Şekil 7.1. Yapılarda kullanılan taş malzemeye ait özellikler 59

Şekil 7.2. Yapı kullanılan beton gergiye ait malzemeye özellikler 60

Şekil 7.3. Yapılarda kullanılan kaplama malzemesine ait özellikler 60

Şekil 7.4. Yapılarda kullanılan çelik gergiye ait malzemesine özellikleri 61

Şekil 7.5. Yapılara etkiyen yük tanımları 61

Şekil 7.6. Yapılara etkiyen yük kombinleri 62

Şekil 7.7. Yapılara etkiyen yük kombinleri 62

Şekil 7.8. Yapılarda tanımlı respone spectrum 63

Şekil 7.9. Yapılarda tanımlı Ex response spectrum 63

Şekil 7.10. Yapılarda tanımlı E_y response spectrum 64

Şekil 7.11. 1932’ de çekilmiş Rıfat Osman Arşivinden alınan fotoğraf 66

Şekil 7.12. Beylerbeyi Türbesinin 2008’deki durumu 67

Şekil 7.13. Yapı giriş kapısı ve kapı yanında kalan sağ duvarı 68

Şekil 7.14. Yapı detayları 69

Şekil 7.15. Yapının duvar detayları 70

Şekil 7.16. Yapı planı 71

Şekil 7.17. Yapının restorasyon öncesi 72

Şekil 7.18. Beyler Beyi Türbesi’nin yapısal modellemesi 74

Şekil 7.19. G yüklemesi S11 (X doğrultusu) ve S22 (Y doğrultusu) gerilme dağılımı (10^{-3} x N/mm^2) 75

Şekil 7.20. G yüklemesi S12 gerilme dağılımı (10^{-3} x N/mm^2) 75

Şekil 7.21. G yüklemesi altında oluşan maksimum yer değiştirme (mm)..... 76

Şekil 7.22. Beyler Beyi Türbesinin ilk 6 moda ait deformasyon hareketleri 79

Şekil 7.23. Beyler Beyi Türbesinin G+E_x ve G+E_y deprem yüklemeleri altındaki kubbenin yer değiştirmeleri (mm) 80

Şekil 7.24. Beyler Beyi Türbesinin G+E_x ve G+E_y deprem yüklemeleri altındaki S11 gerilmesi (kN/m2)..... 81

Şekil 7.25. Beyler Beyi Türbesinin G+E_x ve G+E_y deprem yüklemeleri altındaki S22 yüklemesi (kN/m^2)..... 82

Şekil 7.26. Beyler Beyi Türbesinin G+E_x ve G+E_y deprem yüklemeleri altındaki S12 yüklemesi (kN/m^2)..... 82

Şekil 7.27. Beyler Beyi Türbesi betonarme hatıl güçlendirme eleman detayı 83

Şekil 7.28. Beyler Beyi Türbesi G yüklemesi altında güçlendirme öncesi ve sonrası S11, S22 ve S12 gerilmeleri karşılaştırma grafikleri 84

Şekil 7.29. Beyler Beyi Türbesi G+E_x deprem yüklemesi altında güçlendirme öncesi ve sonrası S11, S22 ve S12 gerilmeleri karşılaştırma grafikleri..... 85

Şekil 7.30. Beyler Beyi Türbesi G+E_y yüklemesi altında güçlendirme öncesi ve sonrası S11, S22 ve S12 gerilmeleri karşılaştırma grafikleri..... 86

Şekil 7.31. Beyler Beyi Türbesinin ocak 2017'ye ait güncel fotoğrafları..... 87

Şekil 7.32. Tütünsüz Baba Türbesinin restorasyon öncesi ve sonrası fotoğrafları (2005-2008)..... 89

Şekil 7.33. Tütünsüz Baba Türbesinin restorasyon öncesi fotoğrafları (2005)..... 90

Şekil 7.34. Tütünsüz Baba Türbesinin restorasyon öncesi fotoğrafları (2005)..... 90

Şekil 7.35. Tütünsüz Baba Türbesinin yapısal modellenmesi..... 92

Şekil 7.36. Tütünsüz Baba Türbesinin G yüklemesi altında oluşan maksimum yer değiştirme (mm)..... 93

Şekil 7.37. G yüklemesi S11 (X doğrultusu) ve S22 (Y doğrultusu) gerilme dağılımı (kN/m^2)..... 93

Şekil 7.38. G yüklemesi S12 gerilme dağılımı (kN/m^2)..... 94

Şekil 7.39. Tütünsüz Baba Türbesinin ilk 6 moda ait deformasyon hareketleri 97

Şekil 7.40. Tütünsüz Baba Türbesi G+E_x ve G+E_y deprem yüklemeleri altındaki kubbenin yer değiştirmeleri (mm) 98

Şekil 7.41. Tütünsüz Baba Türbesinin G+Ex ve G+Ey deprem yüklemeleri altındaki S11 gerilmesi (kN/m2)..... 99

Şekil 7.42. Tütünsüz Baba Türbesinin G+Ex ve G+Ey yüklemeleri altındaki S22 gerilmesi (kN/m2)..... 100

Şekil 7.43. Tütünsüz Baba Türbesinin G+Ex ve G+Ey yüklemeleri altındaki S12 gerilmesi (kN/m2)..... 100

Şekil 7.44. Tütünsüz Baba Türbesinin gergilerinin cephedeki görünüşü..... 101

Şekil 7.45. Tütünsüz Baba Türbesinin gergilerinin kesitteki görünüşü 101

Şekil 7.46. Tütünsüz Baba Türbesinin gergileri detayı 102

Şekil 7.47. Tütünsüz Baba Türbesi G yüklemesi altındaki güçlendirme öncesi/sonrası deformasyon..... 103

Şekil 7.48. Tütünsüz Baba Türbesi G yüklemesi altındaki güçlendirme öncesi/sonrası S11, S22 ve S12 gerilmeleri karşılaştırma grafiği 104

Şekil 7.49. Tütünsüz Baba Türbesi G ve deprem yüklemesi altındaki güçlendirme öncesi/sonrası S11, S22 ve S12 gerilmeleri karşılaştırma grafiği 105

Şekil 7.50. Tütünsüz Baba Türbesi Ocak 2017'ye ait güncel fotoğraflar 106

Şekil 7.51. Timurtaş(Demirtaş) Camii restorasyon öncesi ve sonrası fotoğrafları (2007-2008) 108

Şekil 7.52. Timurtaş (Demirtaş) Camii restorasyon öncesi fotoğrafları (2007)..... 108

Şekil 7.53. Timurtaş (Demirtaş) Camii restorasyon öncesi fotoğrafları (2007)..... 109

Şekil 7.54. Timurtaş (Demirtaş) Camii plan rölevesi..... 110

Şekil 7.55. Timurtaş (Demirtaş) Camii yapısal modellenmesi..... 111

Şekil 7.56. Timurtaş (Demirtaş) Camii G yüklemesi altında oluşan maksimum yer değiştirme (mm)..... 112

Şekil 7.57. Timurtaş (Demirtaş) Camii G yüklemesi altında S11 ve S22 gerilmeleri (kN/m^2) 113

Şekil 7.58 Timurtaş (Demirtaş) Camii G yüklemesi altında S12 gerilmeleri (kN/m^2) 113

Şekil 7.59. Timurtaş (Demirtaş) Camii restorasyon öncesi hasarlı halinin fotoğrafları114

Şekil 7.60. Timurtaş (Demirtaş) Cami ilk 6 moda ait deformasyon hareketleri 117

Şekil 7.61. Timurtaş (Demirtaş) Cami G+Ex yüklemeleri altındaki kubbenin yer değiştirmeleri(mm) 118

Şekil 7.62. Timurtaş (Demirtaş) Cami G+Ey deprem yüklemeleri altındaki kubbenin yer değiştirmeleri(mm) 119

Şekil 7.63. Timurtaş (Demirtaş) Cami G+Ex ve G+Ey deprem yüklemeleri altındaki S11 gerilmesi (kN/m^2) 119

Şekil 7.64. Timurtaş (Demirtaş) Cami G+Ex ve G+Ey deprem yüklemeleri altındaki S22 gerilmesi (kN/m^2) 120

Şekil 7.65. Timurtaş (Demirtaş) Cami G+Ex ve G+Ey deprem yüklemeleri altındaki S12 gerilmesi (kN/m^2) 121

Şekil 7.66. Timurtaş (Demirtaş) Cami Ocak 2017'ye ait güncel fotoğrafları 122

Şekil 7.67. Gazi Turhan Bey Camine ait arşiv fotoğrafları(1930) 123

Şekil 7.68. Gazi Turhan Bey Caminin restorasyon öncesi ve sonrası fotoğrafları..... 124

Şekil 7.69. Gazi Turhan Bey Caminin restorasyon öncesi fotoğrafları (2008) 125

Şekil 7.70. Gazi Turhan Bey Camii yapısal model görünüşü 127

Şekil 7.71. Gazi Turhan Bey Camii G yüklemesi altında oluşan maksimum yer değiştirme (mm)..... 128

Şekil 7.72. Gazi Turhan Bey Camii G yüklemesi altında S11 ve S22 gerilmeleri (kN/m^2) 129

Şekil 7.73. Gazi Turhan Bey Camii G yüklemesi altında S12 gerilmeleri (kN/m^2)..... 129

Şekil 7.74. Gazi Turhan Bey Camii restorasyon öncesi hasarlı halinin fotoğrafları 130

Şekil 7.75. Gazi Turhan Bey Camii ilk dört moda ait grafikler 133

Şekil 7.76. Gazi Turhan Bey Cami G+Ex deprem yüklemeleri altındaki kubbenin ve minarenin yer değiştirmeleri(mm) 134

Şekil 7.77. Gazi Turhan Bey Cami G+Ey deprem yüklemeleri altındaki kubbenin ve Minarenin yer değiştirmeleri(mm)..... 135

Şekil 7.78. Gazi Turhan Bey Cami G+Ex ve G+Ey deprem yüklemeleri altındaki S11 gerilmesi (kN/m^2) 135

Şekil 7.79. Gazi Turhan Bey Cami G+Ex ve G+Ey deprem yüklemeleri altındaki S22 gerilmesi (kN/m^2) 136

Şekil 7.80. Gazi Turhan Bey Cami G+Ex ve G+Ey deprem yüklemeleri altındaki S12 gerilmesi (kN/m^2) 137

Şekil 7.81. Gazi Turhan Bey Cami Ocak 2017'ye ait güncel fotoğrafları 137

Şekil 7.82. Sitti Şah Sultan Cami 1958'e ait fotoğrafı 138

Şekil 7.83. Sitti Şah Sultan Caminin restorasyon öncesi ve sonrası fotoğrafları 140

Şekil 7.84 Sitti Şah Sultan Camii yapısal model görünüşü 142

Şekil 7.85. Sitti Şah Sultan Camiinin G yüklemesi altında minare ve kubbede oluşan deformasyonlar 143

Şekil 7.86. Sitti Şah Sultan Camii G yüklemesi altında S11 ve S22 gerilmeleri (kN/m^2) 143

Şekil 7.87. Sitti Şah Sultan Camii G yüklemesi altında S12 gerilmeleri (kN/m^2) 144

Şekil 7.88. Sitti Şah Sultan Camii ilk dört moda ait grafikler (x-y yanal hareket)..... 147

Şekil 7.89. Sitti Şah Sultan Camii 5. ve 6. moda ait grafikler (burulma hareket) 148

Şekil 7.90. Sitti Şah Sultan Cami G+Ex deprem yüklemeleri altındaki kubbenin ve minarenin yer değiştirmeleri(mm) 148

Şekil 7.91. Sitti Şah Sultan Cami G+Ey deprem yüklemeleri altındaki kubbenin ve Minarenin yer değiştirmeleri(mm)..... 149

Şekil 7.92. Sitti Şah Sultan Cami G+Ex ve G+Ey deprem yüklemeleri altındaki S11 gerilmesi (kN/m^2) 149

Şekil 7.93. Sitti Şah Sultan Cami G+Ex ve G+Ey deprem yüklemeleri altındaki S22 gerilmesi (kN/m^2) 150

Şekil 7.94. Sitti Şah Sultan Cami G+Ex ve G+Ey deprem yüklemeleri altındaki S12 gerilmesi (kN/m^2) 151

Şekil 7.95. Sitti Şah Sultan Cami Ocak 2017'ye ait güncel fotoğrafları 151

Şekil 7.96. Ayşe Kadın Cami (1955)görünüşü ve kitabesi..... 152

Şekil 7.97. Ayşe Kadın Cami planı 153

Şekil 7.98. Ayşe Kadın Caminin son cemaat kısmı pencere kemer alınlığı (2005) 153

Şekil 7.99. Ayşe Kadın Caminin son cemaat kısmı pencere üstü (2005)..... 154

Şekil 7.100. Ayşe Kadın Caminin son cemaat kısmı mihrabiyesi (2005)..... 155

Şekil 7.101. Ayşe Kadın Caminin onarım öncesi fotoğrafları (2005)..... 156

Şekil 7.102. Ayşe Kadın Caminin minare ve pencere hasar detayları (2005)..... 157

Şekil 7.103. Ayşe Kadın Caminin 1955 ve 2011 yıllarına ait görünüşleri..... 157

Şekil 7.104. Süleyman Paşa Cami 1954 yılı..... 158

Şekil 7.105. Ayşe Kadın Caminin bahçesinde bulunan ağacın köklerini temele kadar uzanıyor 159

Şekil 7.106. Ayşe Kadın Camisinde çatlak ölçümleri 160

Şekil 7.107. Ayşe Kadın Camii yapısal model görünüşü 161

Şekil 7.108. Ayşe Kadın Camiinin G yüklemesi altında minare ve kubbede oluşan deformasyonlar 162

Şekil 7.109. Ayşe Kadın Camii G yüklemesi altında S11 ve S22 gerilmeleri (kN/m^2) 162

Şekil 7.110. Ayşe Kadın Camii G yüklemesi altında S12 gerilmeleri (kN/m^2) 163

Şekil 7.111. Ayşe Kadın Camii ilk altı moda ait grafikler 166

Şekil 7.112. Ayşe Kadın Camii $G+E_x$ deprem yüklemeleri altındaki kubbenin yer değiştirmeleri(mm) 167

Şekil 7.113. Ayşe Kadın Cami $G+E_y$ deprem yüklemeleri altındaki kubbenin yer değiştirmeleri(mm) 167

Şekil 7.114. Ayşe Kadın Cami $G+E_x$ ve $G+E_y$ deprem yüklemeleri altındaki S11 gerilmesi (kN/m^2) 168

Şekil 7.115. Ayşe Kadın Cami $G+E_x$ ve $G+E_y$ deprem yüklemeleri altındaki S22 gerilmesi (kN/m^2) 168

Şekil 7.116. Ayşe Kadın Cami $G+E_x$ ve $G+E_y$ deprem yüklemeleri altındaki S12 gerilmesi (kN/m^2) 169

Şekil 7.117. Ayşe Kadın Cami onarım çalışmaları (2010) 170

Şekil 7.118. Ayşe Kadın Cami onarım çalışmaları (2010) 171

Şekil 7.119. Ayşe Kadın Camii gerginin cephe ve plandaki yeri 172

Şekil 7.120. Ayşe Kadın Camii güçlendirme eleman detayı 174

Şekil 7.121. Ayşe Kadın Cami G yüklemesi altında güçlendirme öncesi ve sonrası S11 ve S22 gerilmeleri karşılaştırma grafikleri 175

Şekil 7.122. Ayşe Kadını Cami Türbesi G yüklemesi altında güçlendirme öncesi ve sonrası S12 gerilmeleri karşılaştırma grafikleri 175

Şekil 7.123. Ayşe Kadını Cami Türbesi $G+E_x$ deprem yüklemesi altında güçlendirme öncesi ve sonrası S12 gerilmeleri karşılaştırma grafikleri 176

Şekil 7.124. Ayşe Kadın Cami $G+E_x$ deprem yüklemesi altında güçlendirme öncesi ve sonrası S11 ve S22 gerilmeleri karşılaştırma grafikleri 177

Şekil 7.125. Ayşe Kadın Cami $G+E_y$ deprem yüklemesi altında güçlendirme öncesi ve sonrası S11 ve S22 gerilmeleri karşılaştırma grafikleri 178

Şekil 7.126. Ayşe Kadın Cami $G+E_y$ deprem yüklemesi altında güçlendirme öncesi ve sonrası S12 gerilmeleri karşılaştırma grafikleri 178

Şekil 7.127. Ayşe Kadın Caminin beden duvarlarının dışa doğru açıldığı gözlenmiştir (ocak 2017) 179

Şekil 7.128. Ayşe Kadın Caminin beden duvarlarının dışa doğru açıldığı gözlenmiştir (ocak 2017) 180

Şekil 7.129. Ayşe Kadın Caminin minare duvar birleşimlerindeki bozulmalar (ocak 2017) 180

Şekil 7.130. Ayşe Kadın Caminin taş yüzeylerinde ya da derzlerinde meydana gelen yosun oluşumları 181

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 2.1. Doğal Yapı Taşlarının Ortalama Fiziksel Özellikleri(Kara, 2009)..... 5

Tablo 7.1. Doğal duvar taşlarının dayanım gruplarına göre en küçük basınç dayanımları (DBYBHY. 2007)..... 58

Tablo 7.2. Yapılarda kullanılan malzemelere ait özellikler..... 59

Tablo 7.3. Serbest basınç dayanımı bilinmeyen duvarların basınç emniyet gerilmeleri (DBYBHY. 2007)..... 64

(TSE, 2016)..... 64

Tablo 7.4. Duvarların çatlama emniyet gerilmeleri (DBYBHY. 2007)..... 65

Tablo 7.5. Taş duvarların emniyet gerilmeleri..... 66

Tablo 7.6. Serbest Titreşim Peryotları ve Kütle Katılım Oranları..... 78

Tablo 7.7. Serbest Titreşim Peryotları ve Kütle Katılım Oranları..... 96

Tablo 7.8. Serbest Titreşim Peryotları ve Kütle Katılım Oranları (ilk 30 mod)..... 116

Tablo 7.9. Serbest Titreşim Peryotları ve Kütle Katılım Oranları (ilk 30 mod)..... 132

Tablo 7.10. Serbest Titreşim Peryotları ve Kütle Katılım Oranları (ilk 30 mod)..... 146

Tablo 7.11 Serbest Titreşim Peryotları ve Kütle Katılım Oranları (ilk 30 mod)..... 165

SİMGELER

τ_{em} **:** Duvar Kayma Emniyet Gerilmesi

τ_0 **:** Duvar Çatlama Emniyet Gerilmesi

μ **:** Sürtünme Katsayısı

σ **:** Duvar Düşey Derilmesi

f_{em} **:** Duvar Çatlama Emniyet Gerilmesi

f_d : Serbest Basınç Dayanımı

I **:** Bina Önem Katsayısı

A_0 **:** Deprem Bölgesi Katsayısı

R **:** Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı

S(T) **:** Spektral Katsayı

E **:** Elastisite Modülü

ν **:** Poisson Oranı

γ : Birim Hacim Ağırlık

λ **:** Narinlik

KISALTMALAR

DBYBHY : Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik

TS : Türk Standartları

SAP : Systems Analysis and Program Development

SRSS : Kareleri Toplamı Karekök Yöntemi

1.GİRİŞ

Tarihi yapılar bir toplumun geçmişini anlatan en önemli kalıntılardır. Yılların yıpratıcı etkilerine ve doğal afetlere maruz kalmış tarihi yapılar, genelde çok büyük sorunların etkisi altında olup, yıkılma ve yok olma riski taşırlar. Kültürel mirasımızın en önemli parçaları olan tarihi yapılar, en iyi şekilde korunmalı ve onarılmalıdır.

Ülkemiz birçok medeniyetlere ev sahipliği yapmıştır ve bu medeniyetlerin tarihi özelliklerini taşıyan kaleler, surlar, camiler, köprüler, kiliseler gibi tarihi yığma yapılara sahiptir. Yeni inşa edilen yapıların tasarımında deprem güvenliğine dikkat edilirken, diğer taraftan mevcut tarihi yapılarımızın da deprem performanslarının değerlendirilmesi ve gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir.

Tarihi yapıların çoğu basınç prensibiyle yapılmış yığma yapı niteliğindedir. Dolayısıyla yapıların strüktür bileşenlerini taşıyıcı duvarlar, sütunlar, payandalar, tonozlar ve kubbeler oluşturmaktadır. Taşıyıcı elemanlarında da genel olarak doğal taş, kesme taş, moloz taş, tuğla ya da almaşık malzeme kullanılmıştır. Birleşim elemanı olarak bağlayıcı özelliği fazla olan harçlar ve horasan harcı kullanılmıştır. Tarihi yapılarda oluşan çekme kuvvetleri ise ahşap elemanlarla ya da demir kenet, demir gergi elemanları kullanılarak karşılanmaya çalışılmıştır.

Zaman içerisinde tarihi yapılarda kullanılan malzemelerde ve strüktürde tabiat şartları, doğal afetler gibi çeşitli etkilerin sonucunda bazı sorunlar ortaya çıkmaktadır. Bu sebeple, tarihi yapılarda onarım ve güçlendirme faaliyetleri çerçevesinde bir takım uygulamalara gidilmesi gerekmektedir.

Koruma altına alınan tarihi yapılarda mutlak korunması gereken elemanlarla, bozulduğu, çürüdüğü, kırıldığı için değiştirilebilecek elemanların tespiti yapılırken, güçlendirilecek yapı elemanları tespiti de yapılmalıdır. Değiştirilecek veya yenilenecek parçaların değişim şeklinin mutlaka projelendirilmesi şarttır. Projelendirme restorasyon kural ve standartlarına uyularak yapılmalıdır. Güçlendirilme amacıyla bozulan taşlar, aynı cins ve yapıdaki taşlarla değiştirilmelidir. Kullanılacak harç eskisiyle aynı özelliklere sahip olmalıdır. Yenileme taşıyıcı tuğlada yapılacaksa tuğlanın ebatları

eskisiyle aynı olmalıdır. Tarihi yapıları bütünü ile projelendirmek, güçlendirme hesap ve esaslarını belirlemek için, bu yapıların analitik incelenmesinin yapılması şarttır. Bu nedenle, yapıların tüm elemanlarının bilgisayar ortamında modellenip, deprem etkilerindeki davranışlarının görülmesi gerekmektedir.

Cami ve türbe gibi yığma yapıların sayısal olarak modellenmesi ve gerçek davranışlarının belirlenmesi oldukça zordur. Bu tür yapıların taşıyıcı sistemlerinin geleneksel bina türü yapıların taşıyıcı sistemlerinden çok farklı olmaları nedeniyle ayrıntılar ve detaylar ön plana çıkmakta ve modellemeleri zorlaştırmaktadır

Bu çalışmada, yaklaşık bir asır boyunca Osmanlı İmparatorluğuna başkentlik yapmış, halen pek çok sivil ve dini mimarlık örneklerini bünyesinde bulunduran Edirne' deki cami ve türbe örnekleri ele alınarak, yapısal performansı statik ve dinamik açıdan sonlu elemanlar yöntemiyle ortaya konulmuştur. Yapıların genel davranışı hakkında bilgi edinmek amacıyla, literatürde verilen malzeme özellikleri ve deprem yönetmeliğinde verilen formüllerin kullanılmasıyla analizler gerçekleştirilmiştir. SAP2000 V18 paket programı kullanılarak yapılan çözümlemelere göre statik açıdan kritik yerler tespit edilerek, mevcut yapıların yapısal performanslarını artırma yöntemleri önerilmiştir.

2.TARİHİ YAPILARDA KULLANILAN MALZEME VE ÖZELLİKLERİ

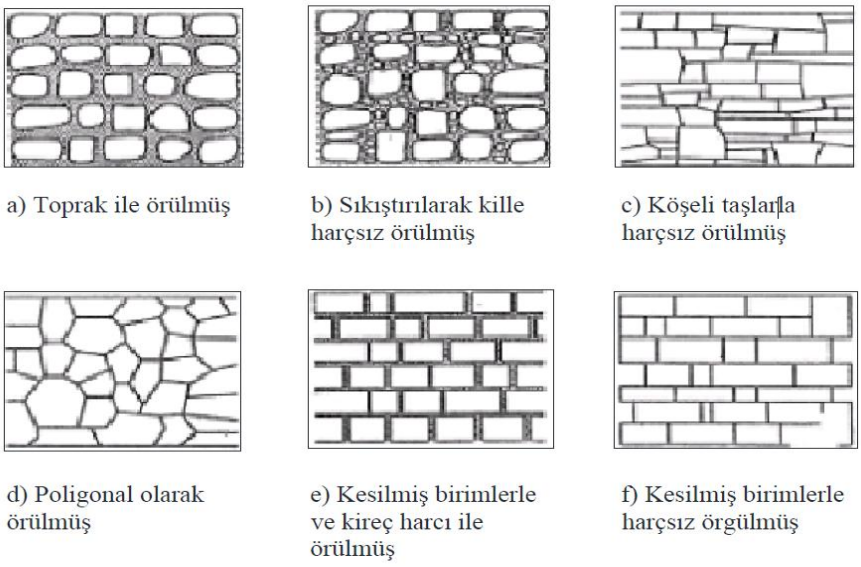
Yapı malzemeleri, kullanıldıkları yapıların davranışlarında belirleyici bir rol oynar, Tarihi yığma yapılarda doğal taş, tuğla, ahşap, harç gibi değişik malzemeler kullanılmaktadır. Kullanılan bu malzemelerin fiziki ve mekanik özelliklerinin anlaşılması, tarihi yapıları değerlendirmek üzere yapılacak çalışmaların vazgeçilmez bir parçasıdır.

Tarihi yığma yapılarda sıklıkla kullanılan taş ve tuğla malzemelerin basınç dayanımı, harçla yapı malzemesi arasındaki kayma dayanımı, elastisite modülü ve malzeme kalitesinin belirlenmesi için çoğunlukla tahribatsız deneylerden faydalanılır. Doğru sonuçlara ulaşmak için, yapıdan numune alınarak laboratuar ortamında test edilmesi ve bu deneylerin bir arada değerlendirilmesi gerekir, ancak tarihi yapılarda bu her zaman mümkün olamamaktadır. Yapıdan numune alınamaması durumunda yakın tarihlerde yapılmış benzer nitelikteki tahrip olmuş yapılardan alınan örneklerden faydalanılmaktadır. Tahribatsız deneyler, çekiç geri tepme indisi ölçümleri ya da ultrases ölçümleri şeklinde olabilir. Duvarlarda kayma dayanımı, yapı üzerinde yapılacak deneylerle bulunabilir. Onarım ve güçlendirmede kullanılacak malzemenin belirlenmesi için mevcut duvarları oluşturan bileşenler üzerinde kimyasal deneyler yapılmalıdır. (Aköz, 2008)

2.1 Doğal Taş Malzemeler

Doğal taşlar, insanlar tarafından bilinen ve kullanılan en eski inşaat malzemelerinden birisidir ve kalıcı olması düşünülen yapıların inşaatlarında özellikle tercih edilmiştir. Taşın tarihi yapılarda yaygın olarak kullanılmasının nedeni, hemen her yerde ve her arazi koşullarında kolaylıkla bulunabilmesidir.

İlk başlarda toplama taşlar doğrudan harçla bağlanarak duvarlar örülmüştür. Daha sonraları taşlar işlenerek şekillendirilmiş, böylece düzgün ve hatta estetik duvarlar inşa etmişlerdir (Akman, 2003) Şekil 2.1'de ilk zamanlara ait taş duvar örgü biçimleri gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Taş duvar örgü biçimleri (Uğuz, 2016)

Doğal taş, basınca çok iyi çalıştığı halde çekme gerilmelerinde zayıf bir malzemedir. Bu sebeple, tarihi yığma yapılarda taş kullanılırken, özellikle kemer, kubbe, tonoz ve sütunlarda çekme gerilmesi almayacak şekilde kullanılmışlardır. Basınç yüklerini alan duvarlar ve ayaklar da taş malzemeden yapılmıştır. Bazı taşlar, basınç altında deformasyonu betonunkine yakın veya daha azdır. Bununla beraber, yapıda çekme gerilmesi almasa bile, sıcaklık değişimleri, donma çözülme çevrimleri gibi olumsuz çevre şartları sebebiyle oluşan çekme gerilmeleri, taştan yapılmış elemanlarda çatlaklara sebep olabilir.

Ana malzeme biriminin taş olduğu tarihi yığma yapı elemanlarının dayanım, dayanıklılık ve diğer özellikleri, taşın işleniş biçimi ve birleşim dokusuna bağlıdır. Tarihi yapılarda genellikle kullanılan yapı taşlarının ortalama fiziksel özellikleri Tablo 1.1'de gösterilmiştir.

Tablo 2.1. Doğal Yapı Taşlarının Ortalama Fiziksel Özellikleri(Kara, 2009)

Taşın Cinsi	Basınç Dayanımı (Mpa)	Kayma Dayanımı (Mpa)	Çekme Dayanımı (Mpa)	Elastisite Modulü (Mpa)
Granit	30-70	14-33	4-7	30000-55000
Mermer	25-65	9-45	1-15	25000-70000
Kireç Taşı	18-35	6-20	2-6	10000-55000
Kumtaşı	5-30	2-10	2-4	13000-50000
Kuvars	10-30	3-10	3-4	15000-55000
Serpantin	7-30	2-10	6-11	23000-45000

Taş yığma yapı elemanlarının kayma dayanımı, genel olarak basınç dayanımının %25'i kadardır. Taşlarda genleşme çatlaklarına rastlanabilir. Bu durum, çekme gerilmelerinin, malzemenin çekme mukavemetini geçmesi halinde meydana gelir. Taşlarda, dış etkenlerden (sıcaklık değişimleri, rüzgar, su...) kaynaklanan çatlaklar, aşınmalar ve bozulmalar meydana gelebilir (Ünay, 2002).

Taşlar yalnız örgü ve dış cephe kaplama malzemesi olarak değil, iç mekânlarda, duvarlarda, taşıyıcı öğelerde, döşeme kaplamalarında, kemerlerde, mihraplarda ve parmaklıklarda da karşımıza çıkar.

2.2 Harçlar

Yığma yapılarda kullanılan harç miktarı diğer malzemelere nazaran çok az olmasına rağmen, bu yapıların performansı büyük oranda kullanılan harcın bağlayıcı özelliği ve mukavemetine bağlıdır. Basınç, çekme ve kayma mukavemetleri ile yığma yapı birimleri arasındaki bağ (derz) mukavemeti, yığma yapıların önemli yapısal göstergeleridir. Bağlayıcı malzeme, dolgu malzemesi ve suyun belirli oranlarda karışımı ile elde edilen, katılaşma özelliğindeki hamurlara "harç" denir. Harçlar içinde bulunan bağlayıcıların niteliğine göre isimlendirilirler. Yapıda harç kullanımının temel amacı, yapı elemanlarını meydana getiren yapı birimlerinin birbirleriyle bağlantısını sağlayarak bir bütünlük teşkil etmektir. Ayrıca harç, yapı bileşenlerinin üzerine gelen yüklerin dağıtılmasına yardımcı olmakla birlikte bileşenin esnemesine, hareket etmesine de yardımcı olur. Bunun yanında harçların, dış hava şartlarının bozucu etkilerinden yapıyı korumaya yardımcı olduğu da bilinen bir gerçektir (Dabanlı, 2008).

Tarihi yığma yapılarda görülen harçlar, kireç harcı ve horasan harcı olarak sınıflandırılabilir. Kireç harçları, çimentonun bulunmasına kadar geçen eski Yunan ve Roma dönemlerinde yapıların inşasında yaygın olarak kullanılmıştır. Kireç harcında, bağlayıcı madde olarak kireç ve dolgu malzemesi için de agrega karıştırılarak kireç harcı ve sıvaları elde edilmektedir (Uğuz, 2016).

Tarihte, harçlara çekme özelliği kazandırmak için çok uğraşılmıştır. Harçların yapısını iyileştirerek duvar parçalarının bir arada tutulması da düşünülmüştür. Bu maksatla harç katkı malzemeleri bulunmuştur veya harçların içine çekme elyafları konulmuştur. Kireç harçlarının hazırlanmasında kirecin veya harcın fiziksel özelliklerini geliştirmek, karbonatlaşmayı hızlandırmak amacıyla kirece veya harca organik ve inorganik maddelerin katıldığı bilinmektedir. Bunlardan bazıları, kan, yumurta, peynir, gübre, arap zamkı, hayvan tutkalı, bitki suları, kazein gibi malzemelerdir. Katkı malzemelerinden arap zamkı, hayvan tutkalı ve incirin sütlü suyu yapışkan olarak kullanılmıştır. Çavdar hamuru, domuz yağı, kesik süt, kan ve yumurta beyazı kirecin daha çabuk sertleşmesini sağlamaktadır. Arpa, idrar ve hayvan tüyleri dayanıklılığı arttırmaktadır. Şeker, suyun donma-erime periyotlarında meydana getirdiği bozulmaları yavaşlatmaktadır. Balmumu, harçtaki büzülmeyi önlemektedir. Yumurta akı, hayvan tutkalı, şeker, süt, keten tohumu gibi yağlar ise kirecin plastik özelliğini arttırıp kırılganlığı azaltarak, harcın çalışabilirliğini artırmaktadırlar (Erköseoğlu, 2012).

Kireç harcından sonra, kum-kireç karışımının içine pişmiş kil veya puzolan denilen volkanik tüfün karıştırılması ile su karşısında sertleşen bir bağlayıcı elde edilmiştir. Horasan pişirildikten sonra öğütülmüş kildir. Horasan harcı, horasan ve kireçle yapılan harca denir. Tarihi yığma-kâgir yapılarda özellikle, Roma, Bizans, Selçuklu ve Osmanlı mimarisinde horasan harcı sıklıkla kullanılmıştır. Horasan harcı, hidrolik kökenli bir harçtır. İçine eklenen puzolanik katkı malzemeleri ile bilinen kireç harçlarından daha mukavemetli bir harç elde edilir. Horasan harcı geç sertleşen bir malzemedir ve dayanım kazanması uzun zaman alır. Horasanın bu özelliğinden dolayı eski mimarların, yapının temellerini inşa ettikten sonra, uzun bir süre üst yapı inşaatına devam etmeden bekledikleri bilinmektedir. Horasanın mukavemeti kirecin kalitesine ve tuğla tozunun inceliğine bağlıdır. Bu sebeple eski yapılarda kullanılmış olan horasanın kalitesi ve mukavemeti, yerel şartlara bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.

Horasan'ın bu uzun süren mukavemet eksikliğini telafi etmek için harcın içine ince çakıl da katılabilir. Roma kalelerinde kullanılan horasan harcının içinde bu türden ince çakıllar kullanılmıştır. Ayrıca rötreyi önlemek maksadıyla harca saman da karıştırabilir. Horasan'ın muhtevası yerel şartlara göre değişmekle birlikte içerisinde, kil, kireç, taş tozu, taş kırıntıları, mermer tozu, su, keçi kılı ve hatta yumurta akı bulunduğu tarihi kayıtlardan anlaşılmaktadır (Dabanlı, 2008).

İçine tuğla veya kiremit kırıklarının katıldığı Horasan harç karışımları diğer harçlardan farklı bir yapıya sahip olup günümüz betonuna eşdeğer, taşıyıcı bir yapı taşını meydana getirmektedir. Horasan harcı ile yapılan binada dayanıklılığın yıllar geçtikçe arttığı gözlenmiştir. Şu anda dünyanın en mükemmel betonu ile yapılmış olan yapılar için 200 yıl ömür biçilirken, Horasan harcı ile yapılan bir binaya bakım yapıldığı müddetçe ömür biçilemez. Hürrem Sultan Hamamı'nın restorasyonu sırasında hazırlanan harcın 30 günlük mukavemet değeri yaklaşık 4.5 MPa. 60 günlük mukavemet değeri 7.5 MPa. 90 günlük mukavemet değeri de 12.5 MPa ölçülmüştür (İlter, 2012).

Tarihi yapılarda özellikle Horasan sıvasının bozulduğu yerlere bir dönem çimento ile uygulamalar yapılmış ve son derece kötü sonuçlar ortaya çıkmıştır. Bu nedenle, 1990'lı yıllardan itibaren tarihi binaların restorasyonunda Horasan harcının kullanılmasıyla ilgili adımlar atılmış ve böylece günümüzde tarihi yapılarında restorasyonunda horasan harcı kullanılmaya başlanmıştır. Binanın kullanılış amacına göre farklılıklar gösteren Horasan harcının tek bir tarifi de bulunmamaktadır. Günümüzde gerçek anlamda Horsan harcı ve sıvasını hazırlayacak ustaların kalmaması nedeniyle tarihi binaların restorasyonunda kullanılan Horasan harcı, İstanbul Büyükşehir Belediyesi Koruma Uygulama ve Denetim Müdürlüğü (KUDEB) ile bazı üniversitelerin laboratuarlarında gerçekleştirilen analizler sonucunda tespit edilerek hazırlanmaktadır (İlter, 2012).

2.3 Kargir Malzeme

Doğal taş veya pişmiş toprağın (tuğlanın), bağlayıcı bir harçla birlikte kullanılması ile elde edilen malzemeye "kâgir (yığma)" adı verilir. Tarihi yapılar ait oldukları çağların teknolojisi gereği genelde yalnızca basınç gerilmelerine çalışan kagir

sistemlerdir. Kâgir malzeme ile duvar, payanda, kubbe, tonoz ve kemer gibi monolitik taşıyıcı elemanlar inşa edilir.

Kâgir malzeme homojen bir malzeme olmayıp heterojen bir özelliğe sahiptir. Birim ağırlığı 21-22 KN/m^2 arasında değişmektedir. Dış yükler altında farklı özellikler gösteren bu malzemenin taşıma gücü, yapımındaki hassasiyete, yapı birimi olarak kullanılan taş veya tuğlanın özelliklerine, harcın özelliklerine ve yapım tekniğine bağlıdır. Çevre şartlarına ve zamanın ilerlemesiyle oluşan yaşlanma etkilerine göre de farklı özellikler gösterir. Kâgir malzemenin mukavemeti, içindeki harcın mukavemetine eşdeğerdir, zira tuğla veya taş birimlere kıyasla önce zayıf halka olan harç güç tükenmesine erişir. Kireç harcı kullanılmış bir malzemede emniyet gerilmesi σ= 0.2-0.6 N/mm^2, horasan için ise σ= 1.5-3.0 N/mm^2 mertebesindedir (Dabanlı, 2008).

2.4 Ahşap Malzeme

İşlenmesi ve taşınması kolay bir malzeme olan ahşap eğilme, çekme ve basınç gerilmelerine karşı dayanıklı hafif bir malzeme olduğu için çok eski dönemlerden bu yana konut mimarisinde yapı malzemesi olarak kullanılmıştır. Tarihi yığma yapılarda büyük açıklıklar, ahşapla rahatça geçilmiştir. Ayrıca tavan ve döşeme taşıyıcı sistemi malzemesi olarak da ahşap sıklıkla tercih edilmiştir. Çekmeye karşı dayanımından dolayı duvarlarda hatıl olarak, eğilmeye karşı dayanımından dolayı çıkma (saçak, cumba, taşma) olarak kullanılmıştır.

2.5 Tuğla

Tuğla**,** harç ile birbirine tutturularak duvar inşasında kullanılan, pişmiş veya kurutulmuş kil bazlı topraktan elde edilen bir yapı malzemesidir. Tuğla ve kiremit kullanımı insanoğlunun oluşumu kadar eskiye dayanmaktadır. İlk tuğla veya kiremit üretim tesisi belki de insanlar tarafından yapılan ilk evdir diyebiliriz. Bu evler özellikle nehir kıyılarında ve deltalarda yer alan yerleşim bölgelerinde, kurutulmuş kil tabletlerle, yapılacak evlerin yanında oluşturulan basit bir üretim düzeneği ile gerçekleştirilmiştir. Pişmiş tuğlanın endüstriyel anlamda ilk üretimi ise MÖ 4.yy'a Babil Kulesi yapımına denk düşmektedir. Tarihçiler bu kulede 85 milyon adet tuğla kullanıldığını hesaplamışlardır. Bu gün bu rakamda tuğlayı ancak 5-6 gelişmiş teknolojili fabrikanın 1 yıllık çalışmaları ile üretebildiğini düşünürsek, burada yapılan

üretimin gerçekten de teknolojik açıdan değer taşıdığını kabul etmek gerekir. Babil kulesi işte bu nedenle tuğla üretimi ve endüstrisi açısından önemli bir simgedir.

Anadolu'da ve Avrupa'da da bu tarihsel gelişime paralel olarak ilerleyen üretim şekilleri Romalıların ilk standartları getirmeleri ve bu işin ticaretini yapmaya başlamaları ile farklı bir boyut kazanmıştır. Daha ileri dönemlerde Anadolu'da Selçuklu ve Osmanlı mimarisinin vazgeçilmez bir parçası olan tuğla ve kiremit Osmanlıların standartları ile Anadolu'ya has bir mimari tarz oluşturmuştur. Kiremitlerin daha küçük, tuğla boyutlarının ise daha büyük tutulduğu Osmanlılar döneminde ilk standartlar uygulanmaya başlanmıştır. O dönemde standart dışı üretim veya bunların inşaatlarda kullanımı yasaklanmış, bu konuda önemli cezalar öngörülmüştür. Hatta inşaatlarda bina katları ve modelleri konusunda bile standart uygulamalar bu dönemde getirilmiştir. Yığma yapı duvarlarında, harman tuğlası ve fabrika tuğlası olmak üzere iki tip tuğla kullanılmaktadır.

Harman tuğlası, kil, killi toprak ve balçığın ayrı ayrı ya da beraber yoğrulması ve ihtiyaç olursa su, kum, öğütülmüş tuğla ve kiremit tozu gibi maddelerin ilave edilip karıştırılması ile şekil verilip kurutulan ve ocaklarda pişirilmesi sonucu elde edilen tuğla tipidir. Fabrika tuğlası, kil, killi toprak ve balçığın ayrı ayrı ya da harman edilerek ihtiyaç duyulduğunda su, kum, öğütülmüş tuğla, kiremit tozu gibi maddelerin ilave edilip karıştırılması ile makinelerde şekillendirilerek kurutulan ve fırında pişirilerek elde edilen duvar inşasında kullanılan tuğla tipidir (Uğuz, 2016).

Tuğlayı oluşturan malzemenin kalitesi, kullanılan harç ve tuğlanın örülme düzeni, tuğlanın dayanımını belirler. Tuğlaların basınç dayanımı malzeme özelliklerine bağlı olarak 10 MPa dan 30 MPa'a kadar değişir. İyi fırınlanmış tuğla, iyi fırınlanmamış tuğlaya göre üç kat daha fazla dayanıma sahip olur. Genel olarak tuğlanın çekme dayanımı basınç dayanımının %10'u, kayma dayanımı ise basınç dayanımının %30'u kadardır (Erköseoğlu, 2012).

3.TARİHİ YAPILARDA TAŞIYICI BİLEŞENLER

Tarihi yapıların restorasyonu konusunda önemli ayaklardan biri, yapıların taşıyıcı sistemlerinin yeterliliğinin kontrolü ve/veya gerekiyorsa yeterliliğinin sağlanması konusudur. Depremler tarihi yapıların strüktürel sistemini en çok etkileyen tehlikelerden biridir. Tarihi yapılarda en çok görülen taşıyıcı elamanlar, kemerler, sütunlar ve ayaklar, duvarlar, tonozlar, kubbeler, temeller ve döşemeler olarak sıralanabilir. Bu elemanlar kullanılarak yapının ana taşıyıcı sistemi oluşturulmaktadır.

Müdahalelerde prensip olarak mevcut sistemin asıl malzeme seçimi, geometrisi ve oranlarına sadık kalınması gerekmektedir. Uygulamalarda tipik olarak eğer mevcut yapı malzemesi bütünlüğünü kaybetmeye başlamışsa, özelliğini kaybetmiş bölgelerin alınıp yerlerine uygun malzeme konulması veya eleman boyutunda bir çözülme varsa elemanın tamamının güncellenmesi yollarına gidilebilmektedir. Böylesi uygulamalarda yapı orjinal haline getirilse bile bazı yükler altında yetersiz kalabilmekte ve yapısal yeterliliği sağlamak için yapısal elemanlara ve/veya sisteme müdahale ihtiyacı doğabilmektedir. Düşey yükler altındaki yetersizlikler çoğu zaman eleman bazında tespit ve müdahaleler, yapının kullanım amacında değişiklikler ve/veya ulaşım sınırlamaları ile bertaraf edilebilirken talebin değiştirilemediği yüklerde özellikle deprem talepleri altında yapısal sisteme müdahaleler gerekli olabilmektedir (C.Dönmez, 2015).

3.1 Temeller

Temeller, yapıya etki eden yüklerin (zati ağırlık, hareketli yükler, deprem, rüzgâr v.s) yapı zeminine aktarılmasını sağlayan elemanlardır. Tarihi yapılarda temeller yapının en önemli kısmıdır. Geleneksel yapı temelleri genelde iki şekilde yapılmıştır.

Yüzeysel temeller (sığ temeller): Genellikle sağlam zeminlerde yapılmış olan bu temel türleri, ayrık ve sürekli olabilmektedir. Ayrık temeller, ayak ve kolon altındaki bölümlerde kullanılmış, duvarların altında ise sürekli temeller tercih edilmiştir.

Derin Temeller: Dolgu, yumuşak veya sulu zeminlerde, zemine çakılan kazıkların oluşturduğu bir temel sistemidir. Bazı örneklerde kazıklar ahşap bir ızgara ile birbirine bağlanmıştır (Yavuz, 2012).

3.2 Duvarlar

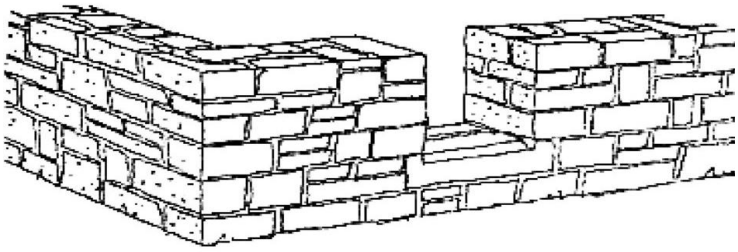
Tarihi yığma yapılarda düşey yükler ve deprem yükleri taşıyıcı duvarlarla karşılanır. Tarihi yapılarda taşıyıcı duvarlar, kesme taş, kaba yonu taş, moloz taş, tuğla ya da kerpiç gibi malzemelerle inşa edilir. Genellikle, yığma yapılarda kullanılan duvar malzemesinin çekme dayanımı ve harcın da kayma dayanımı düşüktür. En önemli hasar nedeni, deprem etkisiyle duvarlarda oluşan kayma gerilmeleri dolayısıyla çekme gerilmelerinin meydana getirdiği çatlak, ayrılma ve dağılmadır.

Duvarın en kesit boyutları, üzerine gelen eğik yüklerle, deprem yüklerinin etkisinin dikkate alınmasıyla belirlenir. Tarihi yığma yapılarda duvar kalınlıkları, yapıya etkiyen düzlem dışı yükler duvarların öz ağırlıklarıyla karşılandığından, olabildiğince büyük seçilir. Duvarların yatay ve düşey yükleri karşılayabilmesi için bir bütün olarak davranması gerekmektedir (Haluk SESİGÜR, 2007).

Duvarlar yapım türlerine göre, kaba yönü taş duvarlar ve sıfır derz taş duvarlar olarak sınıflandırabilir.

3.2.1 Kaba Yonu Taş Duvarlar

Taşlar gelişigüzel yontularak düzlenen yüzeyler, görünen duvar yüzlerine gelecek şekilde duvarlar teşkil edilir. Her iki duvar yüzeyi bu şekilde teşkil edilerek orta duvar bölgesi sandık taş dolgu yapılmaktadır. Tarihi yapılarda bu tarz taş duvar yapımı birer metre yükseklikler şeklinde örülür. Duvar bir metre örülünce duvar düzleme yüzeyi teşkil edilir. Duvar düzleme yüzeyinde tuğladan iki sıra veya daha fazla tuğla duvar bölgesi oluşturulması gelenektir. Tarihi yapı taşıyıcı duvarlarında, düzleme bölgelerine, ahşap kalas çekme elemanları yerleştirilmektedir. Duvarlarda oluşan çekme kuvvetlerini karşılamak için duvarların bu kısımlarına ahşaptan hatıllar oluşturulmaktadır. Hatıllar yapının bu yükseklikteki tüm duvar bölgelerini kaplamaktadır. Şekil 3.1.'de yatay derzli kaba yonu taş duvarlara örnek verilmiştir.



Şekil 3.1. Yatay derzli kaba yonu taş duvarlar örneği

3.2.2 Sıfır derz taş duvar

Mimari estetik veya sürtünmenin azaltılması maksadı ile veya kapiler suların duvar üst katmanlarına çıkmaması için taşlar arasında harç kullanmadan yapılan düzgün örme taş duvarlara "sıfır derz taş duvar" denilmektedir. Şekil 3.2.'de sıfır derzli duvar örnekleri verilmiştir.



Şekil 3.2. Sıfır derzli taş duvar örnekleri

Yapı temel seviyesinden itibaren genellikle taş duvarlar devam eder. Doğal taşların yontulmasıyla oluşturulan bloklar düzgün sıralar halinde yatay olarak dizilmektedir. Düşeyde derzler şaşırtmalı olarak düzenlenmektedir. Duvarların iç ve dış kısmı boyuna taşlarla örülüp iç kısmına da dolgu duvar yapılabilir (Uğuz, 2016).

Duvarlar çekme gerilmesi taşımamaktadır. Çekme gerilmesinin oluştuğu bölgedeki çekme kuvvetlerinin çekme elemanları ile karşılanması şarttır. Tarihi yapılarda çekme gerilme elemanları olarak demir kenet veya ahşap kalas kullanılmıştır (Amman, 2012).

3.3 Sütunlar ve Ayaklar

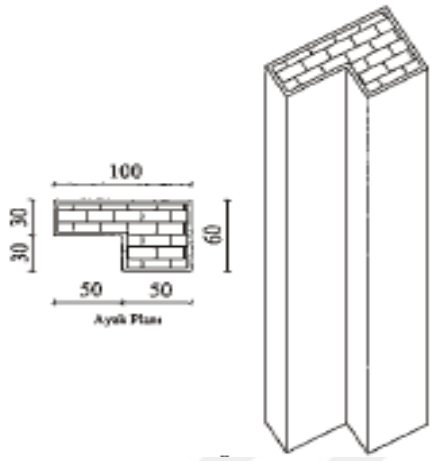
Mekân örtü yüklerinin tekil noktalardan iletilmesi hallerinde, düşey taşıyıcılar ayak ve sütunlardan oluşur. Bu elemanlar, biçimlerine göre ayak veya sütun (kolon) olarak adlandırılmaktadır. Sütunlar, genellikle tek parçalıdır. Birkaç blokla oluşturulduklarında, ağaç veya bronz kenetler yardımıyla birleştirilirler. Daha çok kare, çokgen ve daire kesitli olan sütunların taşıdığı kiriş ya da kemer yükünü toplamak için sütun başlığı, yükü altındaki yapı elemanına yaymak için sütun tabanı yapılır. Gelen yüklerin büyüklüğüne göre sütunların kesitleri, bulundukları mekânın özelliğine göre ise yükseklikleri belirlenir. Kubbe kemerlerinin mesnetlendiği sütunlar genelde dayanıklı taşlardan yapılmıştır. Sütunlarda en yaygın kesit biçimi dairedir. Kare sekizgen ve daha fazla kenarlı çokgen planlı sütun kullanımı sınırlıdır. Camilerde üst üste konulan tamburlarla oluşturulmuş sütunlar ana veya tâli taşıyıcılar olarak kullanılmışlardır. (Şekil 3.3.)



Şekil 3.3. Tarihi yapılarda sütun örnekleri

Ayak ise, en kesiti daha büyük olan ve duvar gibi örülerek yapılan bir düşey taşıyıcıdır. Mekân örtüsünün formu ve kullanım amacına ve yüklerin iletiliş biçimlerine göre karmaşık bir geometride imal edilmişlerdir. Şekil 3.4.'de ayak örnek detayı verilmiştir. Cami, medrese, kervansaray gibi yapılarda, örtüyü taşıyan öğeler olarak ayaklar çeşitli boyut ve kesitlerde yapılmışlardır. Dörtgen, altıgen, sekizgen, onikigen, daire gibi düzenli geometriye sahip ayakların yanı sıra, birleşik kesitli veya özel biçimi

olan ayaklar da kullanılmıştır. Dayanımı arttırmak amacıyla, ayakların çoğunlukla kesme taş örgülü yapıldıkları gözlenmektedir.



Şekil 3.4. Ayak detayı

Ana taşıyıcı ayaklarda meydana gelebilecek bir çatlak veya mafsal oluşumu, yapının stabilitesini bozarak tamamen yıkılmasına neden olabilir. Bu sebeple, bu tür elemanlarda kesitin eğilme eksenine dik doğrultudaki boyutunun üçte birinden fazla bir bölümde çekme gerilmesi oluşmayacak çok büyük kesit boyutlarına ihtiyaç vardır. Tarihi yapılarda görünen büyük kesite sahip sütun ve ayakların, geçmişte yıkılan yapılardan alınan derslere göre bu şekilde yapıldığı anlaşılmaktadır (Mahrebel, 2006). Tarihi yapılarda kullanılan ayak örneklerinden ikisi Şekil 3.5.'de verilmiştir.



Şekil 3.5. Tarihi yapılarda ayak örnekleri

3.4 Kemerler

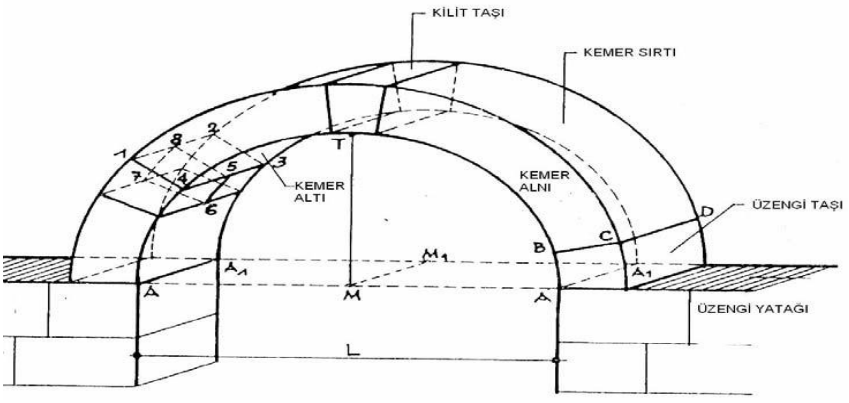
İki sütun veya iki ayak arasındaki bir açmanın üstünü örtmek için, uçları bu sütun veya ayaklara oturmak üzere yay şeklinde yapılan, ahşap, tuğla, taş, maden ya da

kagir yapı elemanına “kemer” denir. Yatay ve düşey yükleri taşıyan ve belli noktalara aktaran yapı elemanlarıdır. (Şekil 3.6.)

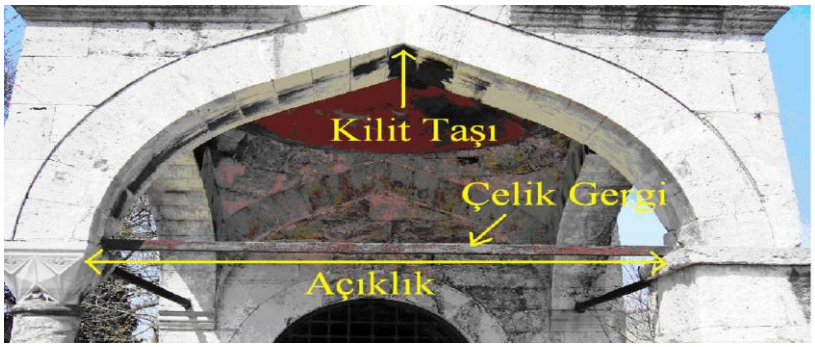


Şekil 3.6. Tarihi yapılarda kemer örnekleri

Bir kemerde, kemer örgü taşı olarak üzengi, kilit taşı ve kemer taşları olmak üzere üç eleman bulunur. Üzengi taşı, kemerin başlama taşıdır. Kilit taşı, kemerin düşey ekseninde bulunan ve kendisi ile üzengi arasındaki taşları kilitleyen taştır. Kemer taşları, kilit taşı ile üzengi taşları arasında kemeri oluşturan taşlardır (Bayülke, 2011). Şekil 3.7. kemeri oluşturan taşlar şematik olarak gösterilmiştir. Şekil 3.8.’de de Süleymaniye Cami Avlusunda bulunan kemer örneği gösterilmektedir.



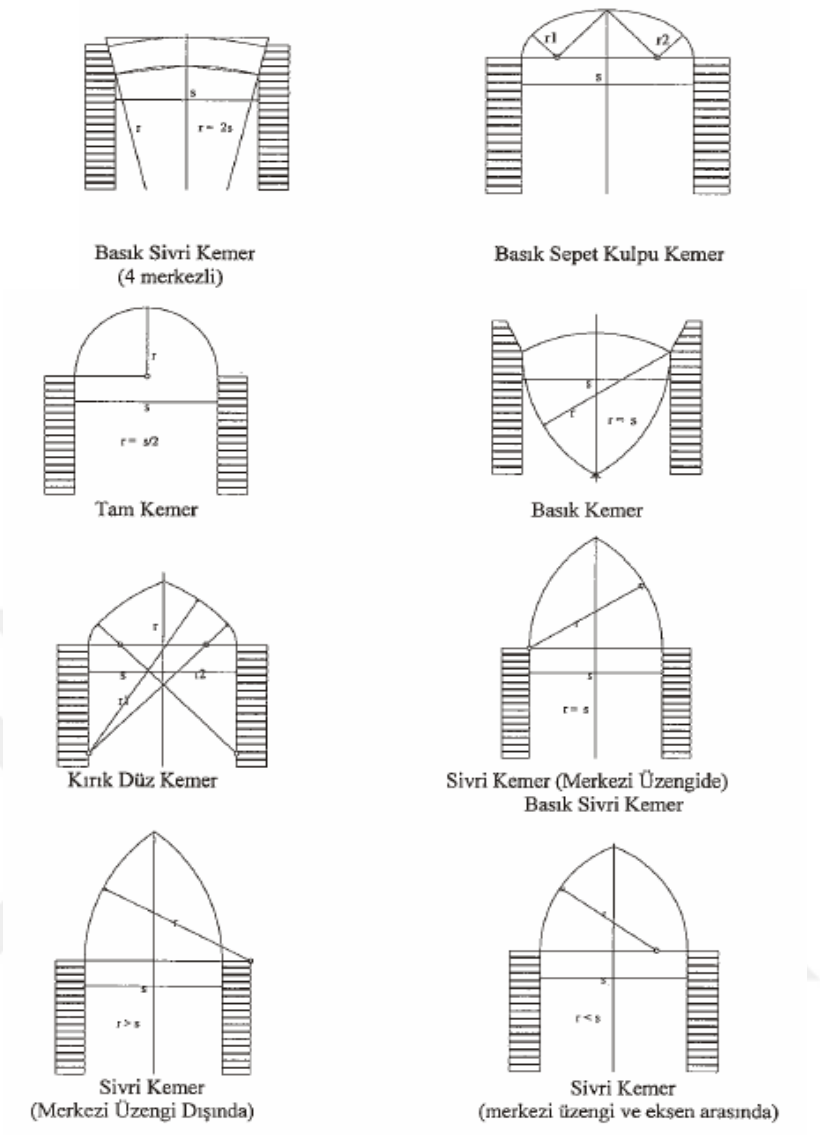
Şekil 3.7. Kemerin Muhtelif Kısımlarının İsimleri (Bayülke, 1992)



Şekil 3.8. Kemer gösterimi (Süleymaniye Cami Avlusu-İstanbul)

(**Kaynak**: www.tr.wikipedia.org. Erişim Tarihi: Aralık/2011)

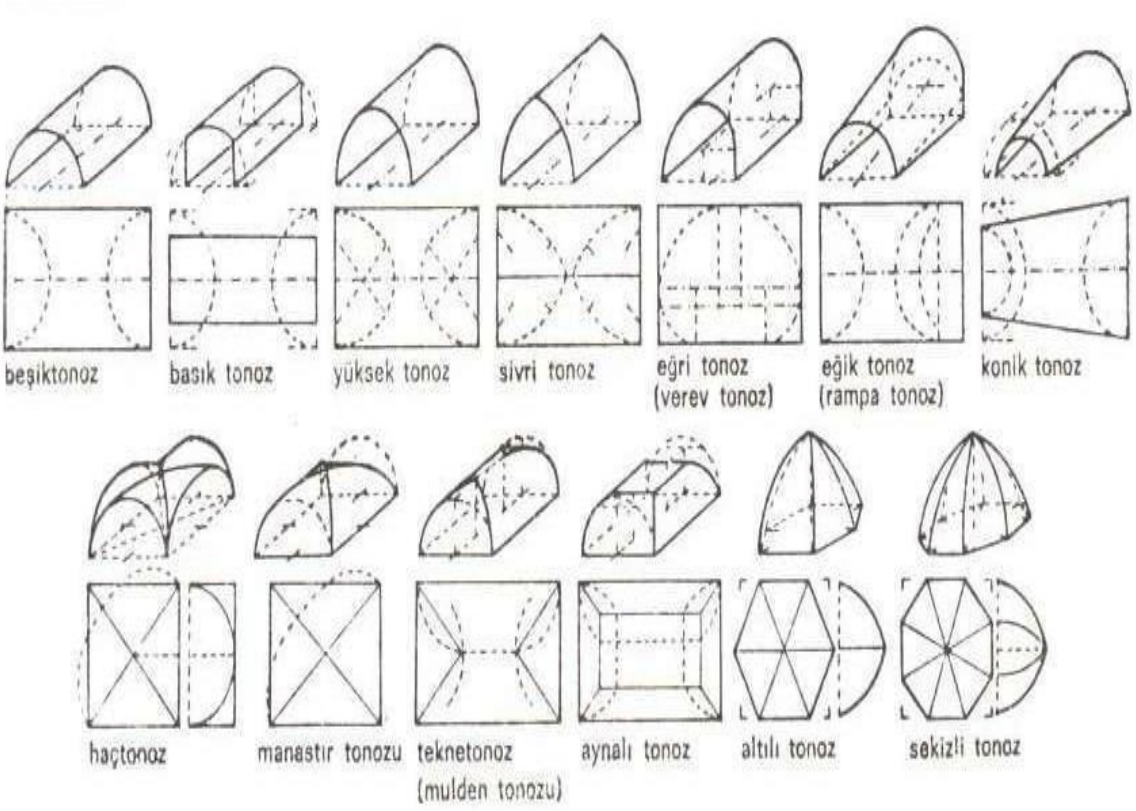
Kemerler, yerçekiminin etkisiyle düşey yük etkisi altındadır. Düşey yükler, kemeri oluşturan malzemelerden (kerpiç, tuğla veya taş v.b) oluşur. Düşey yükün şiddetinin yatay yükten büyük olması sonucu, kesit içerisindeki çekme kuvvetlerinin şiddeti azalır. Kemerin herhangi bir noktasında oluşacak çekme kuvveti, zaten çekme kuvvetlerine karşı çok zayıf olan malzemelerden üretilen kemerde çatlaklar meydana getirir. Çatlakların oluşması, her zaman kemerin stabilitesinin bozulmasına neden olmayabilir. Kemerlerin stabilitesinin bozulmasına neden olan en büyük etken, mesnetlerin açıklık yönünde açılmasıdır. Bu yüzden. pek çok tarihi yapının taş, tuğla kemerlerinde ahşap veya metal gergi çubuğu kullanılmıştır. Gergi çubukları iki ayak, bir ayak bir duvar veya iki duvar arasında kullanılmıştır. Taşıyıcı öğeler üzerine, üst örtünün üzengi seviyesinde veya hemen altında bulunan taşa oyulmuş yuva ya da duvar içerisine bırakılmış boşluklara mesnetlendirilmişlerdir. Bu gergi çubuklarının bir başka özelliği ise de, ayakların kemer itkisinden etkilenmesini önlemektir. Gergi ile bağlanması istenmeyen durumlarda, duvarlara payandalarla desteklenmiş ayaklar uzatılarak, eksenleri doğrultusunda, kemer mesnetleri üzerine ağırlık kütleleri asılmıştır (Ünay, 2002). Kemerlerin yapım şekillerine göre çeşitleri Şekil 3.9.'da verilmiştir.



Şekil 3.9. Kemeri yapım şekilleri (Mahrebel, 2006)

3.5 Tonozlar

Bir dizi kemerin aynı sırada art arda dizilmesi ve birbirine bağlanması ile elde edilen kapalı koridor şekilli yapı elemanlarına "tonoz" denir. Tonozlar sayesinde, üst yapıyı taşımak için sağlam fakat hafif alt yapılar sağlanması mümkün olur. Tonoz çeşitleri Şekil 3.10. verilmiştir.



Şekil 3.10. Tonoz Çeşitleri

Tonoz, kendi ağırlığı ile birlikte üzerindeki kaplama yüklerini de taşır. Bir tonozun kesiti, aynı eğrilikteki bir kemerin eşdeğeridir. Tonoz mesnetlerinde oluşan yanal kuvvetler, temellere doğru kalınlaştırılmış duvarlar, kemerlerde olduğu gibi gergiler veya payandalarla taşınır (Mahrebel, 2006).

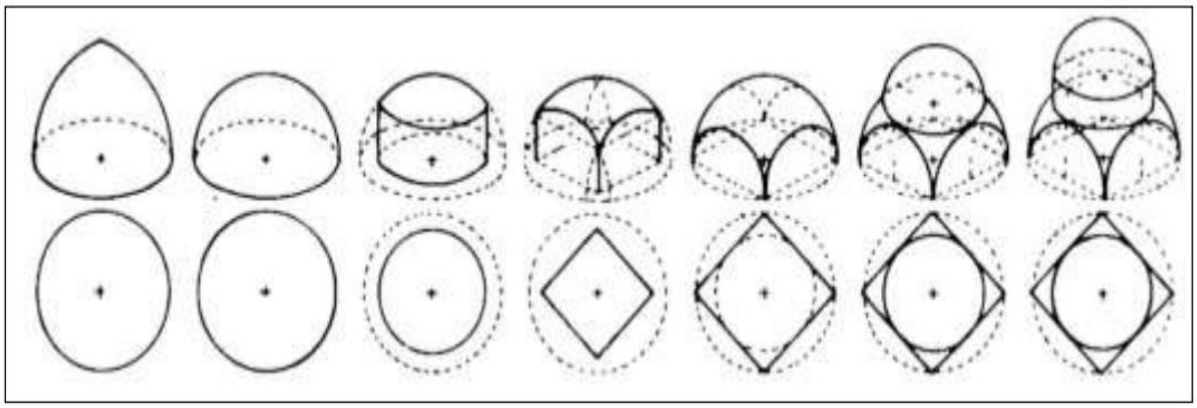
Şekil 3.11.'de tarihi binalardan tonoz örnekleri verilmiştir.



Şekil 3.11. Tarihi binalardan tonoz örnekleri

3.6 Kubbeler

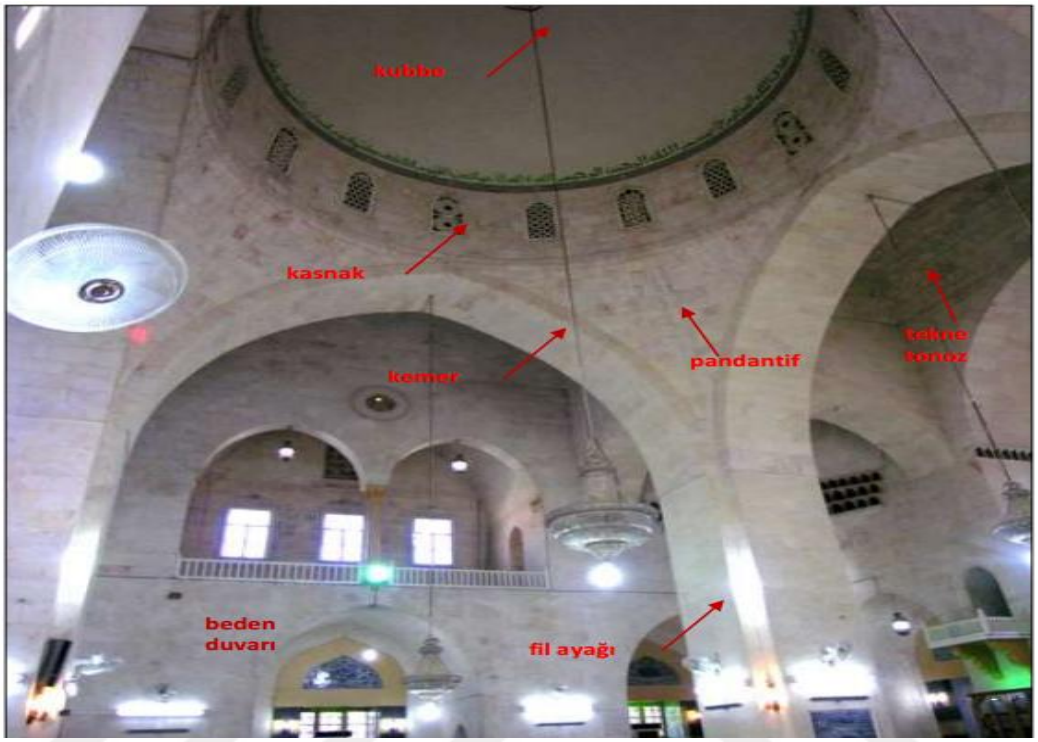
Kubbeler, kendi ağırlıkları ve kar yükleri gibi düşey kuvvetleri yüzeyleri boyunca taşıyan, düzgün eğri yüzeyli birer taşıyıcıdırlar. Uzay yüzeysel taşıyıcı olarak, kubbe, kare, çokgen ve dairesel planlı yapıları örtmekte kullanılır. Kubbe çeşitleri Şekil 3.12.'de verilmiştir.



Şekil 3.12. Kubbe çeşitleri

Tarihi yapılarda malzeme kâgirdir. Taşıma ilkesi yükün en tepedeki kilit taşından başlayarak, komşu taşlara aktarıla aktarıla kubbenin tabanına iletilmesine dayanır. Bu sebeple kubbe tabanına gelindiğinde yükün yatay ve dikey bileşenleri söz

konusu olacaktır. Dikey bileşen, kubbeyi tutan kemer, duvar gibi elemanlarla zemine aktarılır. Yatay bileşen de, ciddi boyutlardaysa kubbe bir gergiyle desteklenir. Kubbenin zemine yük aktaran elemanları Şekil 3.13.'de verilmiştir.



Şekil 3.13. Kubbenin zemine yük aktaran elemanları

Yüklerin kubbe üzerinde etkisi ve meydana getirdikleri iç kuvvetler, günümüzde kabuk teorisi yardımı ile teorik ve nümerik olarak hesaplanabilmektedir. Kubbeye etkiyen yüklerin dağılımı uygunsa ve kubbenin mesnetlendirme tarzı uygun seçilmişse, bir kubbe tekil yükler ve sıcaklık etkileri hariç öz ağırlık, kar ve rüzgâr gibi yayılı yükleri büyük ölçüde membran kesit kuvvetleriyle karşılayabilir. Dolaysıyla tarihi kubbeler, çekme dayanımı basınç dayanımına göre düşük olan malzemelerden yapılmış olsalar dahi, yüklerin en az bir kalınlıkla, yani en az malzeme miktarıyla, taşınabilmesine imkân sağlarlar (Bilgin, 2005). Şekil 3.14. kubbe örnekleri verilmiştir.



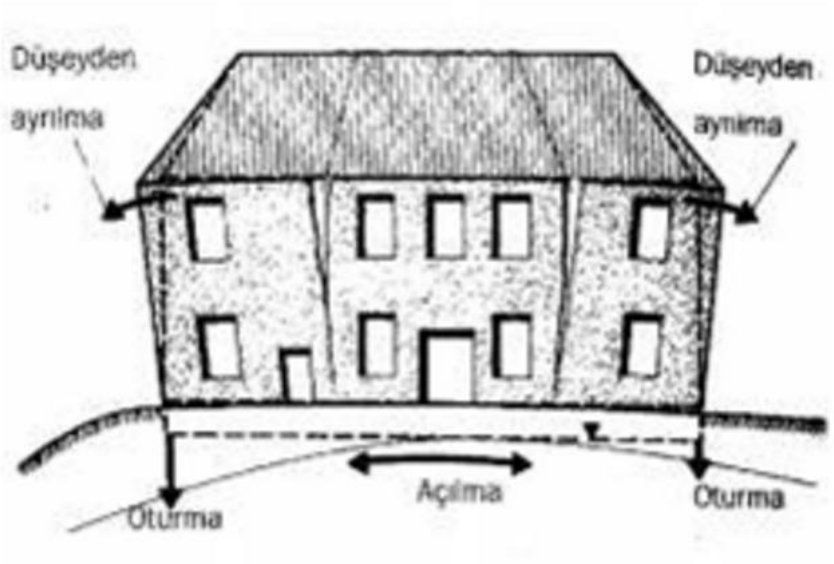
Şekil 3.14. Kubbe örnekleri

4.TARİHİ YAPILARDA GÖRÜLEN HASAR TÜRLERİ

Tarihi binalar ve anıtlar zaman içinde aşınır ya da doğal afetler sonucunda ağır hasar görür. Tarihi yapıların olası hasar nedenlerinin bilinmesi ve güçlendirilmesi için yapılacak müdahaleden önce, yapının geçmişinin, varsa çatlak ve deformasyonlarının, taşıyıcı elemanların yük taşıma mekanizmasının, malzeme karakteristiklerinin ve mukavemetlerinin, yük dağılımlarının, temel, zemin ve geoteknik özelliklerinin, yapım tekniklerinin bağlayıcı elemanlarının strüktürel açıdan aksaklıkları, yapı malzemesindeki sorunlar gibi faktörlerin belirlenmesi gerekir. Bu durumun belirlenmesi, hasar nedenlerinin teşhis edilip araştırılması ve analizlerin yapılması için, uzmanlar arası bir çalışma olmalıdır. Örneğin, taşıyıcı sistem ile ilgili farklı oturma, dönme, ezilme, kayma çatlama, malzemedeki bozulmalar ve yanlış onarımların neden olduğu hasarların teşhis ve çözümü için, zemin ve strüktür mühendisleri, yapı fiziği uzmanları, kimya mühendisleri gibi disiplinlerden yardım alınmalıdır (Yavuz, 2012).

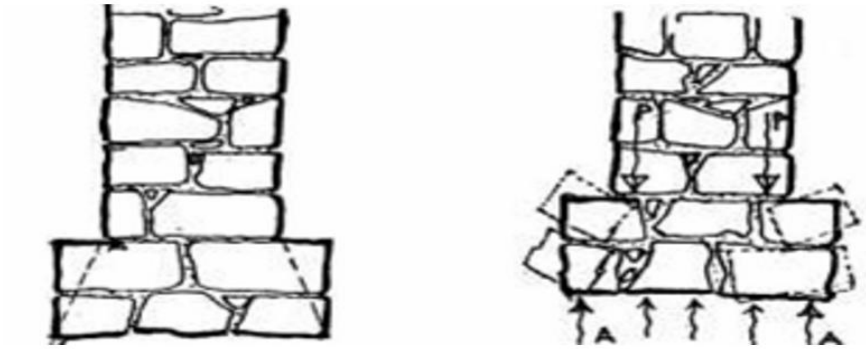
4.1 Zeminden Kaynaklanan Hasarlar

Yapının üzerine oturduğu zeminin mukavemetinin düşük olması, ya da homojen olmaması zamanla yapıda bazı hareketlerin oluşmasına, dönme, farklı oturma gibi gözle görülebilen bozulmalara neden olabilir. Temel altındaki zemin homojen olmadığından, yapıda çatlamalar görülür. Çatlakların yapıdaki yerlerine, doğrultularına bakılarak hasar nedeninin zeminden kaynaklanıp, kaynaklanmadığı hakkında kabaca fikir edinmek mümkündür. Eğer yapı iki ucundan sağlam zemine oturuyor, ancak arada kalan bölgede zemin gevşekse, cephede kapı ve pencere boşluklarının köşelerinden başlayan ve 45 derece açıyla yanlara doğru gelişen çatlaklar kama görünümündedir. Aşağıda dar, yukarı doğru açılan bir düzen gösterir. Zeminden kaynaklanan hasarların tanınması ve düzeltilmesi zemin mühendislerinin uzmanlık alanına girmektedir ve ayrıntılı inceleme için onlara danışılır. Durumun özelliğine göre bir çözüm seçimi söz konusudur. Oldukça zor ve pahalı bir işlem olan zemin sağlamlaştırma ve ya sağlam zemine inen temel yapımı gibi işlemler gerekebilir. Bir yapının fay hattı üzerinde yer alması ya da oluşumunda çatlaklar bulunan bir kaya üzerinde yapılmış olması da onun bozulma, yok olma riskini arttıran etkenlerdir (Amman, 2012).



Şekil 4.1. Binaların düşeyden ayrılma ve oturma şeması

Yığma yapılarda oturma hasarının nedeni, çoğunlukla temellerin altındaki özellikle killi zeminlerin taşıma gücünün, su kaçakları sonucu zayıflamasıdır. Yapı temellerinin altında oluşan bölgesel oturmalar, yapı duvarlarında çatlakların oluşmasına sebep olmaktadır. Binaların düşeyden ayrılma ve oturma şeması Şekil 4.1.'de verilmiştir.



Şekil 4.2. Temel taşlarının doğru yerleştirilmemesi sonucu oluşan çökme

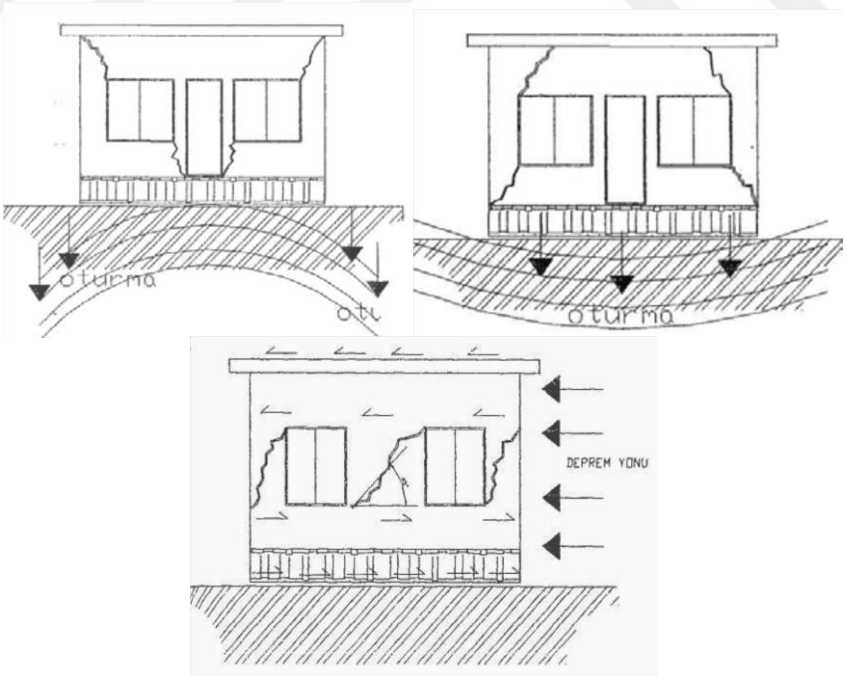
Yığma yapıların duvarlarına gelen düşey gerilmeler ile kullanılan temel boyutları karşılaştırılınca, zemine aktarılan gerilmelerin oldukça küçük değerlerde olduğu görülür. Eğer çok sığ temel yapılmamış ise yapının kendi ağırlığından dolayı oturma olasılığı azdır. Ancak kanalizasyon kaçakları ya da başka yeraltı su sızıntıları nedeni ile temellerin altının boşalması ya da buradaki killi zeminin kohezyonunun azalması oturma hasarına yol açmaktadır. Bununla birlikte gevşek zemine kurulmuş

yığma yapılarda deprem etkisiyle oturmalar daha hızlı bir şekilde gerçekleşerek duvarların göçmesine yol açmaktadır. (Şekil 4.2.)

4.2 Taşıyıcı Duvarlarda Oluşan Hasarlar

Taşıyıcı duvarlar, çatı ve döşemelerden gelen düşey ve yatay yükleri taşır. Etkiyen dış yükler yapının çekme kapasitesini aştığında çatlaklar ortaya çıkar. Dış yükler, temel oturmaları, farklı sünme, nem nedeniyle oluşan çökme ya da depremden kaynaklanır. Yapıda oluşan hasarlar yük taşıma kapasitesini, kalıcılığını (durabilite) ve görünüşü etkiler (Arun, 2005).

Yapıda meydana gelen strüktürel sorunların olduğunun en büyük göstergeleri kagir duvarlarda oluşmuş çatlaklardır. Çatlakların boyutları, hareket edip etmedikleri bize yapıda hareketlerin devam edip etmediğine dair ipuçları vermektedir. Kagir duvarlarda oluşmuş bu çatlaklar üzerinde çeşitli yöntemler ile yapılacak araştırmalar sonunda gerekli bilgilerin edinilmesi mümkün olmaktadır (Düşüt, 2003). Taşıyıcı duvarlarda düşey ve yatay yüklerden kaynaklanan çatlak tipleri Şekil 4.3.'de verilmiştir.



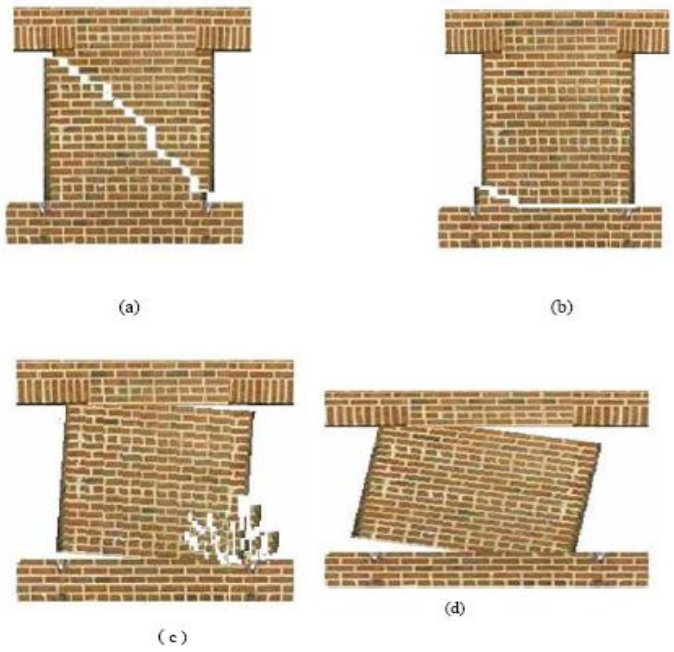
Şekil 4.3. Taşıyıcı duvarlarda, düşey ve yatay yüklerden kaynaklanan çatlak tipleri

Yığma yapılarda hemen tüm duvarlar taşıyıcı olduğu için, duvarlardaki her türlü hasar doğrudan taşıyıcı sistemi etkiler ve bu açıdan betonarme yapılardaki gibi taşıyıcı

ve taşıyıcı olmayan bölüm hasarı gibi bir ayrım yapılamaz. Yığma yapıların duvarları oturmalara karşı çok duyarlıdır. En küçük temel oturması duvarlarda hemen gözlenir. Bunun nedeni yığma duvarın gevrek malzemeden meydana gelmesi ve bu malzemenin çatlamadan dayanabileceği elastik gerilim ya da yüklerin çok düşük olmasıdır. Dayanımı zayıf bir malzeme olduğu için kolayca hasar görür. Deprem sırasında yığma kagir yapılarda karşılaşılan başlıca hasarlar. Duvarların düzlemi içinde kesme çatlaklarının oluşması, düzlemi dışında devrilmesi, duvarların köşelerden ayrılması ve döşemelerin duvarlardan ayrılıp yıkılmasıdır.

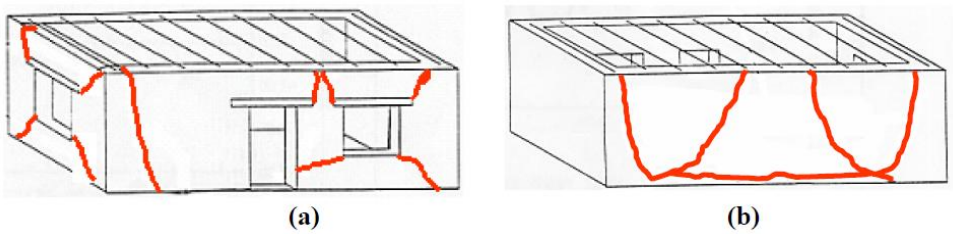
Duvarın düzlemi doğrultusundaki yer değiştirmeler genellikle yapı stabilitesini tehlikeye sokmaz. Çatlaklar oluşurken duvar düzlemi doğrultusundaki sürtünme çatlakları sınırlar. Duvarın düzlemi doğrultusunda etkiyen kuvvetler altında çatlaklar büyür. Pencere ve kapı boşluğu bulunmayan duvarlarda diyagonal çatlaklar oluşur. Yapı titreşimine neden olan kuvvetler çatlakları oluşturdukça yapıdaki dinamik karakteristikler değişir, doğal frekans azalır ve yer değiştirmeler artar. Yanal hareket devam ettikçe düşey yük ve sürtünme etkisiyle çatlaklar birbirini kesip duvar yüzeyinde bağımsız duvar blokları oluşturur ve çatlaklar doğrultusundaki hareket artar. Titreşim periyodu uzayan kagir yapının rijitliği azalır. İnce duvarlarda, diyagonal çatlakların oluşturduğu bloklar kayıp duvar dışına düşebilir (Arun, 2005).

Şekil 4.4.’de yatay derzlere paralel yükler altında yığma duvarlarda kırılma biçimleri gösterilmektedir. Harç dayanımı tuğla dayanımından yüksek tuğlaları da kesen çatlaklar (Şekil 4.4.a), harç dayanımı tuğla dayanımından küçük derzlerden geçen çatlaklar (kayma) (Şekil 4.4.b), duvar topuklarındaki ezilmeler (Şekil 4.4.c), taşıyıcı duvarların döşemelerden ayrılarak sallanması (Şekil 4.4.d) gösterilmektedir.



Şekil 4.4. Yatay derzlere paralel yükler altında yığma duvarlarda kırılma biçimleri (Ülker, 2016)

Çatlaklar gerilme yoğunluğu yüksek olan bölgelerde meydana gelir. 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. düşey ve yatay yüklerden kaynaklanan çatlak tipleri (Mahrebel, 2006)

Yığma yapının yıkılmasına yol açabilecek en büyük tehlike, duvarın düzlemi dışına doğru yer değiştirmeleridir. Çatlamış duvarların düzlemine dik kuvvetlere karşı stabilitesinde duvar kalınlığı ve narinliği (yükseklik/kalınlık) önemlidir.

λ) Narinliğine (yükseklik/kalınlık) bağlı duvar kalınlığı:

$\lambda < 6$ ise kalın

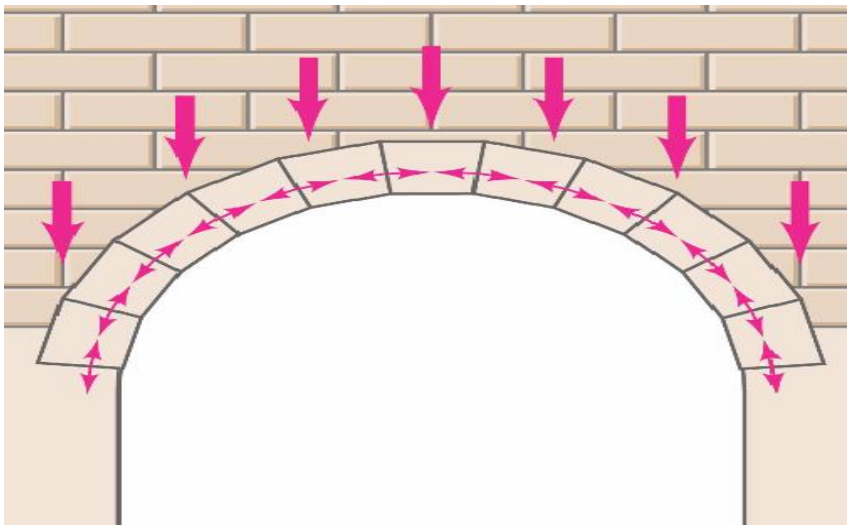
$\lambda = 6 – 8$ ise orta

$\lambda > 8$ ise ince, olarak belirlenir.

Duvar yüksekliği tabandaki duvar kalınlığının 8 katını geçmediği yapıların depremlerde iyi davrandığı gözlemlenmiştir. Ayrıca duvar üstünde duvarları bağlayacak bir kiriş düzenlemek ya da üst kat döşemesi ya da çatı sisteminde yapılacak eklerle (konsol) ek düşey yük sağlamak, sistemin düzlemine dik etkiyen yüklere karşı stabilitesini artırır (Arun, 2005).

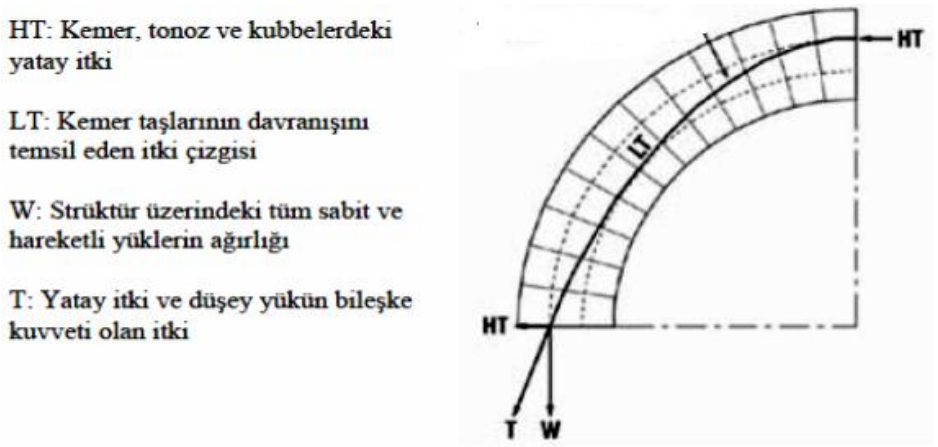
4.3 Kubbe, Kemer ve Tonozlarda Oluşan Hasarlar

Yığma duvarlar basınç dayanımları olmasına karşın, donatı içermediklerinden çekme kuvvetleri altında herhangi bir dayanım göstermezler ve hasara uğrarlar. Bu nedenle eğilme etkisinde çalışacak döşeme, çatı vb. elemanlar kemer, kubbe ve tonoz gibi eğrisel elemanlar olarak tasarlanırlar. Ancak simetrik olmayan yüklemeler, farklı oturmalar ve deprem etkileri taşıyıcı elemanlarda çekme gerilmelerinin artışına ve yoğunlaşmasına neden olur. Çekme gerilmelerinin yoğunlaştığı yerlerde çekme gerilmelerine dik doğrultularda çatlaklar oluşur. Böylece yük aktarımının sürekliliği kaybolur ve bölgesel göçmeler/çatlamalar ve dökülmeler gözlenir. Özellikle taşıyıcı elemanda meydana gelecek oturma ve dönmeler oldukça tehlikelidir. Bu nedenle oluşan hasarlar kalıcı olmakla birlikte yapının o bölgede tamamen göçmesine neden olabilir (Çelik, 2016). Şekil 4.6.'da kagir kemerlerde yük aktarma diyagramı verilmiştir.



Şekil 4.6. Kagir kemerlerde yük aktarma diyagramı

Kemerin statik özellikleri geçtikleri açıklığa ve kemer yüksekliğine bağlı olarak değişir. Kemerin orta çizgisine teğet olarak düşünülen tepki kuvvetleri yatay ve düşey iki bileşene ayrılır. Yatay bileşen kemer yüksekliği ile ters orantılı olarak değişirken düşey bileşen değişmez. Kemer yüksekliği arttıkça yatay itki kuvveti azalır. Basık kemerlerin uçlarda dengelenmesi bu nedenle zordur. Basık kemerlerin uçtaki itki kuvvetini dengelemek için germe (çekme elemanları) kullanılır. Ya da yatay itki kuvveti ağır blok temellerle veya öngerilmeli kenar kirişleriyle karşılanabilir. (Şekil 4.7.)



Şekil 4.7. Kemerde itki çizgisinin yeri

Yer çekimi kuvvetleri, kalın kemerlerde iç halka ve dış halka arasında, duvar boşluğu çevresinde çatlaklar oluşturabilir. Yükün artmasıyla ezilme ve parça kopma ortaya çıkar. Şekil 4.8.'de yerçekimin kemerlerde oluşturduğu çatlak tipleri örneklendirilmiştir.



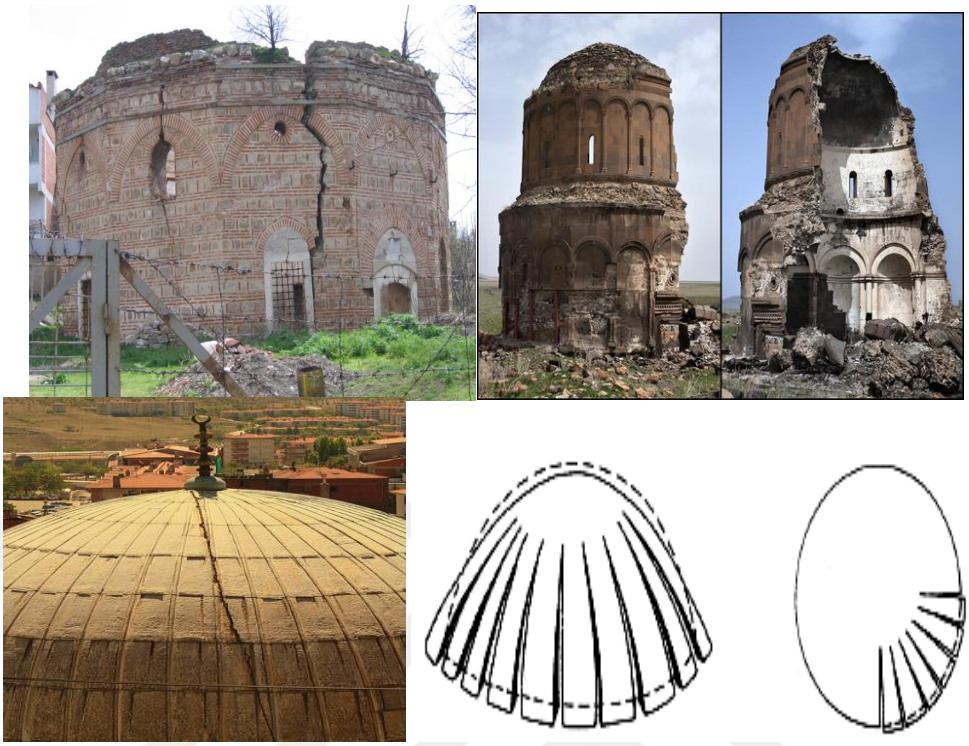
Şekil 4.8. Yerçekimin kemerlerde oluşturduğu çatlak tipleri

Bünyesinde çekme gerilmeleri olan tonoz ve kubbelerde, çekme bölgesindeki kalınlaştırma (ağırlık) azaldığında çekme bölgesi aktif hale gelir ve mesnetleri dışa doğru iterek tonozlarda mesnetlere paralel, kubbelerde mesnetlere dik çatlaklar oluşturur. (Şekil 4.9.)

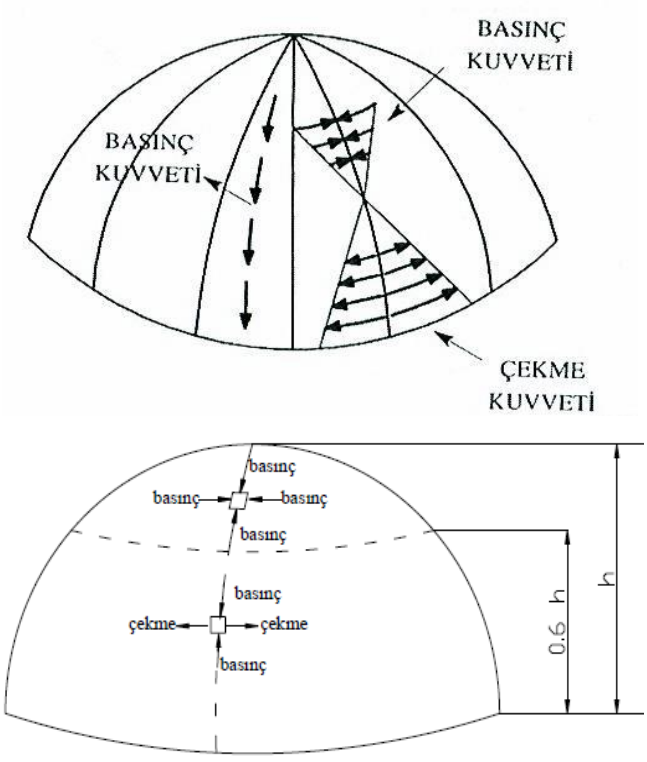


Şekil 4.9. Yerçekimin tonoz ve kubbelerde oluşturduğu çatlak tipleri

Kagir kubbelerde hasar genellikle çekme bölgesinde oluşmaktadır. Kubbe eteği bölgesindeki çekme kuvvetleri bu bölgede düşey çatlaklara neden olabilmektedir. Bir kemerin düşey aksı çevresinde döndürülmesiyle oluşan kubbede düşey yükler, kilit taşından başlayarak komşu taşlara aktarılıp kubbenin tabanına kadar iletilir. Taşlara düşey olarak etkiyen ağırlık kuvveti, komşu taşlara çapraz olarak iletilir. Böylece kubbe tabanında toplanan yükün yatay ve düşey iki bileşeni ortaya çıkar. Kubbede hasara genellikle bu yatay kuvvet sebep olur. Şekil 4.10. ‘da kubbe hasar örnekleri verilmiştir.



Şekil 4.10. Deprem, hava koşulları, yer çekimi, zemin v.b durumlar sonucu kubbelerde oluşan hasarlar



Şekil 4.11. Kubbelerde yük taşıma mekanizması (Haluk SESİGÜR, Şubat, 2007)

Yükün düşey bileşeni, kubbeyi taşıyan kemer, duvar vs elemanlara aktarılırken, yatay kuvvette 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. Kasnağın kubbeden gelen yükleri taşıyamaması neticesinde kubbede çekme gerilmeleri oluşur. Kubbeler basınç altında çalışan elemanlardır, kubbede oluşabilecek çekme kuvveti düşeyde çatlak oluşumuna dolayısıyla kubbenin hasar görmesine sebep olur (Aköz, 2008). Şekil 4.11.'da kubbelerde yük taşıma mekanizması gösterilmektedir.

4.4 Tarihi Yapılarda Görülen Diğer Hasar Türleri

Yapı malzemeleri, uzun yıllar boyunca iklimlere göre değişen çeşitli atmosfer etkilerine maruz kalırlar. Atmosfer etkileri, yapıların özellikle dış çevreye açık olan çatı, dış duvar ve cephelerinde kullanılan malzemeler üzerinde önemli sorunlara yol açarlar. Bu etkiler, suyun hareketi, ıslanma-kuruma, sıcaklık değişimleri, donma-erime, rüzgar, yağmur ve bunlarla taşınan çeşitli tuzlardır.(Şekil 4.12.)



Şekil 4.12. Atmosferin etkisiyle taşlarda oluşan bozulma örnekleri

İklim koşulları yapı üzerinde önemli hasarlara neden olabilmektedir. Özellikle gece-gündüz ısı farklılıklarının çok büyük olduğu karasal iklimlerde yapının taşıyıcı yığma elemanlarının içerisinde yer alabilecek beton, ahşap ya da metal parçalar (gergi, hatıl, kilit vs.) ısıl genleşme farklılıkları nedeniyle yığma elemanda çatlaklar oluşmasına neden olabilirler. Donma-çözülme etkileri nedeni ile yığma yapılarda kullanılan doğal

taşlar zaman içinde asit yağmurları vb. çevresel etkiler nedeni ile erozyona uğrayarak ciddi oranda zarar görürler. Bununla birlikte emici yapılarından dolayı atmosferdeki kirlilikten etkilenirler ve zamanla kararararak estetik görünümlerini kaybederler. Genellikle taş yüzeylerinin doğrudan yağmur suyu ile yıkanmayan bölümlerinde hava kirliliği sonucu kabuk meydana gelir. Bu kabuk, yapılarda kalın ve genellikle koyu gri-siyah renkli oluşur.(Şekil 4.13.)

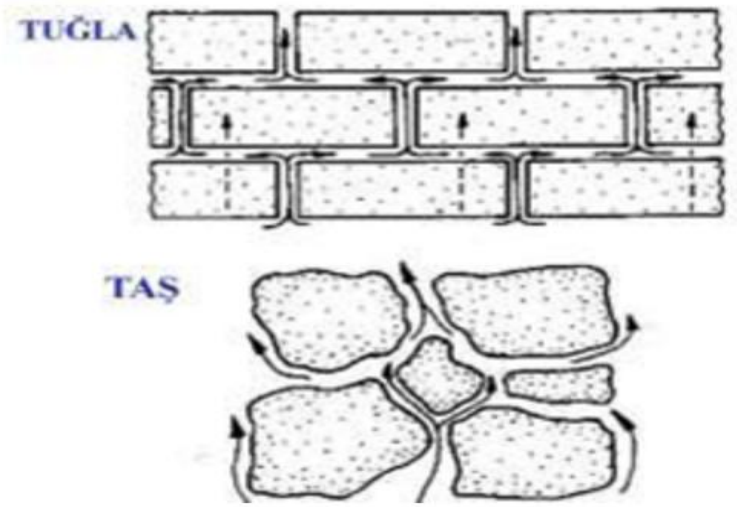


Şekil 4.13. Siyah kabuk oluşumuna örnekler

Suyun, kapilarite ile bina içindeki hareketi de yapı malzemelerinde hasara neden olmaktadır. Zeminden yükselen nem taşıyıcı sisteme gelen yükü fazlalaştırdığı gibi, ayrıca içinde taşıdığı tuzların duvar yüzeyinde buharlaşması sonucu çiçeklenmelere, duvarın fiziksel ve kimyasal yapısını bozucu etkilere neden olabilmektedir. Yağmur sularının bozulan bir çatı kaplaması veya deresinden dolayı binadan hızla uzaklaştırılamaması, yosun ve otların gelişmesine uygun ortamı hazırlar. Bozuk olan ayrıntı çevresinde yosunlar yerleşir, ahşap çatı ve döşemelerde mantarlar gelişir. Ciddi hasarların başlangıcı olabilecek bu bozulmaların sürekli bakımla giderilmesi gerekir (Mahrebel, 2006).

Su, yapı malzemelerine çeşitli şekillerde ulaşarak zarar verebilir:

- Su, yağmur suyu halinde yapının çatı, cephe gibi dışa açık bölümlerinden girebilir. Burada iki çeşit olumsuz etki vardır. Birincisi, doğrudan suya maruz kalan taş yüzeylerinin ıslanması ve suyun içeri girmesidir. Taşın alabileceğinden fazla suyu emmesi yani doygun hale gelmesi, bozulmasına, zayıflamasına ve zamanla işlevini yitirmesine neden olur. İkincisi, yapının herhangi bir yerinde bulunan çatlak veya delikten suyun içeri sızmasıdır. Fark edilemediği zaman ilerleyerek ciddi sorunlara yol açabilir. Duvar örgüsündeki suyun hareketi şekil 4.14'de verilmiştir.

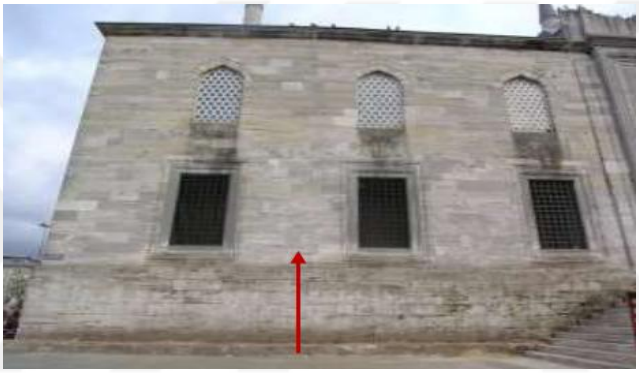


Şekil 4.14. Duvar örgüsünde suyun hareketi

- Islanma- Kuruma, gözenekli bir yapı malzemesinin yüzeyi tarafından emilen suyun, malzemenin içindeki hareketidir. Su, öncelikle küçük boyutlu gözenekler tarafından emilir. Bu gözenekler birleşerek kanallar oluştururlar. Kanallar, emebilecekleri kadar suyla dolduktan yani doyduktan sonra, suyu büyük boyutlu gözeneklere ulaştırırlar. Bu iletim işlemi, malzeme tümüyle suya doyana kadar devam eder. Tüm gözenekleri suya doyan malzeme, ıslanma sürecini tamamlamış demektir. İkinci aşamada, suyun ters yöndeki hareketi başlar. Suyun yüzeye doğru hareket ederek, buhar halinde malzemeyi terk etmesine de kuruma denir. Islanma-kuruma çevriminin hızı ve tekrarlama sıklığı, hava sıcaklığı, rüzgâr, bağıl nem gibi atmosfer koşullarına ve gözeneklerin boyut, şekil ve dağılımına bağlıdır. Islanma kolay ve hızlı, kuruma ise zor ve daha yavaş bir süreçtir. Bu doğal çevrim süreci, malzemenin bozulmasını ve yaşlanmasını hızlandırıcı etki yapar.

- Suyun buhar halinde malzemeye ulaşması, içyapısında yoğuşmaya bağlı olarak çeşitli bozulmalara yol açar. Sıcaklık ve bağıl nemin fazla oluşu, bu hareketi hızlandırır.

Kılcallık, yer altı sularının, yapı temellerinden başlayarak yukarı doğru yükselmesine denir. Suyun kılcal hareketi, önlem alınmadığı zaman özellikle gözenekli taşlarda daha hızlı ve zarar vericidir. Suyun ilerleyişi, malzemenin bünyesindeki çok küçük boyutlu gözeneklerin birleşmesinden doğan çekim kuvveti ile gerçekleşir. Şekil 4.15.'de İstanbul'da bulunan Yeni Caminde yer altı sularının yükselişinin yapıya verdiği hasar gösterilmektedir.



Şekil 4.15. Yer altı sularının yapı temellerinden başlayarak yükselmesi ile oluşan bozulma (İstanbul. Yeni Cami)

Rutubet, yapının tümünü olumsuz etkileyebilen bir hasar nedenidir. Yalnızca taşın yapısını değil, tüm kârgir elemanların ve sıvanın da çözülüp dağılmasına, hatta bazı yapı elemanlarının işlevlerini yitirmesine yol açabilir. Özellikle yeterince havalanamayan iç mekânlarda, kötü koku, duvar yüzeylerinde ıslaklık, renklenme, çiçeklenme, tuzlanma ve hatta yosun oluşumu, rutubetin varlığına işaret eder (Şekil 4.16.) (Anonim, 2013).



Şekil 4.16. Tarihi eserlerde rutubet etkisi

Yosun oluşumu, sürekli rutubet ortamında gelişen bir biyolojik bozulma şeklidir. Genellikle temelden yükselen suyun ya da çevre koşullarının etkisiyle, duvarların zemine yakın bölgelerinde görülür. Kara yosunları, yağmur alan dönemlerde yumuşak ve yeşil, yazın ise sert ve sarı renktedirler. (Şekil 4.17.). Yüzeyi kaplayarak gerisindeki duvar örgüsünün nefes almasını engellediği için sakıncalıdır. İşaret ettiği temel sorun olan "sürekli nem"e sebep olan kaynakların yok edilmesi ya da engellenmesi gerekir.



Şekil 4.17. Taş yüzeylerinde ya da derzlerinde meydana gelen yosun oluşumları

Bakımsızlık, terk etme, kasıtlı tahrip gibi eylemlerle insanlar da tarihi yapıların hasar görmelerine hatta yok olmalarına sebebiyet verirler. (Şekil 4.18.) Kötü kullanım, yapının harap olma sürecini hızlandıran önemli bir etkendir. Tarihi yapılarda bilinçsizce yapılan değişiklikler, taşıyıcı sistem düzeninde aşırı yükleme veya süreksizliklere neden olmaktadır (Mahrebel, 2006).



Şekil 4.18. İnsanların ateş yakmak, yazı yazmak suretiyle tarihi eserlerde yaptığı tahribat örnekleri

Savaşlar, tarihi eserler için en büyük hasar ve tahribat nedenidir. Günümüzde yaşanan savaşlar sadece bugüne değil geçmişe de zarar vermektedir. Tarihi eserler, antik şehirler yok olup gitmektedir. Tüm dünyanın ortak mirası olan bu eserler,

uluslararası savaş hukuku kurallarına göre, tarihi eserlere zarar vermek suç olduğu halde artık savaş etiği kalmadığı için, bombalanmak, yakılmak, yıkılmak suretiyle yok edilmektedir. (Şekil 4.19.)



Şekil 4.19. Savaşta tahrip olmuş tarihi eser örnekleri

Aniden ortaya çıkan deprem, toprak kayması, sel, tayfun, yanardağ patlaması gibi doğa olayları tarihi çevrelerin, anıtların ve yapı malzemelerinin hasar görmesine neden olur. Deprem kuşağı üzerinde bulunan ülkemizde, tarih boyunca anıtlar yer sarsıntılarından hasar görmüş, yıkılmış, tekrar yapılmıştır. Seller, özellikle akarsu kenarındaki tarihi yerleşkelerin uğradığı bir hasardır. Edirne, Amasya gibi tarihi kentlerimizde anıtlar yüzyıllar boyunca, bahar dönemlerinde sel taşkınlarına maruz kalmışlardır. Yanardağ patlamaları da can ve mal kaybına yol açan, etrafındaki yerleşkelerdeki yaşamı tümüyle yok eden, önemli bir doğal afettir.



Şekil 4.20. Deprem ve sel baskını sonucu oluşan hasar örnekleri

5.TARİHİ YAPILAR İÇİN ONARIM VE GÜÇLENDİRME İLKELERİ

Tarihi yapı veya anıt denince, sadece geçmişten günümüze ulaşan büyük sanat eserleri değil, aynı zamanda kültürel anlam kazanmış olan daha basit yapıların da anlaşılması gerekir. Eski yapılar sadece bir tarihi eser olarak değil de aynı zamanda bir tarihi belge olarak da kabul edilmelidir. Bu nedenle, yapıyı mümkün olduğunca içinde bulunduğu ortamdan ayırmadan ve tanıklık ettiği tarihi özelliklerini bozmadan onarmak gerekmektedir. Tarihi yapılara ne şekilde yaklaşılması, gerçekte çok disiplinli, kapsamlı bir çalışmayı gerektirmekte olup, tek ölçüt var olan deprem tehlikesi nedeniyle "ne olursa olsun yapı güvenliği" değildir. Bölge Kültür ve Tabiat Varlıkları Kurullarınca tescil edilmiş yapılara "eski eser", "tescilli yapı" ya da "tarihi yapılar" denilmektedir (Haluk SESİGÜR, Şubat, 2007).

Tarihi yapılarda yapılacak olan her türlü işlem, 1931 yılında Atina Tüzüğü, 1964 yılında Venedik Tüzüğü, 1975 yılında Amsterdam Bildirgesi gibi metinler ile birtakım uluslararası kriterle belirlenmiştir. Ülkemiz bu kriterlerin çoğunun altına imza atmış olsa da ne yazık ki, uygulamada tamamen tersi durumlar ortaya çıkabilmektedir. Sevindirici bir gelişme olarak 2013 yılında ICOMOS Türkiye Milli Komitesi "Mimari Mirasın Korunması Bildirgesi" adı altında ulusal ve ortak uygulanabilecek ilkelerden oluşan bir metin hazırlamıştır. Ancak aynı il içinde bile yapılan onarımlarda hâlâ farklı görüntüler ve uygulamaların ortaya çıkması, bu alanda henüz büyük bir boşluğun olduğunu göstermektedir (Şahin, 2015).

Tarihi eserlerin restorasyonunda genel ölçütler,

1. Araştırma ve teşhis,
2. İyileştirici önlem,
3. Denetimdir.

Genel ölçütlerde öncelikle vurgulanan, restorasyon projelerinin disiplinler arası bir yaklaşımla ele alınması gereğidir. Günümüzdeki uygulamaların tamamına yakınında

sadece işveren ve yükleniciden oluşan bir yapılanma dikkat çekmektedir. Proje uygulamalarında her ne kadar bir danışman ismi olsa da çoğunlukla danışman denetimleri işveren veya yüklenicinin istekleri doğrultusunda şekil alabilmektedir (Şahin, 2015).

5.1 Araştırma ve Teşhis

Tarihi kültür varlığı kavramı sadece bir mimari eseri içine almaz, bunun yanında belli bir uygarlığın, önemli bir gelişmenin, tarihi bir olayın tanıklığını yapan kentsel ya da kırsal bir yerleşmeyi de kapsar. Bu kavram yalnız büyük sanat eserlerini değil, ayrıca zamanla kültürel anlam kazanmış daha basit eserleri de kapsar (Venediktüzüğü, 1964).

Kültür varlığının korunması ve onarımı için, mimari mirasın incelenmesine ve korunmasına yardımcı olabilecek bütün bilim ve tekniklerden yararlanılmalıdır. Restorasyon ile ilgili tüm işlemler ayrıntılı bir arkeolojik ve tarih araştırmasını izlemelidir. Yapının tarihi ile ilgili çalışmalarda, yapının hangi tarihlerde inşa edildiği, yapım sürecinde kesinti olup olmadığı, yapının ömründe uğradığı hasarların şeması ve mertebesi, yapıda gerçekleştirilen onarım ve güçlendirmelerin neler olduğu, yapının ve çevresinin kullanımında değişiklik olup olmadığı gibi sorulara yanıt aranmalıdır (Haluk SESİGÜR, Şubat, 2007).

Mimari mirasın korunmasında salt dış görünüş yani dış cepheye değil, yapının iç bölümlerine de önem verilmelidir. Mimari mirasın restorasyonunda, asıl hedef yapının tümünün korunması olmalıdır.

5.2 İyileştirici Önlem

Tarihi eserlerin onarım ve güçlendirilmesi için yapılacak çalışmalarda, bu binaların tarihi, kültürel, anıtsal, estetik, sembolik, sosyal ve hatta psikolojik değerlerinin olduğu unutulmamalıdır. Bu nedenle, tarihi eserlere zorunlu olduğu kanıtlanmayan hiçbir müdahale yapılmamalıdır. Tarihi yapıların onarım ve olası güçlendirilmesinde ana ilke, "yapılacak müdahalenin minimum düzeyde olması ve eserin özgünlüğünü yitirtmemesi"dir.

Tarihi yapının onarım ve güçlendirmesinde geleneksel yöntemlerin yetersiz kalması durumunda, yeterliliği bilimsel bilgiler ve deneylerle kanıtlanmış çağdaş yöntemler kullanılabilir. Restorasyonda uygunluğu tam olarak gösterilmemiş bir yöntemin kullanılması durumunda, yapılacak işlemin geriye dönüştürülebilecek ya da gerektiğinde sökülüp düzeltilebilecek şekilde olması önerilmektedir. Yapıda değişik periyotlara ait katkılar korunmalıdır (Haluk SESİGÜR, Şubat, 2007).

Her müdahale mümkün olduğunca, yapım tekniğine ve tarihi değerine saygı göstermeli ve onun gelecekte de anlaşılmasını sağlayacak izlerini korumalıdır. Yani bir hamamı veya kaleyi kendine ait izlerini ortadan kaldırarak yerine yenisini inşa etmenin günümüzde hiçbir anlamı yoktur.

5.3 Denetim

Her müdahale önerisi, mümkün olduğunca, çalışmada uygulamaya konulan bir denetim programıyla birlikte uygulanmalıdır. Sanırım en zayıf olduğumuz noktalardan birisi uygulamada uzman olarak görev alanların sık sık denetim yapmayarak görevlerini aksatmalarıdır. Nasıl bir kazı başkanının arkeolojik bir kazı esnasında, zorunlu bir durum yoksa devamlı kazının başında durması gerekiyorsa, mimari uygulamaların uzmanları da benzer şekilde restorasyon sona erene kadar şantiyeden ayrılmamalıdır. Böylece uygulama sırasında denetlenemeyen müdahalelerin de önüne geçilmiş olacaktır. Bütün denetleme ve izleme işlemleri, yapı tarihinin bir parçası olarak belgelenmeli ve saklanmalıdır (Şahin, 2015).

6.TARİHİ YAPILARDA ONARIM VE GÜÇLENDİRME TEKNİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Günümüzde tarihi yapıların korunması ve değerlendirilmesi amacıyla mevcut yapısal durumlarının kontrol edilerek ihtiyaç olması halinde onarılması ve güçlendirilmesi gerekmektedir. Tarihi yığma yapıların onarım ve güçlendirilmesinde dikkat edilmesi gereken en önemli husus, yapının aslının bozulmaması ve müdahalenin en az düzeyde tutulmasıdır. Yapının güvenliğinin sağlanması yanında tarihi özelliğinin de korunması gerekir. Bu da özel teknikler geliştirilmesini gerektirebilir. Bilinçli biçimde uygulanmayan güçlendirme işlemleri, bu yapılara faydadan çok zarar verecektir.

Tarihi nitelikte olan yığma yapıların onarım ve güçlendirilmesiyle ilgili kararlar alınmadan önce yapının taşıyıcı sistem rölövesinin hazırlanması, mevcut hasarların tespit edilmesi, yapının zemin ve malzeme özelliklerinin çeşitli deneylerle belirlenmesi, taşıyıcı sistemin sonlu eleman modeli kurularak statik ve dinamik analizlerinin yapılması, bu veriler ışığında hasar nedenlerinin tanımlanması ve taşıyıcı sistem güvenliğinin belirlenmesi gerekmektedir. Yapının taşıma gücünün istenilen düzeyde olmaması durumunda yapının kimliğine, tarihi geçmişine en az müdahale edecek bir anlayış ile yasa ve yönetmeliklere uygun olarak güçlendirme projesi hazırlanmalıdır (Aköz, 2008).

6.1 Çatlakların Onarımı

Deprem etkisi, oturma, zeminin sağlam olmayışı, kazı yapılması gibi mekanik nedenler ya da taşın gerisindeki bir demir elemanın paslanıp genişlemesi gibi baskı yapıcı etkiler sonucunda, çatlaklar meydana gelir. Çataklar, yapıdaki zayıf bölgeleri gösterir**.** Özellikle kuvvetli dinamik etkilere maruz kalan yapılarda çekme gerilmelerine dik yönde çatlaklar meydana gelir. Dolayısıyla çatlakların yönü ve şekli hasar sebeplerinin belirlenmesinde önemli rol oynar. Yığma yapı elemanlarında özellikle duvarlarda sıkça karşılaşılan hasar biçimi olan çatlakların onarılması, yerel bir güçlendirme olmakla birlikte yapının genel taşıyıcılığına da olumlu etkisi olduğu kesindir.

Çatlaklar, derinlik ve önemlerine göre iki grupta incelenir,

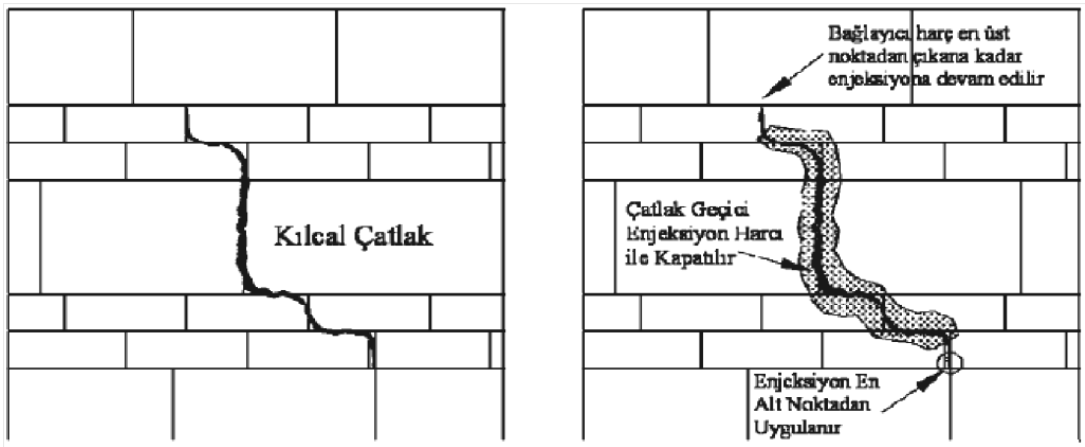
1. Kılcal (ince) çatlaklar: Yüzeyde görülen ve yapısal bir risk taşımayan çatlaklar, "kılcal çatlak" olarak adlandırılır.(Şekil 6.1. Birinci resim)
2. Yapısal çatlaklar: Genellikle deprem, oturma, dengesiz yük dağılımı ya da taşıyıcı sistemin hatalı yapılmış olması gibi etkilerden kaynaklanan derin çatlaklar, "yapısal çatlak" olarak adlandırılır. Çatlak, malzeme olarak taşı zayıflattığı gibi, devam ettiği uzunluğa ve derinliğine bağlı olarak yapının bütünü için de tehlikelidir. (Şekil 6.1. ikinci resim)



Kılcal çatlak Yapısal çatlak

Şekil 6.1 Kılcal ve yapısal çatlak örnekleri

İnce çatlakların ve kalın duvarlardaki çatlak ve boşlukların onarımında en uygun yöntem boşluğa duvarda kullanılan özgün malzemeye benzer özellikteki bir harcın enjekte edilmesidir. Şekil 6.2. çatlakların enjeksiyon yöntemi ile onarım şeması gösterilmiştir (Haluk SESİGÜR, Şubat, 2007).



Şekil 6.2. Çatlakların enjeksiyon yöntemi ile onarımı (Haluk SESİGÜR, Şubat, 2007)

Uygulamada en çok kullanılan enjeksiyon sistemi, taş derzlerinde 14 mm. çapında ve 15-40 cm. uzunluğunda delikler açılarak, bu deliklere monte edilecek packer'lardan, çatlak, boşluk vb. bölgelere poliüretan reçinelerinin uygun basınçlarda enjekte edilmesidir. Kısa sürede priz alan reçineler yığma duvarlardaki çatlak ve boşlukları, taş aralarını kalıcı olarak tamamen doldurur ve böylece yapıda istenilen onarım ve yalıtım sağlanmış olur. Enjekte edilen malzeme miktarı, çatlakların ve taşların içindeki boşlukların hacmine ve özelliğine göre değişir. Enjeksiyon yönteminde yapılan işler şu şekilde sıralanabilir,

a. Çatlakların basınçlı hava vb yöntemle temizlenmesi

b. Çatlakların geçici olarak kapatılması

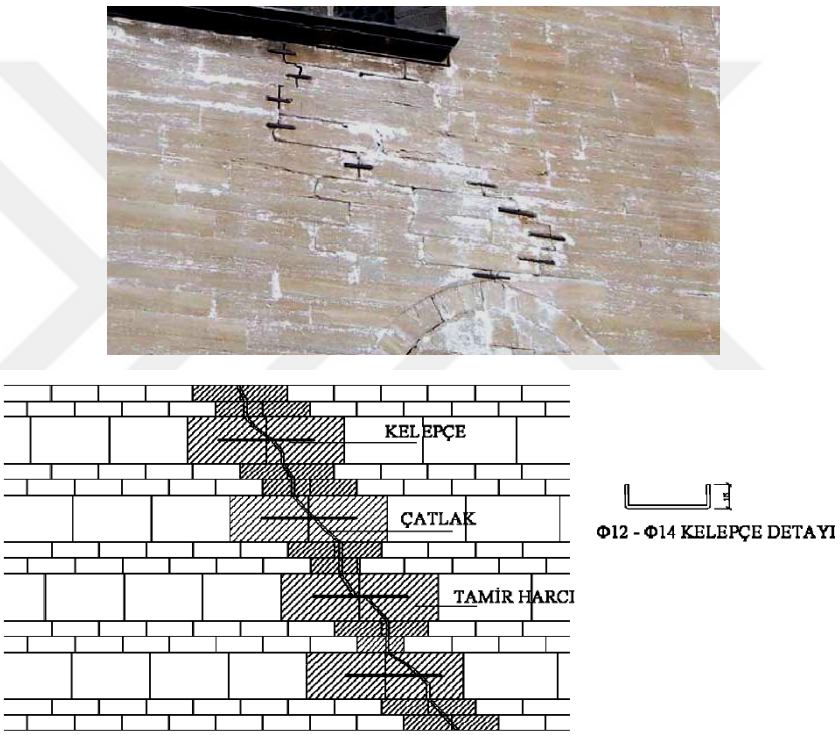
c. 10-20 cm. arayla 15-40 cm derinlikte 14 mm çapında delik delinmesi

d. Enjeksiyon packerlerinin çakılması

e. Reçinelerin özel enjeksiyon pompaları ile enjekte edilmesi

f. Packerlerin sökülmesi ve delik yerlerinin yüzeysel olarak onarılmasıdır (Aköz, 2008).

Çatlak genişliğinin 10mm'den büyük olduğu ya da duvarı oluşturan taş ya da tuğlaların düşmüş olması durumunda çatlakların onarımında uygulanan enjeksiyon yöntemi çekme gerilmelerini alacak elemanlarla birlikte yapılır. Bu amaçla çatlağa bitişik taş ya da tuğlalar çıkarılır ve dikiş elemanları veya çelik bağlantı elemanları yerleştirilir.(Şekil 6.3.) Taş ya da tuğla duvarın boşlukları, uygun bir karışımla düşük basınç altında doldurulur. Bu yöntem duvarın diğer yüzünde de uygulanmalıdır. Enjeksiyon bitince yapılan işin ne düzeyde gerçekleştiği değişik kotlardan alınan numuneler üzerinde yapılacak numuneler üzerinde kontrol edilmelidir. Yapılan yetersiz ise enjeksiyon tekrarlanmalıdır (Aköz, 2008).



Şekil 6.3. Çatlak duvarın dikilerek onarılması (Aköz, 2008)

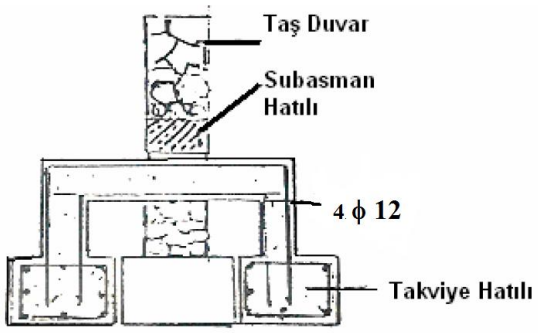
6.2 Taşıyıcı Elemanların Güçlendirilmesi

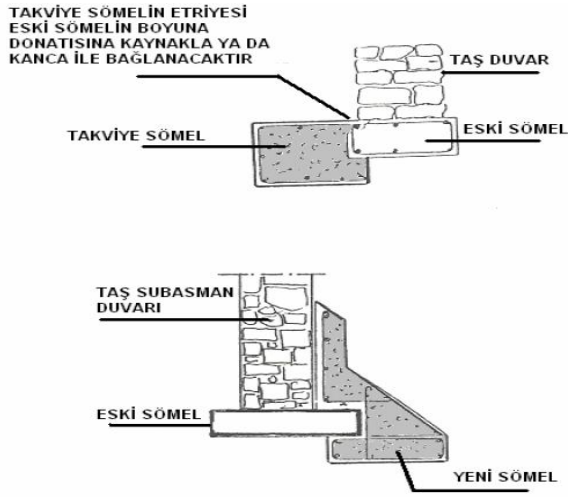
Tarihi yapılarda, taşıyıcı sistem birçok eleman bir arada ele alınarak bütün olarak güçlendirilebileceği gibi, güçlendirme işi taşıyıcı eleman düzeyinde yerel olarak da yapılabilir. Taşıyıcı sistemin. güvenliğinin sağlanması koruma ve restorasyon faaliyeti kapsamında ele alınmalıdır. Onarım ve güçlendirme yapılırken, tarihi malzeme ve ya belirgin bir mimari özelliğin kaldırılmasına, değiştirilmesine izin verilmemelidir. Onarım ve güçlendirme müdahalesi seçilirken, mevcut sistemdeki kuvvet iletiminin nasıl olduğu göz önüne alınmalıdır.

6.2.1 Temellerin güçlendirilmesi

Eski ve tarihi yapıların yenilenmesi veya bunlara yeni bir işlev kazandırılması için ön görülen değişiklikler, yapı yüklerinin artmasına neden olabilir. Bu durumda temellerin yeni yükleri taşıyabilecek şekilde takviye edilmesi gerekmektedir. Yapı temellerinin takviye edilmesinde öncelikle temelin iyileştirilmesini gerektiren nedenler ortaya konulmalı ardından yeterli sayıda deney ve araştırma yapılarak yapı zeminin özellikleri belirlenmelidir. Zeminde meydana gelen oturma, taşıma kapasitesinin aşılması, deprem sonrası sıvılaşma gibi durumlar, üst yapıda hasar oluşmasına sebep olur. Zemin uzun süredir yapının altında olduğu için, oturmaların bitmiş olması beklenir. Ancak deprem sıvılaşmaya meyilli kararsız zeminleri etkileyerek, yapıda büyük yer değişmelerin oluşmasına sebep olur. Ayrıca, yeraltı suyu, yağmur suyu ve pis su sızması nedeni ile temelin altındaki zeminde erozyon olabilir ve temelin altının boşalması oturmaya neden olabilir.

Temel sisteminin güçlendirilmesinde, mevcut temele ilave yapılabildiği gibi, yeni temel düzenlenebilir, temel zemini iyileştirilebilir veya yapının yüklerinin uygun bir sistemle daha derindeki sağlam tabakalara iletilmesi sağlanabilir. Bunun için çakma kazıklar, itmeli kazıklar, mini kazıklar ve jet-grout kolonları kullanılmaktadır. Yığma yapılarda güçlendirme için uygulanabilecek en etkili yöntemlerden birisi de, yer altı su seviyesinin düşük olduğu durumlarda, yaklaşık 4-5 metre derinliğe, yapının altı kazılarak temele ulaşılması ve mevcut duvar ve temelleri geçici olarak desteğe almak suretiyle, yeni temel sistemi inşa edilmesidir (Kara, 2009). Şekil 6.4'de temellerin güçlendirilmesine ilişkin detaylar verilmiştir.





Şekil 6.4. Temellerin güçlendirilmesine ilişkin detaylar (Kara, 2009)

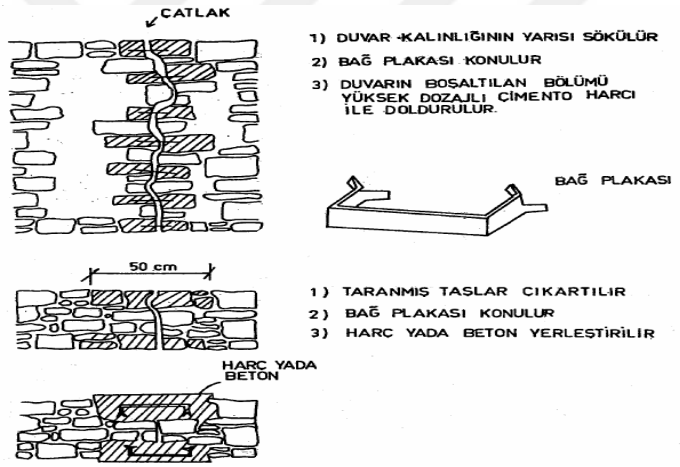
6.2.2 Duvarların güçlendirilmesi

Tarihi yığma yapılarda taşıyıcı duvarlar basınç ve kayma etkisinde kalmaktadır. Bu nedenle, duvarlarda oluşan basınç ve kayma gerilmelerinin, duvar emniyet gerilmelerini aşmaması gerekir. Tarihi yığma yapılarda duvarların güçlendirilmesi, duvar çatlaklarının onarılması ve duvarların kesitinin büyütülmesi şeklinde yapılır. Duvarların en kesitleri ek duvarlar yapılarak ya da püskürtme betonla yapılan takviyelerle büyütülebilir. Tarihi yığma yapıların taşıyıcı duvarlarında oluşan çatlakların onarılması, yerel bir güçlendirme olmakla birlikte, yapının genel taşıyıcılığını da olumlu yönde etkiler. Çatlakların onarım yöntemi çatlak genişliğine göre değişir. Fazla derine inmeyen küçük çatlaklar çevrelerinde 5-10cm genişletilerek yeniden yüksek dozlu çimento harcı ile doldurulabilirler. Şekil 6.5.'de küçük çatlakların enjeksiyon yöntemiyle onarılması gösterilmektedir.

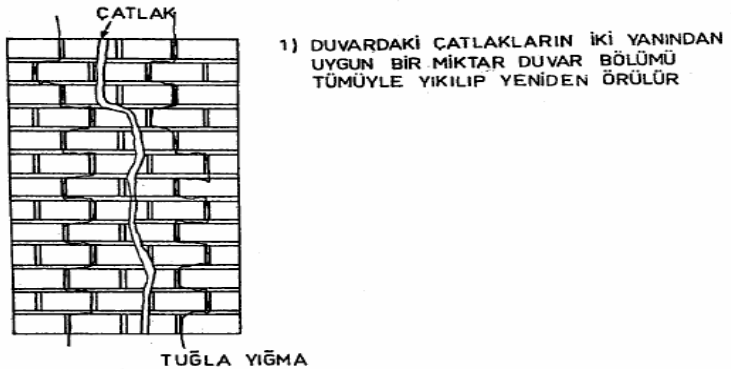


Şekil 6.5. Çatlakların enjeksiyon yöntemi ile onarımı

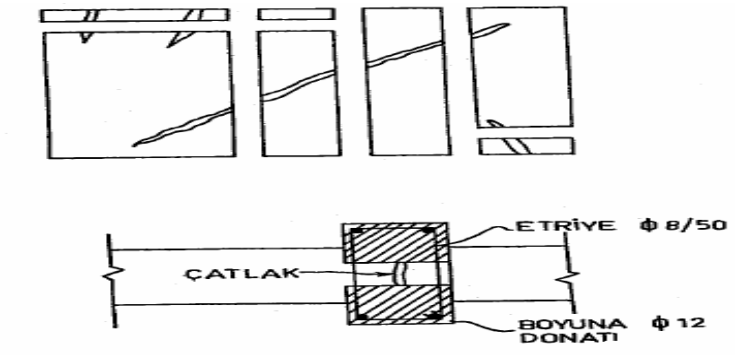
Tuğla ve taş yığma yapılardaki duvarın her iki tarafında da sürekli olan küçük çatlaklar Şekil 6.6. ve Şekil 6.7.'de gösterilen yöntemlerle onarılabilir. Taş duvarda çatlakların çevresindeki yaklaşık 50-60 cm'lik bir bölgede sıvalar sökülür, çatlağın iki yanında yer alan taşlardan bazıları çıkarılır, buralara özel hazırlanmış bağ plakaları konulur, bu plakalar çatlağın iki yanını tutan dikişler olarak nitelenebilir, duvarda boşaltılan bölümler yüksek dozlu çimento harcı ile doldurulur. Eğer çatlak bir tuğla duvarda ise, duvarda çatlağın her iki yanında yer alan en az bir tuğla boyundaki bölüm sökülür, burası yeniden kuvvetli bir harç ile tekrar örülebilir. Bu işlemin yapılabilmesi için çatlağın düşey ya da düşeye yakın bir doğrultuda olması gerekir. Eğer duvarda bir çapraz ya da eğik çekme çatlağı varsa o zaman daha değişik bir onarım yönteminin uygulanması gerekir. Şekil 6.8.'de duvardaki çapraz çatlakları kesen ve duvara kısmen gömülü olan betonarme takviye bantlarının ayrıntıları verilmektedir (Kara, 2009).



Şekil 6.6. Taş yığma yapılarda duvarlardaki düşey çatlakların onarımı (Kara, 2009)

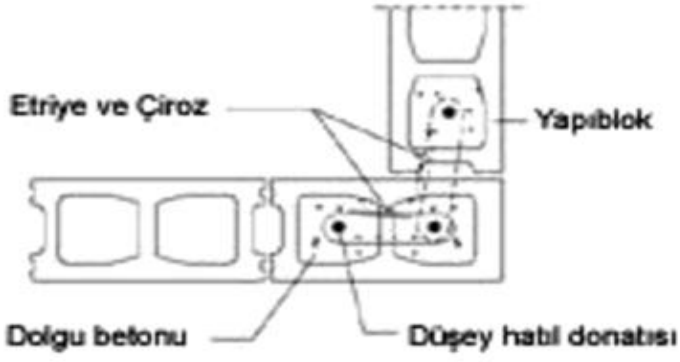


Şekil 6.7. Duvarlardaki düşey çatlakların dikişi (Kara, 2009)



Şekil 6.8. Duvarlardaki çapraz çatlakları kesen, duvara kısmen gömülü betonarme takviye bantları (Kara, 2009)

Bazı durumlarda çatlakta enjeksiyon uygulaması yapılsa bile duvarlar, güvenli gerilme iletimine izin vermeyebilir. Bu durumda mevcut çatlak boyunca düşey kiriş (düşey hatıl) ya da kolon oluşturulur. Taş ya da tuğla duvar, düşeyde 15-20 cm. yatayda duvarın içine doğru 15-20 cm derinliğinde açılır. Açılan oyuğun içerisine donatı yerleştirilir. Donatı etriyelerle sarılan uzunlamasına çelik çubuk içerir. Düşey hatılı duvarın içine yerleştirmek zor olursa, hatıl bölümler halinde duvarın içinde ve dışında, duvarda dışarı çıkacak şekilde imal edilir. Duvarda yapılan iki düşey hatıl birbirlerine uygun bağlantı ile bağlanırlarsa, yapılan çalışmanın iyi bir uygulama olduğu düşünülebilir. (Şekil 6.9.) Narin duvarlar, bu şekilde kolon ve düşey hatıl uygulaması ile güçlendirilebilir (Kara, 2009).

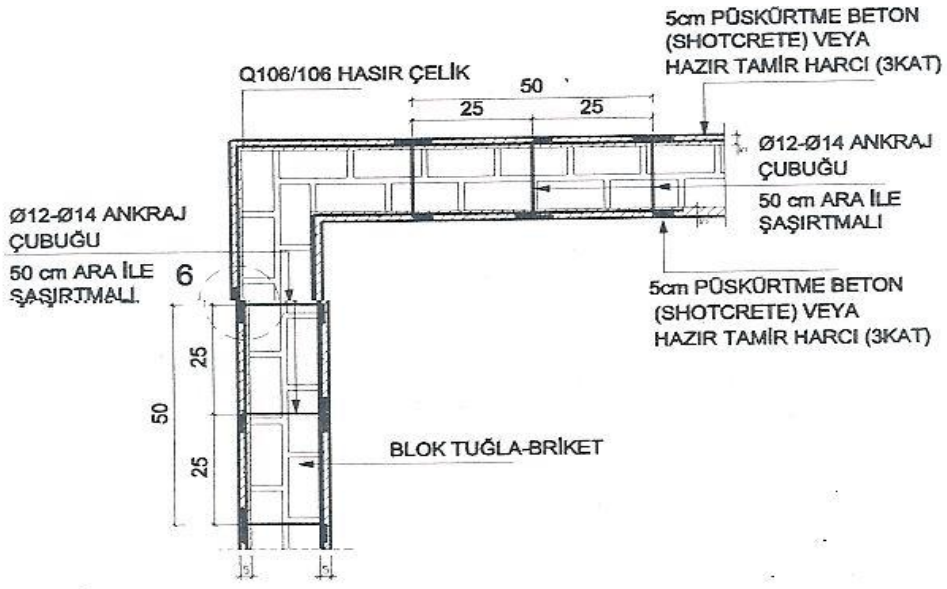


Şekil 6.9. Duvarlardaki düşey hatıl oluşturulması

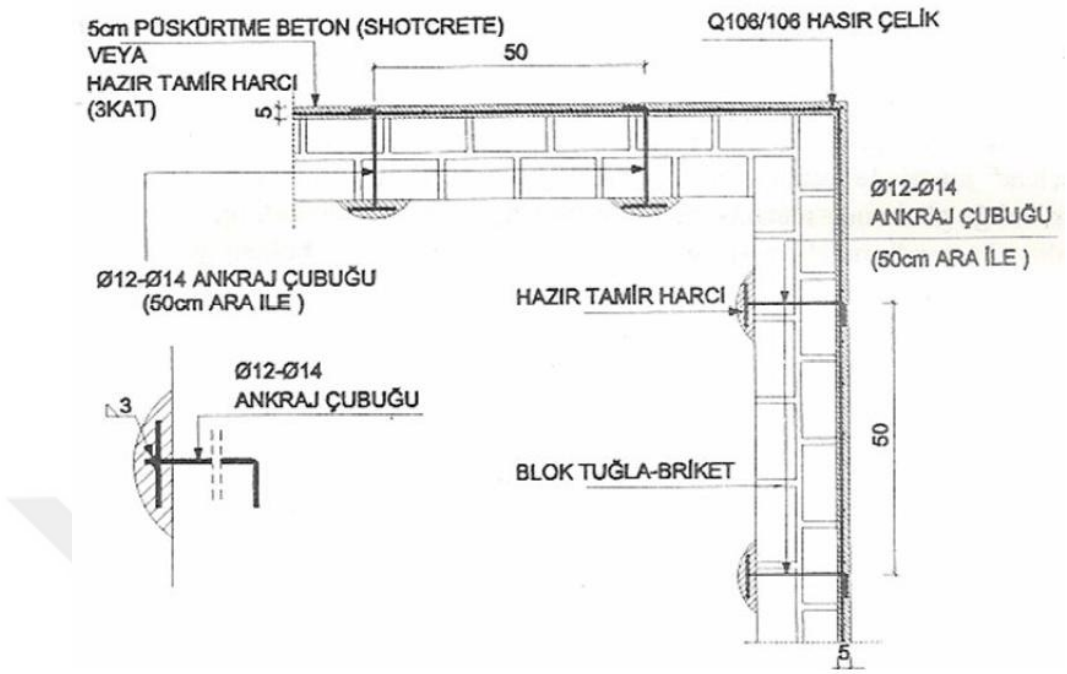
Duvar çatlaklarının doldurulması şeklinde yapılan güçlendirmenin yetersiz kaldığı durumlarda, duvarın taşıma kapasitesini artırmak amacı ile kesit büyütme işlemleri uygulanır. Duvarların en kesitleri, ek duvarlar yapılarak ya da püskürtme betonla yapılan takviyelerle büyütülebilir. Ek duvarların yapımında yeni yapılacak olan duvarların eski malzemeye uyumlu olması ve ankrajının iyi yapılması gerekmektedir.

Kalıp yapmak zor olduğunda veya ekonomik olmadığında, betonun ince bir tabaka olarak uygulanması gerektiğinde, duvar kesitinin kalınlaştırılması için, püskürtme beton yöntemi, en uygun güçlendirme metodudur. Püskürtme beton, basınçlı hava ile uygulanan betondur. Genellikle yeni yığma yapılarda uygulanan bu yöntem, tarihi yığma yapılarda mecbur kalınmadıkça tercih edilmemelidir. Ancak bezeme olmayan, sıvalı duvarlarda ve yeterli olacak en az duvar alanında yapılmalıdır. Burada dikkat edilecek nokta bir eski yapıda bütün yığma duvar yüzeylerinin bu şekilde güçlendirilmesi durumunda elde edilen yapının artık eski eser sınıfına girmeyeceğinin bilinmesidir.

Duvarın bir (Şekil 6.11.) veya iki taraflı (Şekil 6.10.) yapılacak çelik hasır ile püskürtme beton uygulamasında, duvarım hem onarılması ve hem de kalınlaştırılması suretiyle duvara ek kesme kuvveti kapasitesi kazandırılır. Duvara yerleştirilen çelik hasır kenetleme donatıları ile duvara bağlanarak mevcut duvarla bütünleşme sağlanır. İki taraflı püskürtme beton uygulamasında, iki yüzdeki çelik hasırlar birbirine duvarı delen donatılarla bağlanır. Eklenen püskürtme beton ve tamir harcı kalınlığının 50 mm olması imalat bakımından uygun düşer. Güçlendirmenin yeterli kalınlık ve boyda olduğu güçlendirilmiş sistemde deprem güvenliği hesabı yapılarak kontrol edilebilir. Güçlendirilmiş duvarda kayma gerilmesi hesabında tuğla ve taş duvarların elastik modülleri betonun elastik modülünün 1/5' i kabul edilebilir (Aköz, 2008).



Şekil 6.10. İki taraflı hasır çelik ve püskürtme beton uygulaması (Aköz, 2008)



Şekil 6.11. Tek taraflı hasır çelik ve püskürtme beton uygulaması (Aköz, 2008)

6.2.3 Kubbe, tonoz ve kemerlerin güçlendirilmesi

Kemerler ve tonozlar basınç gerilmesi altında bulunurlar. Kemer ve tonozlarda en sık rastlanan hasarlar çatlaklar, yapı malzemesindeki bozulmalar ve merkezden sapmalar seklinde olmaktadır. Çatlakların onarımında, epoksi dolgu malzemesi kullanılmaktadır. Eğer yapısal elemanlarda (malzemede) bozulmalar var ise, kemer ve tonozlar askıya alınarak, eski malzemeler çıkartılır ve yeni malzeme ile tamamlanır. Bu işlem çok dikkatli yapılmalıdır. Çünkü, kemer ve tonozlarda yükler yapı elemanı bileşenleri tarafından birbirine iletilerek mesnetlere verilir üzerine gelen yüklerin artması veya yanal yüklerin etkisi ile kemer ve tonozların mesnet noktalarında açılmalar meydana gelebilmektedir. Mesnetlerindeki ayrılmanın önlenmesi bunun için gergi konulması yaygın bir onarım ve güçlendirme yöntemidir (Yavuz, 2012). Şekil 6.12.'de Roma formunda inşa edilmiş kemerin, mesnetlerinin sabitlenme şekline ait bir örnek gösterilmektedir.



Şekil 6.12. Kemerlerde gergi düzenlemesi ve mesnetlerin sabitlenmesi (Roma Forumu'nda Yapı) (Sesigür. Çelik. Çılı. 2007: 22).

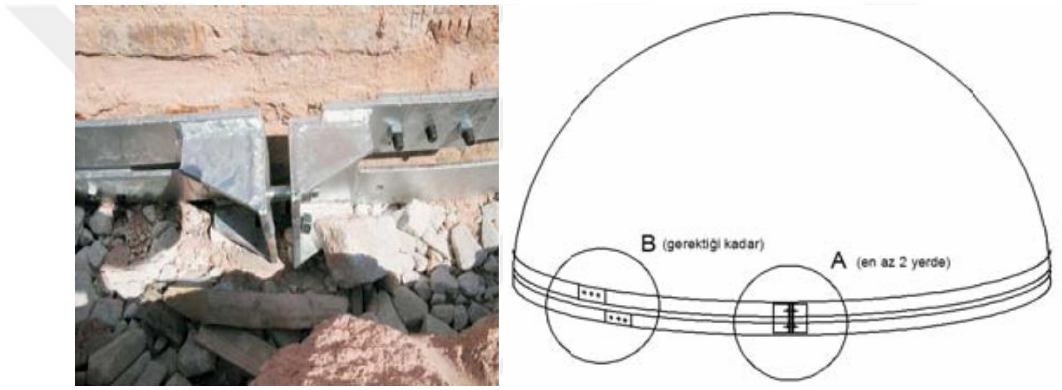
Kubbe ile örtülü yığma yapılarda kemerler ayrı bir öneme sahiptirler. Böyle yapılarda kubbe kasnağı kemerlere oturmaktadır, kemerlerin bir kısmının zayıf olması kubbenin mesnet şartlarının her noktada aynı olmaması anlamına gelir. Bu ise kubbede farklı oturmaların oluşmasına dolayısıyla aşırı zorlanmalara sebep olur. Böyle bir durumda çözüm, kemerin daha az sehim yapacak şekilde güçlendirilmesidir. Bunun bir yolu kemerin altına yeni bir kemerin eklenmesidir. Bunun en güzel örneğini 16. yy'da Mimar Sinan yapmıştır. Şekil 6.13.'de de görüldüğü gibi II. Beyazid Camii'nin zayıf olan kemer, altına bir sivri kemer teşkil edilerek güçlendirilmiştir (Erköseoğlu, 2012).



Şekil 6.13. İstanbul II. Beyazid Camii kemerinde Mimar Sinan tarafından yapılan güçlendirme (Sesigür, Çelik, Çılı, 2007).

Kubbenin üst bölgesi basınca, alt bölgesi ise çekmeye çalışır. Sınır çizgisinde ise basınç ve çekme kuvvetleri yoktur. Bu nedenle, sınır düzleminde genellikle kubbeler

mesnetlendirilmiştir. Taşın basınca çalışan bir malzeme olmasından dolayı, sınır çizgisinin altında kalan bölümde(çekme bölgesi) çatlamalar oluşabilmektedir. Saç teli inceliğinde ki çatlaklar bırakılabilir. Fakat daha büyük çatlaklar dolgu malzemesi ile doldurulmalıdır. Eğer hasar biçimi merkezden sapma olarak ortaya çıkmış ise kubbeler çelik bir çember sistemi ile desteklenmelidir (Yavuz, 2012). (Şekil 6.14.) Çekme çemberinde kullanılacak çeliğin paslanmaz çelik olması aksi halde zaman içinde korozyon bakımı yapılması ya da çemberin bir beton kesit içine alınması uygun olacaktır. Kubbedeki çatlak veya dökülmeler çok fazla ise, geniş yarıklar önce yanlardan belli genişliklerde çürütülür daha sonra kendi özgün malzemesi ile yeniden örülür. (Şekil 6.15.)



Şekil 6.14. Kubbede oluşturulan çekme çemberi ve detayı



Şekil 6.15. Kubbenin kendi özgün malzemesi ile yeniden örülmesi (Sesigür, Çelik, Çılı, 2007).

Kubbedeki çatlakların dikilmesi de bir diğer onarım yöntemidir.



Şekil 6.16. Kubbenin dikilmesi (Vakıflar Genel Müdürlüğü, 2012)

6.2.4 Sütun ve minarelerin güçlendirilmesi

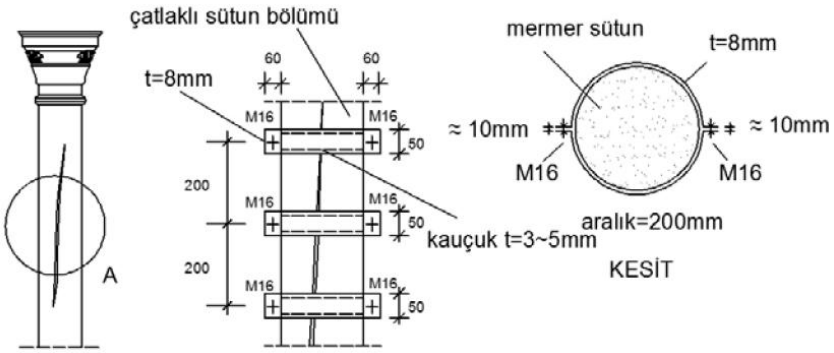
Tarihi yığma taş minareler gerek estetik gerekse simgesel anlamları ile taşınmaz kültür varlıkları içerisinde önemli bir yer tutmaktadırlar. Uzun ince fiziki yapıları ile narin yapılar olarak değerlendirilen minarelerin büyük bir kısmının bu özelliklerine rağmen yıllara meydana okuduğu söylenebilir.

Sütun ve minarelerdeki küçük çaplı hasarlar genellikle çatlak olarak ortaya çıkmaktadır. Öncelikle yapılacak iş, bu çatlakların durağan olup olmadıklarının belirlenmesidir. Durağan ve küçük çatlakların onarılmasında yüzey temizliği sonrası basınç ile epoksi reçinesi veya epoksi harcı enjeksiyonu uygulanır. Devam eden çatlaklar için ayrıntılı incelemenin yapılması ve sebebinin belirlenerek gerekli tedbirlerin alınması gerekir. Daha büyük çatlaklarda ve ayrılmalarda dikiş yöntemi uygulanmaktadır. (Şekil 6.17.) Bunun için duvarlarda olduğu gibi, hasar gören elemanlar çıkarılır, paslanmaz metal kenetler ve tamir harcıyla birleşim sağlanır (Erköseoğlu, 2012).



Şekil 6.17. Minarede dikiş yöntemiyle güçlendirme (Sesigür, Çelik, Çılı, 2007)

Kolon ve minarelere düşey ön gerilme uygulanarak yatay kuvvetlerden meydana gelecek ve devrilmeye sebep olacak çekme gerilmeleri yok edilebilir. Kolon altlarında yerel gerilme yığılmalarını ve ezilmeleri önlemek için çember (bilezikler) uygulaması yaygın olarak yapılır. (Şekil 6.18.) Bu çember çelik olabildiği gibi, karbon lif takviyeli malzemeden de seçilebilir. Dairesel en kesitli elemanlar farklı yüksekliklerde enine çemberler ile sıkıştırılır. Bu çemberlerin düşeydeki hareketini önlemek ve rijit bir sistem oluşturmak amacıyla bunlar düşeyde metal çubuklar ile birbirine bağlanmaktadır (Şekil 6.19.) (Yavuz, 2012).



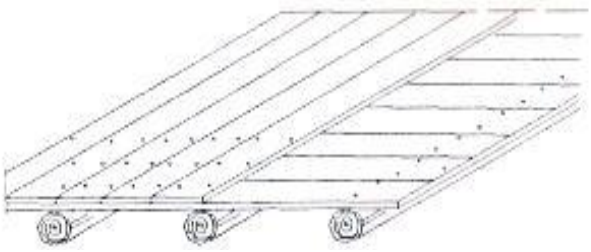
Şekil 6.18. Sütunlarda çember (bilezikler) uygulaması



Şekil 6.19. Çemberlenmiş sütun örneği

6.2.5 Döşemelerin güçlendirilmesi

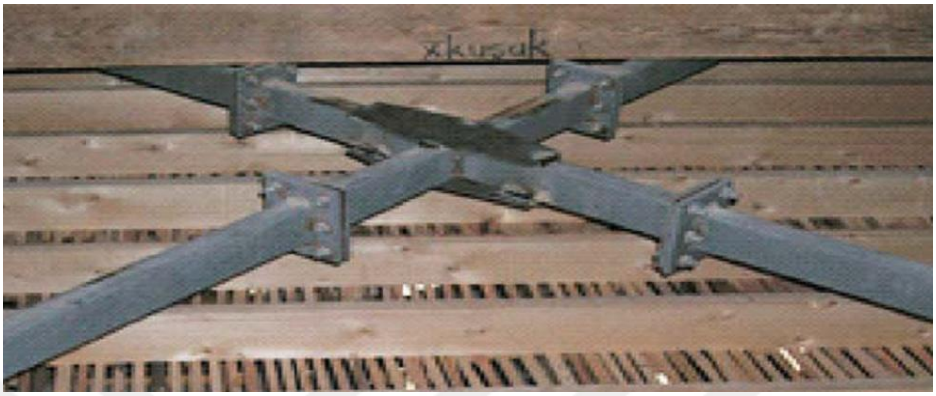
Döşemeler yatay yükleri düşey taşıyıcı elemanlara aktaran taşıyıcı sistemlerdir. Döşemelerin onarım ve güçlendirilmesi düşey yükleri karşılayarak duvarlara iletmeleri ve duvarların bütünlüğünü sağlamaları bakımından önemlidir. Tarihi yığma yapıların döşeme sistemlerinde karşılaşılan en büyük problemler döşeme ve düşey taşıyıcılar arasındaki bağlantının yetersizliği ve döşemenin rijit bir davranış sergileyememesidir. Ayrıca döşemelerde kullanılan malzemelerin zamanla özelliklerini kaybetmesi ve yıpranması sonucu taşıma kapasiteleri azalmaktadır. Ahşap döşemelerde bozulan taşıyıcı elemanlar yenileriyle değiştirilerek onarım yapılabileceği gibi, kat döşemelerinin çift doğrultuda çalışabilmesi için ahşap döşemeler üzerine mevcut döşeme tahtalarına dik doğrultuda ikinci bir döşeme tahtası da monte edilebilir. (Şekil 6.20.)



Şekil 6.20. Mevcut ahşap döşemenin üzerine uygulanan ikinci ahşap katman

Tarihi yığma yapılarda en çok rastlanılan volta döşemeler ve ahşap döşemeler döşeme seviyesinde yapılacak diyagonal çelik hatıllar ya da yatay çelik kafes

sistemlerle desteklenebilir. Kat seviyesinde betonarme hatıllar oluşturulması da başka bir onarım ve güçlendirme yöntemidir. Bu teknik sayesinde deprem sırasında kat kütlelerin maruz kalacağı yatay yükler etkisinde döşemelerin daha iyi bir davranış sergilemesi sağlanabilir (Kara, 2009).



Şekil 6.21. Çelik çaprazlar ile döşemenin rijitleştirilmesi

7.EDİRNE'DE BULUNAN TARİHİ TÜRBE VE CAMİ ÖRNEKLERİNİN STATİK DEĞERLENDİRİLMESİ

Edirne kentinin tarihi dokusu, Osmanlı ağırlıklıdır. Başkentlik yapmış olması ve Serhad Şehirliği olgusu, özellikle İmparatorluğun parlak dönemlerinde Padişahların hep uğrak noktası olması. Edirne'nin her köşesine Osmanlı Kültürü'nün damgasını vurması sonucunu doğurmuştur. Edirne'ye en erken Osmanlı Döneminden itibaren Camiler damgasını vurmuştur. İstanbul ve Bursa ile birlikte, ülkemizin en güzel Camileri Edirne'de inşa edilmiştir ve yüzyıllardır ibadete açıktırlar. Ülkemizin en fazla sayıda tarihi camilerine sahip üç büyük ilinden birisidir. Edirne, İstanbul'la birlikte, Osmanlı İmparatorluğu'nun mimaride eriştiği yaratıcı düzeyi gösteren bir kenttir. Kentte, Osmanlı Mimari yaratıcılığının çok çeşitli örnekleri görülmektedir. Bu açıdan Edirne, Bursa ile İstanbul'un karışımı gibidir. Edirne'nin İstanbul'a ve Bursa'ya üstünlüğü, İstanbul'un fethinden önceki mimari yaratıcılığı kadar, fetihten sonra da bu yaratıcılığını sürdürmesidir. Edirne Mimarisi Osmanlı Döneminden bu yana bir kaç döneme ayrılır. Birincisi, Çelebi Sultan Mehmet Öncesi ve O'nun dönemi, ikincisi, Sultan II. Murat Dönemi, üçüncüsü, İstanbul'un fethinden sonra eşsiz Beyazid Külliyesi ile belirlenen dönem, dördüncüsü, Selimiye Camisi ile sonlanan Klasik Osmanlı Mimari Dönemi, beşincisi, Ekmekçioğlu Ahmet Paşa ve Sultan IV.Mehmet Dönemi, altıncısı, batılılaşma sürecinin çalkantılı olaylarını yaşamış Neoklasik çizgide yapılarla dolu bir dönem ve son olarak Cumhuriyet Dönemi mimarisi. Sultan II. Murat Dönemi hem Edirne'nin gerçek başkent olması, hem de mimarisinde bir dönüm noktası olması yönünden öne çıkar. Bu dönemde yapılan Üç Şerefeli Camisi, merkezde büyük bir kubbenin seçilmesiyle eski camilerden farklılık göstermektedir. Bu olay, Beylikken İmparatorluğa geçişin bilincini yansıtmak olarak yorumlanmıştır (Edirne Vergi Dairesi, 2006).

Anıt mezarlar arasında yer alan türbeler, özellikle Osmanlı İmparatorluğu döneminde en görkemli biçimine ulaşmıştır. Türbeler, küçük ölçekli yapılar olmakla birlikte, yapıldığı dönemin sosyo-kültürel özelliklerini yansıtmaları bakımından, korunmaları gereken dini mimarlık örneklerindendir. Yaklaşık bir asır boyunca Osmanlı İmparatorluğuna başkentlik yapmış, halen pek çok sivil ve dini mimarlık örneklerini bünyesinde bulunduran Edirne' deki türbeler, türbe mimarisinde önemli bir yer tutmaktadır. Edirne'de Osmanlı padişahlarına ait türbe yoktur. Şehzadelere, önemli

devlet adamlarına, halk tarafından sevilen kişilere ait türbeler vardır. Edirne de 108 türbe olduğu bunlardan 12 tanesinin günümüze ulaştığı bilgisi tespit edilmiştir. Edirne türbelerinin 15. yüzyıla ait olanlarının genelde çokgen planlı, 16 ve 18 yüzyıldakilerin kare ve dikdörtgen, 19. yüzyılda ise yine çokgen planlı olduğu gözlenmiştir. Türbeler tuğla-taş (almaşık duvar) veya kesme taş malzemeden yapılmıştır.

Bu çalışmada, Edirne'de bulunan, 15.YY. ile 16.YY'da inşa edilmiş, 4 adet cami ve 2 adet türbe örneklerinin, statik analizleri yapılarak, mevcut durumu değerlendirilecektir. Uygulama için, Ayşe Kadın Camii, Edirne-Merkez Beylerbeyi Türbesi, Edirne-Uzunköprü Gazi Turhan Bey Camii, Edirne-Merkez Sitti Sultan Camii, Edirne-Merkez Demirtaş (Timurtaş) Camii, Edirne-Merkez Tütünsüz Baba Türbesi seçilmiştir. Eserlerle ilgili belgeler ve röleve planları Edirne Vakıflar Müdürlüğünün arşivlerinden temin edilmiştir.

7.1. Yapısal Analiz İçin Oluşturulan Modellemelerde Kullanılan Parametreler

Tarihi binaların sonlu elemanlar yöntemiyle yapısal analizlerinin sonuçlarının yorumlanması, günümüzün mühendislik teknolojileriyle üretilen yapıların hesaplarının yorumlanmasından biraz farklılık göstermektedir. Tarihi yapılardan örnek alınarak malzeme özelliklerini belirleyecek deneylerin yapılması her zaman mümkün olmadığından, hesap sonuçlarına göre yapı elemanlarının taşıyıcı kapasitelerinin tam olarak belirlenmesi bazen çok zordur. Yapılara etkiyecek deprem kuvvetlerinin hesabında kullanılan parametreler aşağıda belirtilmektedir.

- A0 (Deprem Bölgesi Katsayısı)= 0.1 (4.Bölge)
- Zemin Sınıfı ön görülmemişse DBYBHY gereğince S(T)=2.5 alınmıştır
- I (Yapı Önem Katsayısı)= 1.0
- R (Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı)= 2

Malzeme örneği alma ve test etme olanağı bulunamadığından, yapı elemanlarının malzeme özellikleri benzer yapılar için daha önce yapılan çalışmalar sonucu üretilmiş ve uluslararası literatürde önerilen bağıntılardan yararlanılarak, yürürlükte olan Deprem Şartnamesinde yığma yapılar ve ahşap yapılar için önerilen değerler dikkate alınarak seçilmiştir. Taşıcıyı yığma duvar malzemesinin tanımlanmasında, yönetmeliğe göre

duvar yapımında kullanılan kâgir birimlerin Elastisite Modülü, malzemenin karakter basınç dayanımının 200 katı yani,

$E_d = 200 * f_d$ şeklinde verilmiştir. (7.1)

TS 2510'a göre taşıyıcı duvarların yapımında kullanılacak doğal taşların basınç dayanımı 350 kgf/cm^2 den küçük olmamalıdır.

f_d= serbest basınç dayanımı*0.5 (7.2)

f_d = 0.5* 350= 175 kg/cm^2

$E = f_d * 200$

E= 175*200= 35000 kg/cm^2

Tablo 7.1. Doğal duvar taşlarının dayanım gruplarına göre en küçük basınç dayanımları (DBYBHY. 2007)

Dayanım Grubu	Taş Cinsleri	En Küçük Basınç Dayamam kgf/cm^2
I	Kireçtaşı, (kalker) traverten, kireç bağlayıcılı kumtaşı	350
II	Yoğun kireçtaşı, dolomit, bazalt	500
III	Silis bağlayıcılı kumtaşı grovak vb.	800
IV	Granit, siyenit, diorit, melafir, diabaz vb.	1200

Taş yığma yapı elemanlarının. harç ile birlikte tek bir malzeme özelliği gösterdiği varsayılarak, elastisite modülü ve birim ağırlık kabulleri yapılmıştır.

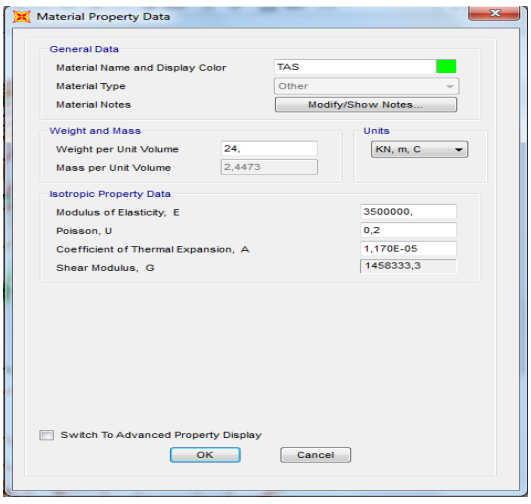
Tablo 7.2. Yapılarda kullanılan malzemelere ait özellikler

Eleman Tipi	Elastisite Modülü E (kN/m^2)	Özgül ağırlık (kN/m^3)	Kütle (t/m^3)	Poisson Oranı
Taş duvarlar (harç ile birlikte)	3500000(3500 MPa)	24	2,45	0,2
Kaplama	13000000(1300000 Mpa)	2,2	0,22	0,16
Kubbe	3000000(3000 Mpa)	18	1,8	0,18

- Hazırlanan hesap modeli üzerinde, sabit yükler ve deprem spektrumu ile tanımlanan yer hareketinin yol açtığı zorlamaların göz önüne alındığı iki ayrı yükleme durumu uygulanmıştır. Spektrum. EQ_x ve EQ_y yüklemesi olmak üzere ayrı ayrı iki asal doğrultuda uygulanmıştır.
- Deprem kuvveti mod birleştirme yöntemi ile hesaplanmıştır. Deprem bölgesi, zemin cinsi, bina önem katsayısı, deprem yükü azaltma katsayısı kullanılarak SAP 2000 V18 programıyla deprem fonksiyonu oluşturmuş ve binaya etkitilmiştir.
- Sonuçların kolaylıkla değerlendirilebilmesi için, G (sabit yükler) ve EQ_x ve EQ_y (Deprem yükleri) dikkate alınarak G, $G \pm E_x$ ve $G \pm E_y$ yük kombinleri hazırlanmıştır.

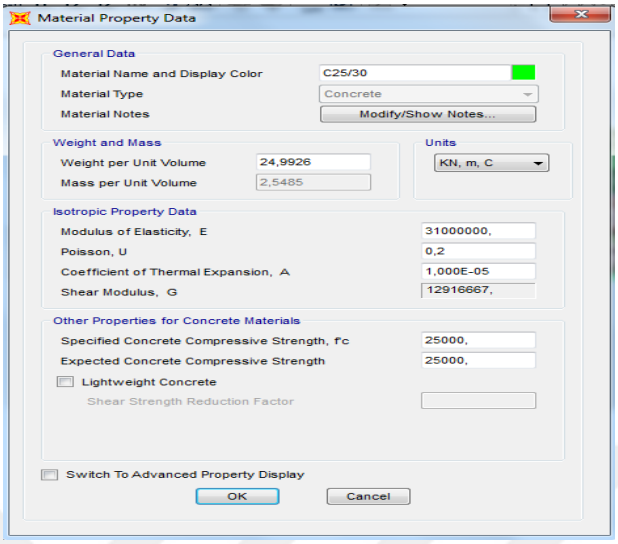
7.1.1. SAP 2000 Modellerinin Tanımlamaları

Taş duvar malzemesine ait dataların, SAP 2000 V18 programındaki değerleri Şekil 7.1.'de verilmiştir.



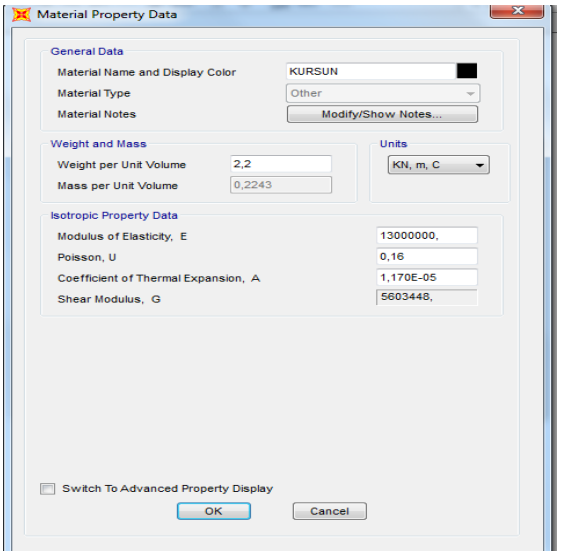
Şekil 7.1. Yapılarda kullanılan taş malzemeye ait özellikler

Beton çekme çemberi malzemesine ait dataların, SAP 2000 V18 programındaki değerleri Şekil 7.2.'de verilmiştir.



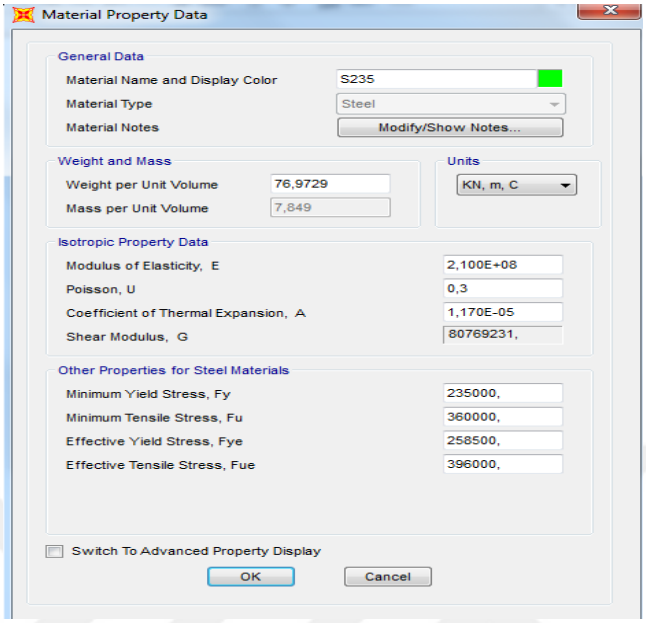
Şekil 7.2. Yapı kullanılan beton gergiye ait malzemeye özellikler

Kaplama malzemesine ait dataların SAP 2000 V18 programındaki değerleri Şekil 7.3.'de verilmiştir.



Şekil 7.3. Yapılarda kullanılan kaplama malzemesine ait özellikler

Çelik gergi malzemesine ait dataların, SAP 2000 V18 programındaki değerleri Şekil 7.4.'de verilmiştir.



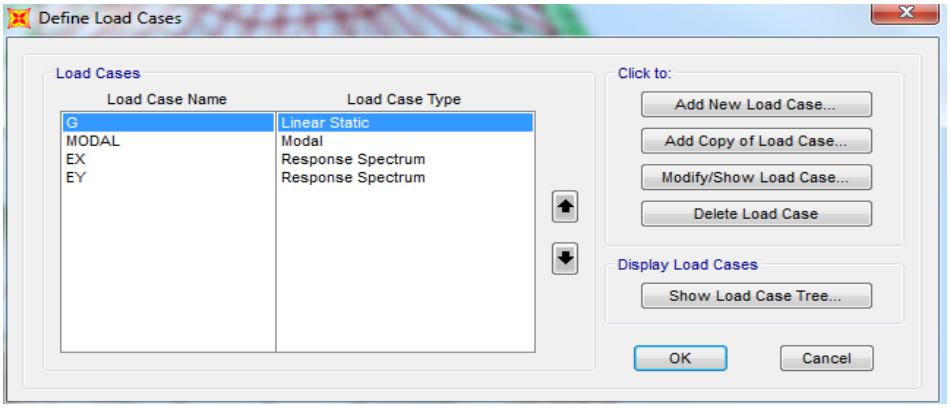
Şekil 7.4. Yapılarda kullanılan çelik gergiye ait malzemesine özellikleri

Şekil 7.5.'de SAP 2000 V18 programında yük tanımlamalarına ait datalar verilmiştir.

G Sabit yükler

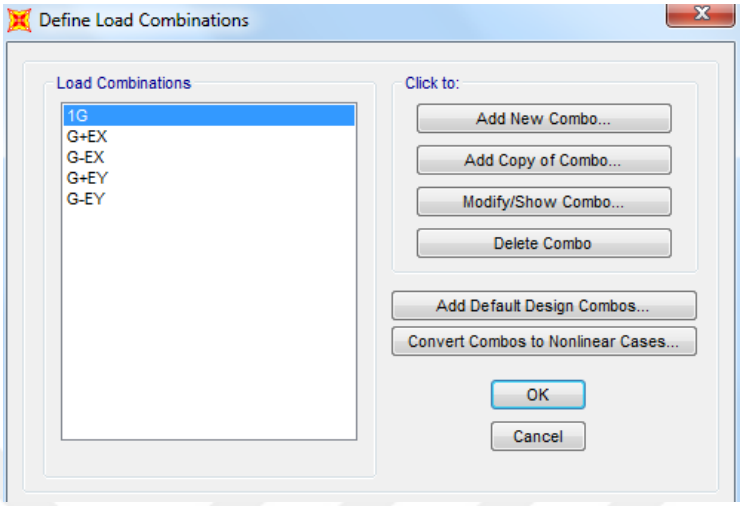
EQ_x x ekseni doğrultusundaki deprem yüklemesi

EQ_y y ekseni doğrultusundaki deprem yüklemesi



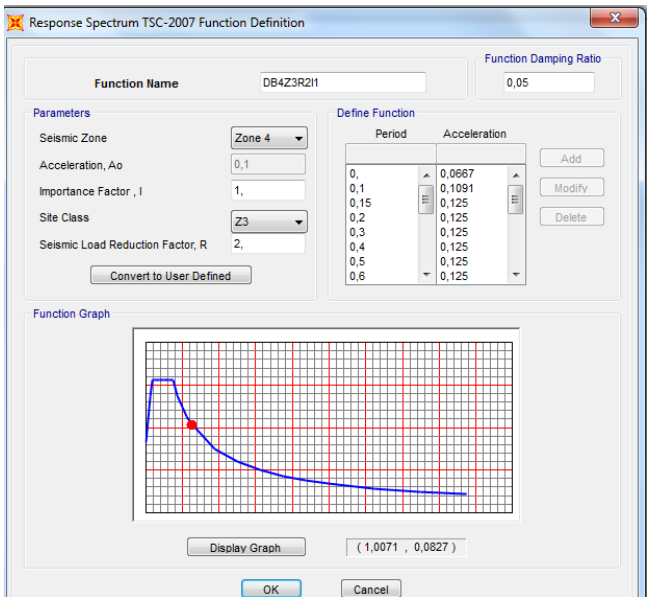
Şekil 7.5. Yapılara etkiyen yük tanımları

Şekil 7.6.'de SAP 2000 V18 programında yük kombinlerine ait datalar verilmiştir.



Şekil 7.6. Yapılara etkiyen yük kombinleri

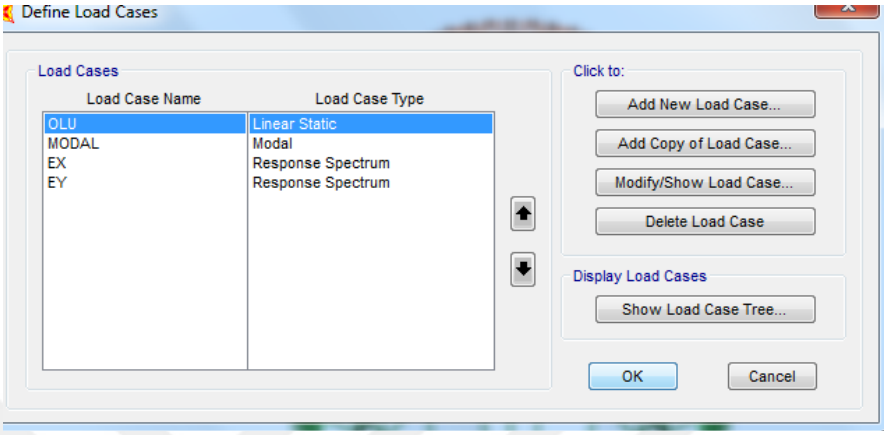
Şekil 7.7.'de SAP 2000 V18 programında yük analiz tanımlarına ait datalar verilmiştir.



Şekil 7.7. Yapılara etkiyen yük kombinleri

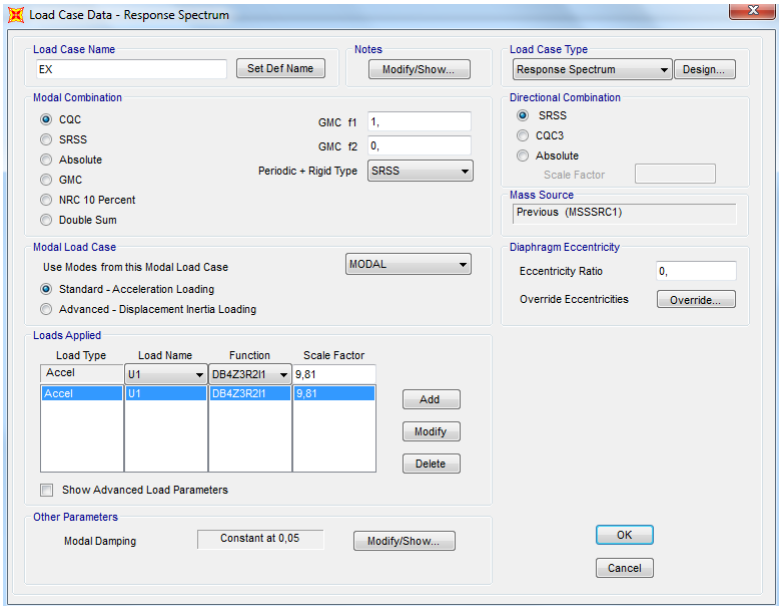
Şekil 7.8.'de SAP 2000 V18 programında Yük durumu-Respone Spectrum tanımlarına ait datalar verilmiştir.

G linear statik - Ex respone spectrum - Ey respone spectrum



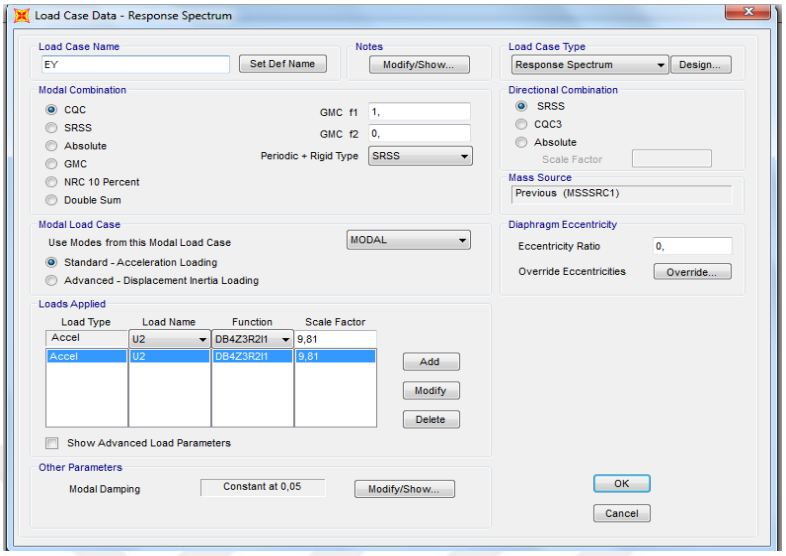
Şekil 7.8. Yapılarda tanımlı respone spectrum

Şekil 7.9.'de SAP 2000 V18 programında E_x deprem yüklemesi için tanımlanan datalar verilmiştir.



Şekil 7.9. Yapılarda tanımlı Ex response spectrum

Şekil 7.10.'de SAP 2000 V18 programında E_y deprem yüklemesi için tanımlanan datalar verilmiştir.



Şekil 7.10. Yapılarda tanımlı E_y response spectrum

7.1.2. Emniyet gerilmelerinin hesabı

Duvarda kullanılan kargir birimin basınç dayanımı belli değilse veya duvar dayanım deneyi yapılmamış ise duvarda kullanılan kargir birim basınç emniyet gerilmesi Tablo 5.3'den alınır. (DBYBHY2007)

Taş yığma duvarlar için basınç emniyet gerilmesi, f_{em} = 0.3 MPa olarak önerilmektedir.

Tablo 7.3. Serbest basınç dayanımı bilinmeyen duvarların basınç emniyet gerilmeleri (DBYBHY. 2007) (TSE, 2016)

Duvarda Kullanılan Kargir Birim Cinsi ve Harç	**Duvar Basınç Emniyet Gerilmesi f_{em} (MPa)**
Düşey delikli blok tuğla (delik oranı %35'den az, çimento takviyeli kireç harcı ile)	1.0
Düşey delikli blok tuğla (delik oranı %35- 45 arasında, çimento takviyeli kireç harcı ile)	0.8
Düşey delikli blok tuğla (delik oranı %45'den fazla, çimento takviyeli kireç harcı ile)	0.5
Dolu blok tuğla veya harman tuğlası (çimento takviyeli kireç harcı ile)	0.8
Taş duvar (çimento takviyeli kireç harcı ile)	0.3
Gazbeton (tutkal ile)	0.6
Dolu beton briket (çimento harcı ile)	0.8

Çekme emniyet gerilmeleri, basınç emniyet gerilmesi olarak belirlenen değerin %15'i olarak kabul edilebilir. Bu durumda, taş duvar için çekme emniyet gerilmesi, $f_{m(çek)}$ = 0.3× 0.15 = 0.045 MPa şeklinde hesaplanır.

Duvara gelen deprem kuvveti duvar yatay en kesit alanına bölünerek duvarda oluşan kayma gerilmesi hesaplanacak ve Denk.(7.3)'den bulunacak duvar kayma emniyet gerilmesi τ_{em} ile karşılaştırılacaktır. (DBYBHY2007)

$$\tau_{em} = \tau_o + \mu\sigma \qquad (7.3)$$

τ_{em} = 0.10+0.5(0.3/2) = 0.175 MPa

Deprem hesabı sonucunda ortaya çıkan kayma gerilmeleri (Kabuk elemanlarındaki S12 gerilmeleri) Denk 7.3 denklemine göre hesaplanan kayma sınır gerilmesi (τ_m) ile karşılaştırılmıştır.

Bu denklemde,

τ_{em} = duvar kayma emniyet gerilmesi (MPa).

τ_o = duvar çatlama emniyet gerilmesi (MPa).

μ = sürtünme katsayısı (0.5 olarak alınabilir).

σ = 5.3.1 uyarınca hesaplanmış duvar düşey gerilmesi (MPa).

Duvarda kullanılan kargir birim cinsine göre duvar çatlama emniyet gerilmesi τ_o değeri Tablo 7.4.'den alınacaktır. (DBYBHY2007)

Tablo 7.4. Duvarların çatlama emniyet gerilmeleri (DBYBHY. 2007)

Duvarda Kullanılan Kargir Birim Cinsi ve Harç	Duvar Çatlama Emniyet Gerilmesi τ_o (MPa)
Düşey delikli blok tuğla (delik oranı %35'den az, çimento takviyeli kireç harcı ile)	0.25
Düşey delikli blok tuğla (delik oranı %35'den fazla, çimento takviyeli kireç harcı ile	0.12
Dolu blok tuğla veya harman tuğlası (çimento takviyeli kireç harcı ile)	0.15
Taş duvar (çimento takviyeli kireç harcı ile)	0.10
Gazbeton (tutkal ile)	0.15
Dolu beton briket (çimento harcı ile)	0.20

Tablo 7.5. Taş duvarların emniyet gerilmeleri

Malzeme Tipi	Basınç Emniyet Gerilmesi (MPa)	Çekme Emniyet Gerilmesi (MPa)	Kayma Emniyet Gerilmesi (MPa)
Taş	0.3	0.045	0.175

7.2 Beylerbeyi Türbesi

Saraçhane yolu üzerinde, Beylerbeyi Cami haziresindedir. Rumeli Beylerbeyi Sinaneddin Yusuf Paşa için, 1429 yılında cami ile birlikte yapıldığı düşünülmektedir. Beylerbeyi Türbesi ile ilgili yeterli sayıda görsel ve yazılı kaynağa ulaşılmamıştır. Görsel belgelerden en eski tarihli fotoğraf 1932 yılına aittir ki yapı o tarihte de yıkık durumdadır.(Şekil 7.11)



Şekil 7.11. 1932’ de çekilmiş Rıfat Osman Arşivinden alınan fotoğraf

7.2.1. Yapının restorasyon öncesi mimari özellikleri

Bu bölümde verilen bilgiler, yapının onarımından önce, 2008 yılında Edirne Vakıflar Bölge Müdürlüğü Beyler Beyi Türbesi için hazırlanan rölöve, restitüsyon, restorasyon raporlarından alınmıştır.

15. yüzyılda yapılan türbe bakımsızlıktan dolayı büyük ölçüde yıkılmış olarak günümüze ulaşmıştır. Yapı ile ilgili araştırmalarda görsel ve yazılı kaynaklarda yeteli bilgi ve belgeye ulaşılamamıştır. Bu nedenle Edirne' de aynı dönemde yapılmış türbe örnekleri incelenmiştir. Türbe zemin penceresinin üstünde yer alan ikinci pencere hizasının yarısına kadar yıkık haldedir. Girişin sağ yanında yer alan iki duvar alt kot pencerelerin alt kotlarına kadar, türbenin üst örtüsü ise tamamen yıkılmıştır. Sekizgen planlı olan yapının kenarları 4.21 m - 4.25 m arasında değişen uzunluktadır. (Şekil 7.12)



Şekil 7.12. Beylerbeyi Türbesinin 2008'deki durumu

Türbenin giriş kapısı sivri kemerli olup, etrafı dikdörtgen bir çerçeve ile sınırlıdır. Alt ve üst kot olmak üzere iki sıra penceresi vardır. Pencere düzeni giriş kapısının olduğu duvar ile mihrabın olduğu duvar dışında aynı düzende devam eder. Mihrabın solunda kalan iki duvarda pencere söveleri yıkıldığından pencere yerleri tespit edilememektedir. Diğer duvarlarda ise pencere açıklıkları bellidir. Zemin kottaki pencereler düz atılı olup, sağır sivri kemer ile çevrelenmiştir. Üst kot pencereleri ya tamamen ya da yarı kotuna kadar yıkık olduğundan üst atkı formu hakkında bir tespitte bulunulamamıştır. (Şekil 7.13)



Şekil 7.13. Yapı giriş kapısı ve kapı yanında kalan sağ duvarı

Mihrap kısmının iç bölümü yıkılmıştır. Mihrap nişi dikdörtgen formdadır. Dış cepheye bakan bölümü firuze renkli sırlı ve sırsız tuğla ile kapatılmıştır. Firuze renkli tuğlalardan günümüze çok azı ulaşabilmiştir. Firuze renkli sırlı ve sırsız tuğlalar, belli bir düzene göre, dizilerek kilim desenini andıran geometrik bir desen meydana getirilmiştir. Selçuklu halı ve kilimlerinde buna benzer geometrik desenler görülür. Türbenin üst örtüsü yıkılmıştır. Ancak Edirne türbeleri incelendiğinde üst örtünün kubbe olma ihtimali yüksektir. Yapı günümüze bakımsızlık, olumsuz doğal koşullar sonucunda büyük bir kısmı yıkılmış durumda ulaşmıştır. Dış cephesi kesme taş olan yapının iç duvarları almaşıktır. İç duvarlarının horasan harçlı sıvasının çoğu dökülmüştür. Yapı içinde çok fazla bitkilenme vardır. Üst örtüsü olmadığından yağmur ve kar direk içeriye girmekte, kalan bölümleri olumsuz etkilemektedir. Taş yüzeylerinde organizma oluşumları görülür. Taştaki kirlenmeler kabuklaşmıştır. (Şekil 7.14)



Şekil 7.14. Yapı detayları

7.2.2. Statik Parametreler

Bu bölümde verilen bilgiler, yapının onarımından önce, E.S. Yapı Şehircilik Mimarlık Restorasyon San. ve Tic. Ltd. Şti. tarafından İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi Dekanlığı'na yapılan 26.05.2008 tarihli başvurusuyla, Edirne Beylerbeyi Türbesinin yapı taşıyıcı sistemi yönünden mevcut durumunun saptanması ile restorasyon projesinin hazırlanması ve uygulanması aşamasında alınması gereken yapısal önlemlerin belirlenmesi amacıyla Prof. Dr. Feridun Çalı, Doç. Dr. Oğuz Cem Çelik ve Dr. Haluk Sesigür tarafından hazırlanan "Beyler Beyi Türbesinin mevcut durumu, onarımı ve güçlendirme önerileri hakkında teknik rapor" belgesinden alınmıştır.

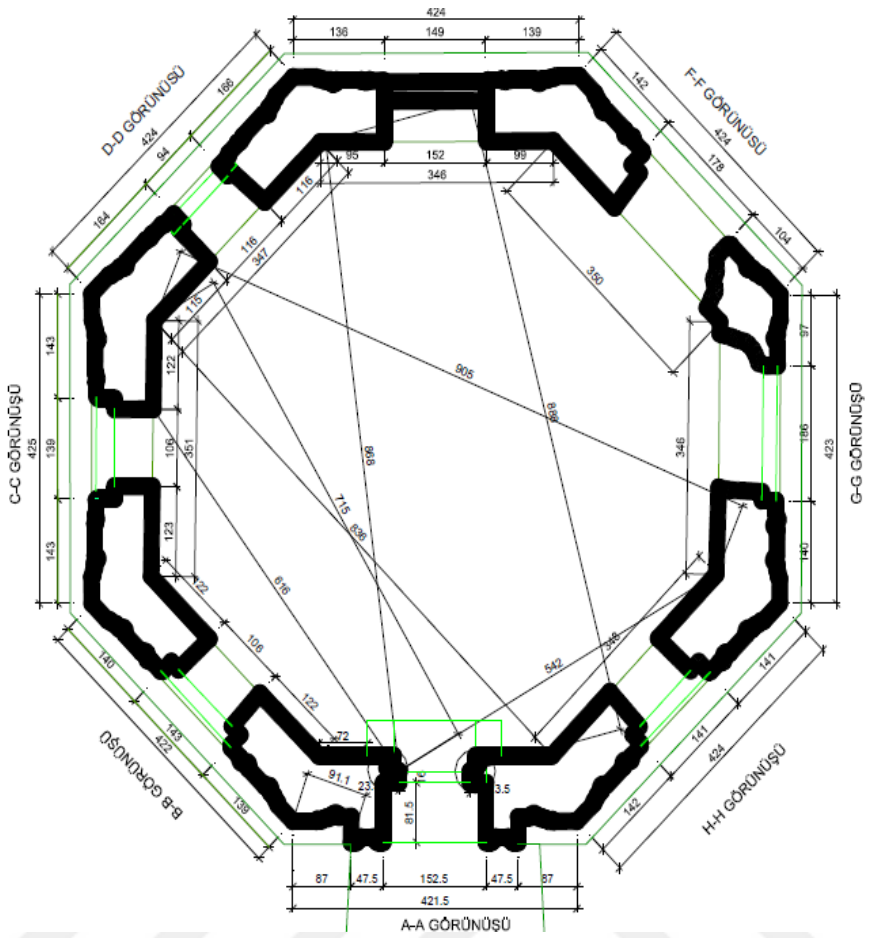
Temel zemininin durumunu belirlemek amacıyla Geoteknik Zemin Etüd Grubu Ltd.Şti. tarafından hazırlanan zemin inceleme raporuna göre yapı çevresinde zemin parametreleri ve yer altı suyu durumunu belirlemek amacıyla sondaj çalışmaları

yapılmıştır. Sondaj çalışmalarından edinilen bilgiye göre, 0.00m - 1.80m arası gevşek dolgu, 1.80m - 14.00m aralığında açık sarımsı renkte kumlu killi siltli birimden oluşmaktadır. Sondajda yeraltı suyuna rastlanmamıştır. Zemin parametreleri olarak zemin emniyet gerilmesinin $\sigma_{z.em}$=1.40 kg/cm^2, düşey yatak katsayısının K_v=1700 t/m^3, yerel zemin sınıfının Z3, Zemin Grubunun C, karakteristik zemin periyotlarının T_A/T_B= 0.15s/0.60s alınması önerilmektedir. Yapının bulunduğu bölgede Etkin Yer İvmesi Katsayısı A_0=0.10'dur.

Dördüncü derece deprem bölgesinde bulunan yapı, dışta taş, içte tuğla hatıllı almaşık duvar örgü tekniğiyle inşa edilmiştir. Yapı, planda bir dış kenarının uzunluğu 4.215m~4.25m arasında değişen bir sekizgendir. Duvarın ortalama kalınlığı 82cm~89cm mertebesindedir. Yapıya ait onarım öncesi hasar durumları Şekil 7.15'de, röleve planı Şekil 7.16'da verilmiştir.



Şekil 7.15. Yapının duvar detayları



Şekil 7.16. Yapı planı

Yapı günümüze bakımsızlık, olumsuz doğal koşullar sonucunda büyük bir kısmı yıkılmış durumda ulaşmıştır. Yapının köşelerinde kalan duvarlarının mevcut yükseklikleri A-B köşesinde 5.71 m, B-C köşesinde 6.01 m, C-D köşesinde 6.32 m, D-E köşesinde 6.57 m, E-F köşesinde 5.06 m, F-G köşesinde 1.98 m, GH köşesinde 4.23 m, H-A köşesinde 4.81 m olup bu kotların üstünde kalan duvarlar ile kubbenin tamamı göçmüş durumdadır. (Şekil 7.17.)



Şekil 7.17. Yapının restorasyon öncesi

Mevcut durumunda yapının dış cephe duvarlarından yıkılmadan kalabilen bölümlerinin, alt kotları oldukça düzgün durumda olup bu kısımlarda nitelikli bir yüzey temizliği yapılması yeterli olacaktır. Duvarların iç ve daha üst bölümlerinde önemli kabul edilmesi gereken yüzey bozulmaları bulunmaktadır. Bu bölgelerde taşların yüzeyindeki bozulmanın derinliğinin 5cm'den az olması durumunda yüzeyin olduğu gibi bırakılması ya da plastik onarım ile yetinilmesi, bozulma derinliğinin 5cm ile 15 cm arasında olması durumunda çürütme / kaplama yapılması, bozulmanın 15cm'den derin olması durumunda taşın benzer fiziksel, mekanik ve petrografik özellikli taşlarla değiştirilme önerilir.

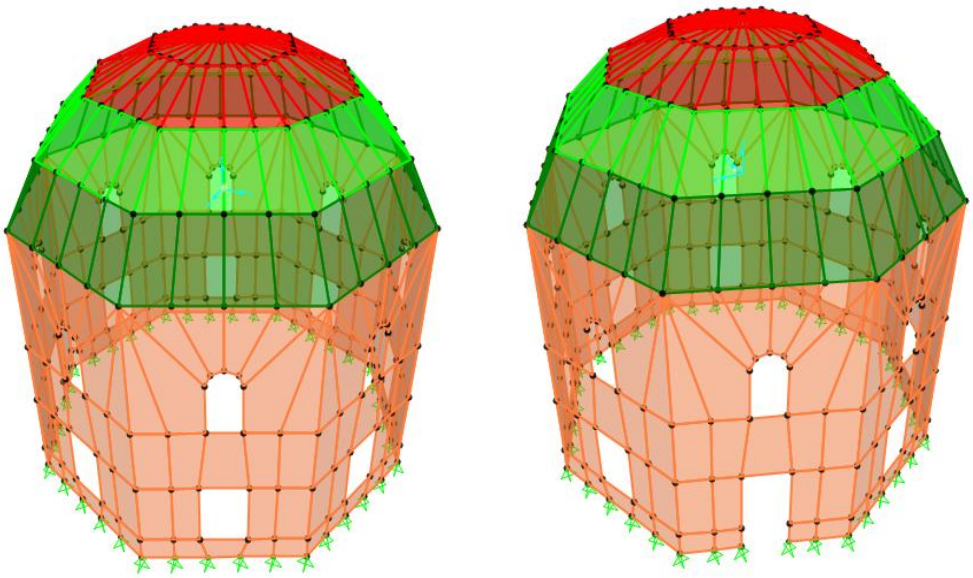
7.2.3. Yapısal model ve analizler

Modellenme amacıyla SAP 2000 V18 sonlu eleman programı kullanılmıştır. Yapının duvarları esas olarak an az üç ana malzemeden oluşmaktadır, taş, tuğla ve betonarme. Ancak modellemede yapının genel davranışı söz konusu olduğu için taşıyıcı elemanların tek bir malzemeden oluştuğu kabul edilmiş ve ilgili birim hacim ağırlığı, elastisite modülü ve Poisson oranı kullanılmıştır. Modelde yapısal çözüm iki defa ikincisi güçlendirme müdahalelerini de katarak bunların etkisini belirlemek için yapılmıştır.

Beyler Beyi Türbesi'nin strüktürel performansını belirlemek için yapılan sonlu elemanlar analizinin, SHELL elemanlarında hesaplanan gerilmelerden, her elemanın kendi yerel eksenine göre düşey doğrultuda (SAP 2000 V18 programının formatına göre S22 olarak tanımlanan) meydana gelen çekme veya basınç gerilmeleri ile (SAP 2000 V18 programının formatına göre S12 olarak tanımlanan) kayma gerilmeleri yapının dayanımı hakkında en açıklayıcı sonucu vermektedir.

Yapının röleve projesi esas alınarak, sayısal modelde duvar kalınlığı 0.8 m, kubbenin ise değişken olan kalınlığı en üsten kubbe bitimine kadar projede belirtilen ölçüler dikkate alınarak sırasıyla 0.3 m, 0.4 m ve 0.5 m olmak üzere 3 farklı kalınlıkta tanımlanmıştır. Duvarın malzemesi taş, kubbenin malzemesi tuğla ve çekme çemberinin malzemesi de betonarme olarak, malzeme özellikleri tanımlanmıştır. Modelde yapının taşıyıcı elemanları shell olarak tanımlanmıştır. Hazırlanan yapı modelinde 329 adet düğüm noktası kullanarak 303 shell (alan) oluşturulmuştur. Zemine aktarılan noktalarda 40 adet sabit mesnet tanımlanmıştır.

Elde edilen analiz sonuçlarının, her bir düğüm noktasında ve her bir elemanda verilmesi oldukça zor olması nedeniyle elde edilen sonuçlar renkli gerilme dağılımları ve grafiklerle verilmiştir. Şekil 7.18.'de yapının SAP 2000 V18'deki modeli gösterilmektedir.



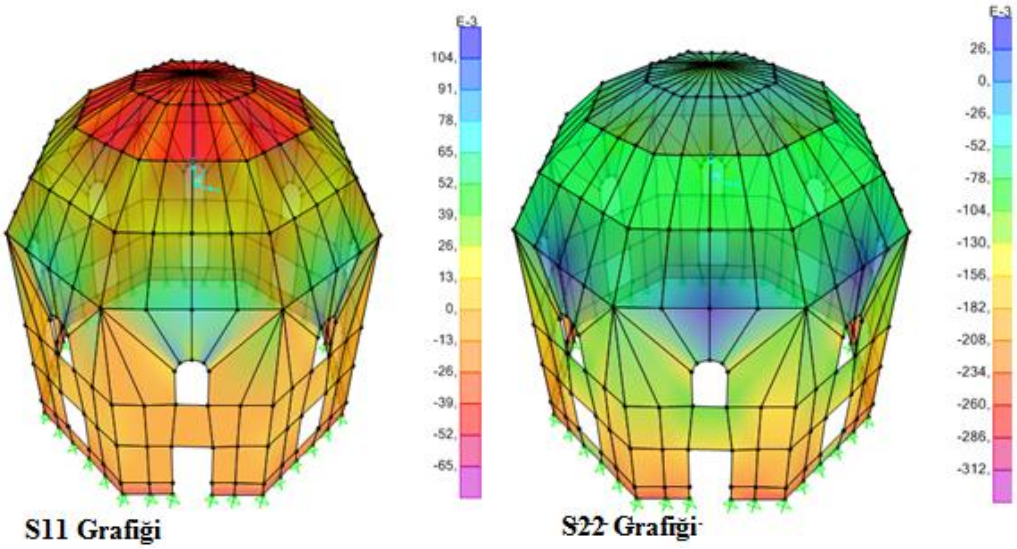
Şekil 7.18. Beyler Beyi Türbesi'nin yapısal modellemesi

7.2.3.1. Ölü yükler altında yapının analizi

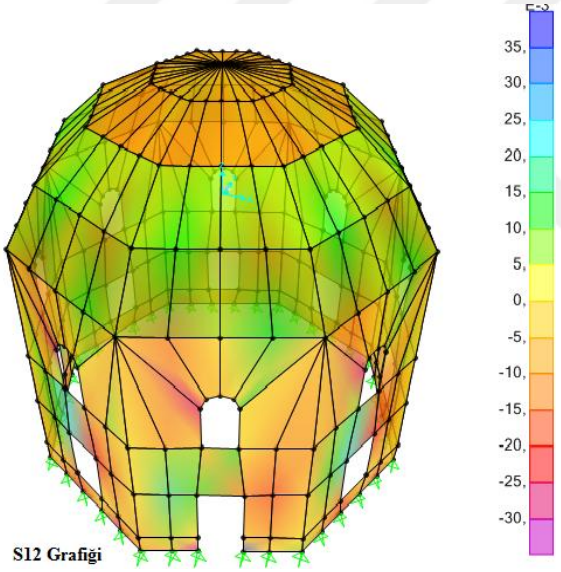
Yapı malzemelerinin birim hacim ağırlığı (γ), elastisite modülü (*E*) ve Poisson oranı (ν) tablo 7.2.'de hesaplanan değerler kullanılarak, yapının ağırlık etkisi göz önüne alınmıştır.

Yapının ağırlığı G= 5156.43 kN'dur.

Beyler Beyi Türbesi'nin üç boyutlu sonlu eleman modelinin kendi ağırlığı altında yapılan statik analizi neticesinde yapıdaki muhtemel gerilme dağılımlarına, şekil değiştirme değerlerine ulaşılmış ve çatlak oluşabilecek kritik yerler tespit edilmiştir.

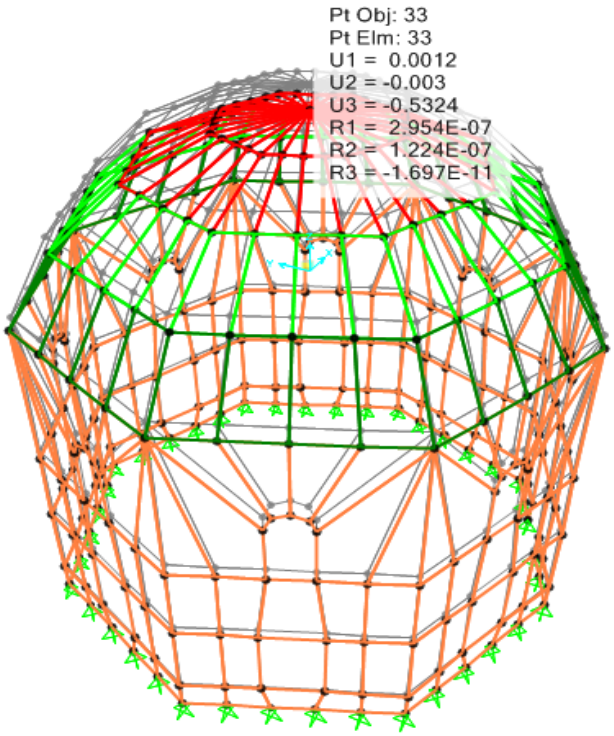


Şekil 7.19. G yüklemesi S11 (X doğrultusu) ve S22 (Y doğrultusu) gerilme dağılımı (10^{-3} x N/mm^2)



Şekil 7.20. G yüklemesi S12 gerilme dağılımı (10^{-3} x N/mm^2)

Yapının davranışını etkileyen G yüküne göre ayrı ayrı hazırlanan S22 ve S11 (çekme ve basınç) gerilme değerleri grafiği (Şekil 7.19.) ile S12 (kayma) gerilme değerleri grafiği (Şekil 7.20.) incelendiğinde, hesaplanan en elverişsiz basınç gerilmeleri S22 Grafiğinden 0.312 MPa ve en elverişsiz çekme gerilmeleri de S11 grafiğinden 0.104 MPa olarak tespit edilmiştir. Her iki değerde Tablo 7.5'de verilen taş duvarların emniyet gerilme değerlerinin altında ancak sınır değerlere çok yakın çıkmıştır. S12 grafiğinden tespit edilen maksimum kayma gerilmesi 0.035 MPa'dır. Bu değer de emniyetli kayma gerilmesi değerinin altındadır.



Şekil 7.21. G yüklemesi altında oluşan maksimum yer değiştirme (mm)

G yükü altında, yapıdaki en büyük yer değiştirme, kubbenin tepe noktasında düşey doğrultuda yaklaşık 0.533 mm olmaktadır. (Şekil 7.21.) Bu analizde R=2 değeri kullanıldığı için elastik yer değiştirme 0.533 mm×2 = 1.066 mm olarak hesaplanmalıdır.

Sonuç olarak, G yüklemesi altında, yapısal analizlerde elde edilen etkiler incelendiğinde, yapının taşıyıcı duvarlarında, Türk Deprem Yönetmeliğinde yığma yapılar için önerilen basınç ve kayma gerilmesi değerlerinin aşılmadığı gözlenmiştir.

7.2.3.2 Modal çözümleme

Spekral sismik çözümde sabit spektral katsayı S(T)= 2.5 ve etkili deprem katsayısı Ao= 0.1 kabul edilmiştir. Deprem etkilerinin belirlenmesinde mod etkilerinin birleşimi yöntemi benimsenmiş ve tam karesel birleştirme yöntemi kullanılarak, yapının düşey ve deprem etkileri altında elastik davranışını elde etmek amaçlanmıştır. Bütün periyotlarda deprem yükü azaltma katsayısı R= 2 kullanılarak göz önüne alınmıştır. Modal çözümleme ile yapı sisteminin kütle ve rijitlik matrisleri kullanılarak, mod şekilleri ve periyotlar elde edilmektedir.

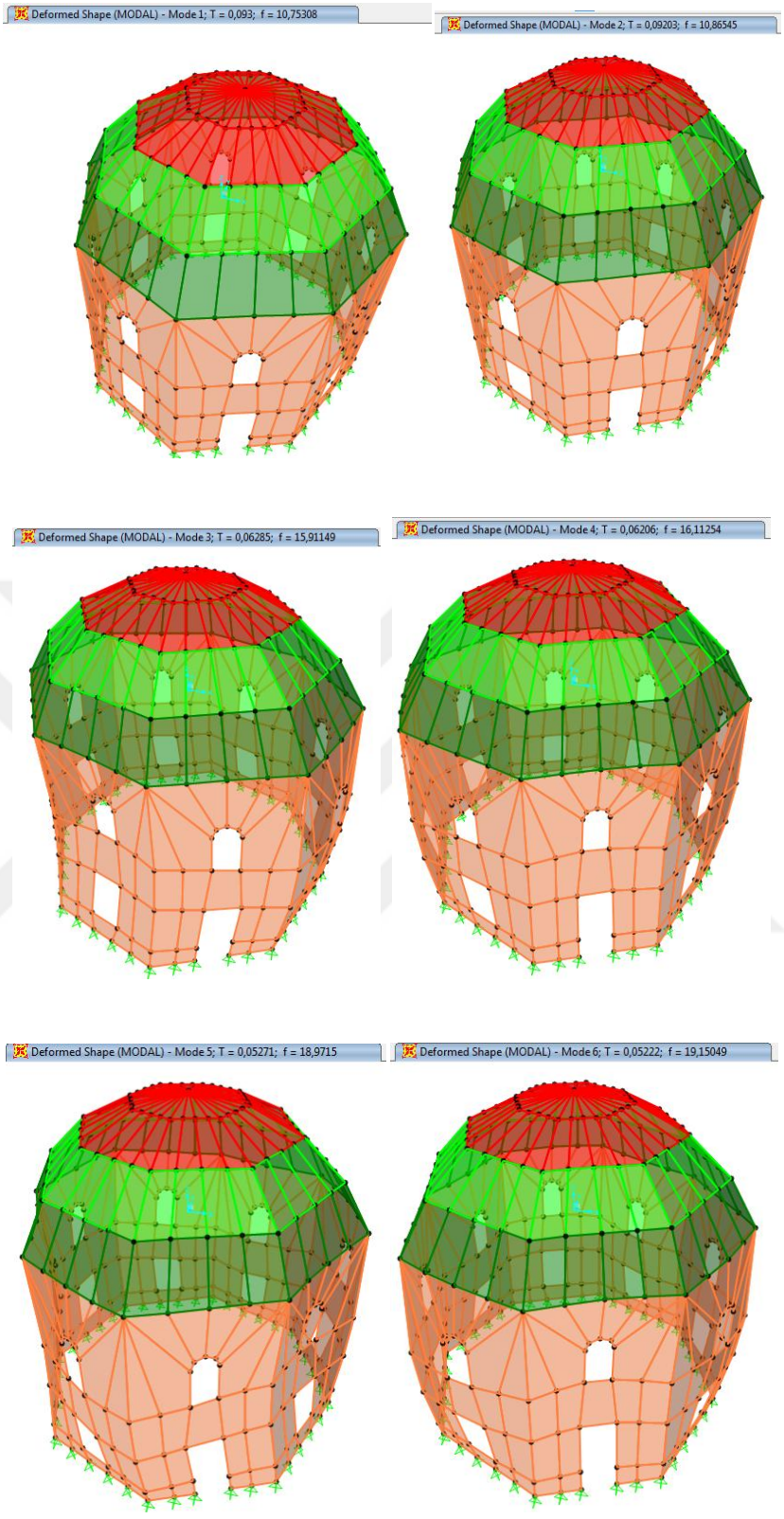
Depreme dayanıklı yapı tasarımı çerçevesinde DBYBHY 2007 ‘ye göre yapıların dinamik analizi için hesaba katılacak yeterli titreşim mod sayısı, her bir mod için hesaplanan etkin kütlelerin toplamının bina toplam kütlesinin % 90’ından daha az olmaması kuralına göre belirlenmektedir. Modların süperpozisyonu gerçekleştirilirken istatistiksel yöntemlerden olan Kareleri Toplamının Karekökü (SRSS) yöntemi kullanılmıştır.

Beyler Beyi Türbesi sonlu eleman modelinin SAP 2000 programında modal çözümlemesi yapılmış ve neticede 30 tane mod şekli ve serbest titreşim periyodu elde edilmiştir. İlk 30 modun kütle katılım oranları toplamı %92 olmaktadır. Ana kütlenin X doğrultusunda yanal yer değiştirme hareketini gösteren birinci modun kütle katılım oranı % 66, Y doğrultusunda yanal yer değiştirme hareketini gösteren ikinci modun kütle katılım oranı ise % 65 olarak hesaplanmıştır. Yapı simetrik olduğu için kütle katılım oranları hemen hemen aynı değeri vermektedir. (Tablo 7.6.)

Yapıya ait ilk 6 modun deformasyon grafikleri Şekil 7.22.’de verilmiştir.

Tablo 7.6. Serbest Titreşim Peryotları ve Kütle Katılım Oranları

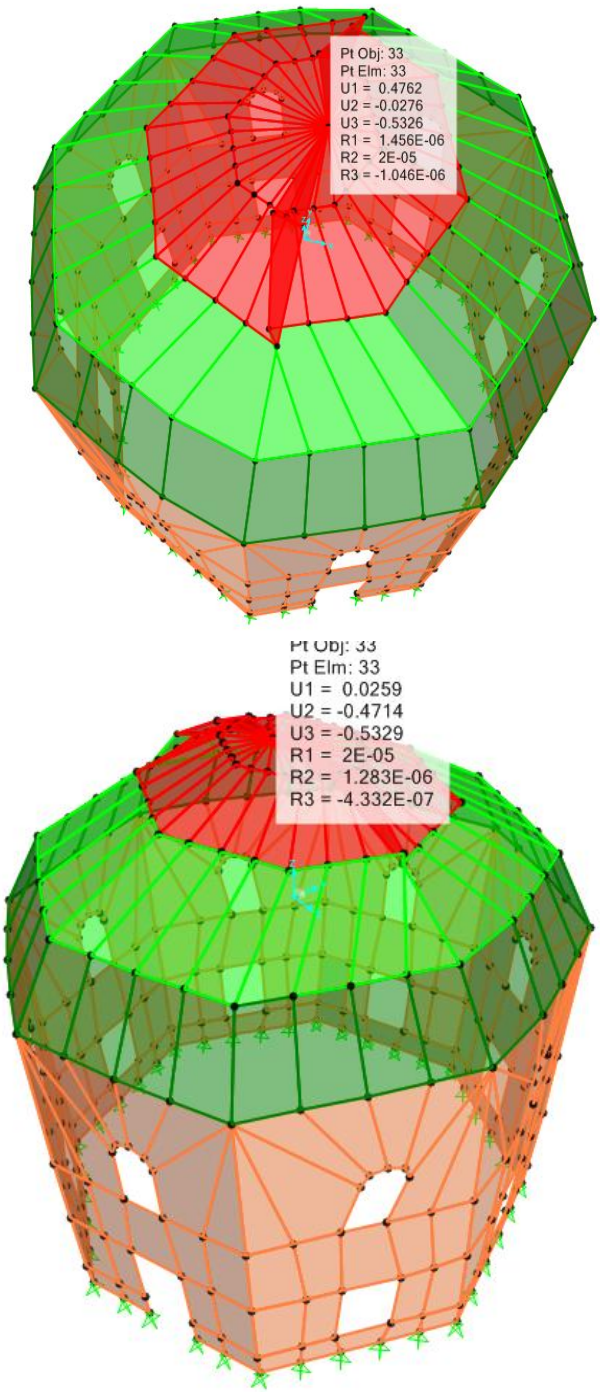
Serbest Titreşim Peryotları ve Kütle Katılım Oranları							
MOD	PERİYOT	Ux	Uy	Uz	Toplam Ux	Toplam Uy	Toplam Uz
Mod 1	0.09	0.660	0.110	0.000	0.660	0.110	0.000
Mod 2	0.09	0.110	0.650	0.000	0.770	0.770	0.000
Mod 3	0.06	0.000	0.000	0.000	0.770	0.770	0.000
Mod 4	0.06	0.000	0.000	0.000	0.770	0.770	0.000
Mod 5	0.05	0.000	0.000	0.000	0.770	0.770	0.000
Mod 6	0.05	0.000	0.000	0.000	0.770	0.770	0.000
Mod 7	0.05	0.000	0.000	0.000	0.770	0.770	0.000
Mod 8	0.04	0.077	0.013	0.000	0.850	0.780	0.000
Mod 9	0.04	0.014	0.079	0.000	0.860	0.860	0.000
Mod 10	0.04	0.000	0.000	0.270	0.860	0.860	0.270
Mod 11	0.04	0.000	0.000	0.000	0.860	0.860	0.270
Mod 12	0.04	0.000	0.000	0.000	0.860	0.860	0.270
Mod 13	0.03	0.000	0.000	0.075	0.860	0.860	0.340
Mod 14	0.03	0.000	0.000	0.000	0.860	0.860	0.340
Mod 15	0.03	0.000	0.000	0.000	0.860	0.860	0.340
Mod 16	0.03	0.019	0.003	0.000	0.880	0.860	0.340
Mod 17	0.03	0.003	0.020	0.000	0.890	0.880	0.340
Mod 18	0.03	0.000	0.000	0.430	0.890	0.880	0.770
Mod 19	0.03	0.000	0.000	0.018	0.890	0.880	0.790
Mod 20	0.03	0.000	0.000	0.000	0.890	0.880	0.790
Mod 21	0.03	0.000	0.000	0.000	0.890	0.880	0.790
Mod 22	0.03	0.002	0.000	0.000	0.890	0.880	0.790
Mod 23	0.03	0.001	0.004	0.000	0.890	0.890	0.790
Mod 24	0.03	0.002	0.000	0.000	0.890	0.890	0.790
Mod 25	0.03	0.000	0.000	0.000	0.890	0.890	0.790
Mod 26	0.03	0.000	0.000	0.000	0.890	0.890	0.790
Mod 27	0.03	0.000	0.000	0.000	0.890	0.890	0.790
Mod 28	0.03	0.015	0.003	0.000	0.910	0.890	0.790
Mod 29	0.03	0.003	0.016	0.000	0.910	0.910	0.790
Mod 30	0.02	0.000	0.000	0.000	0.910	0.910	0.790



Şekil 7.22. Beyler Beyi Türbesinin ilk 6 moda ait deformasyon hareketleri

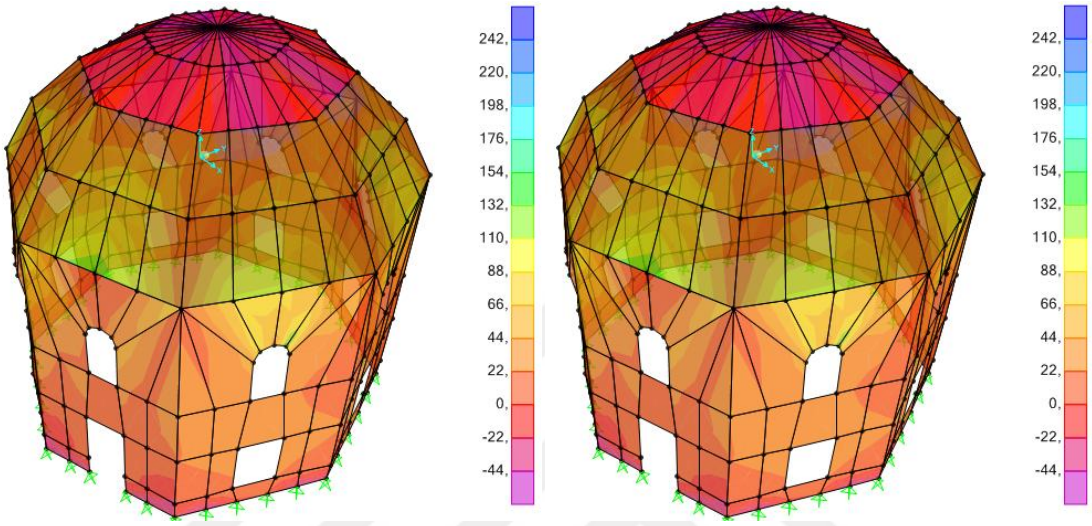
7.2.3.3. $G+E_x$ ve $G+E_y$ deprem yüklemeleri

Ölü yükler ile X ve Y doğrultusunda etki eden. deprem yükü azaltma katsayısı (R=2) ile azaltılmış deprem yükleri altında modal spektral çözümleme sonucu yapıda oluşan şekil değiştirmeler Şekil 7.23.'de verilmiştir.



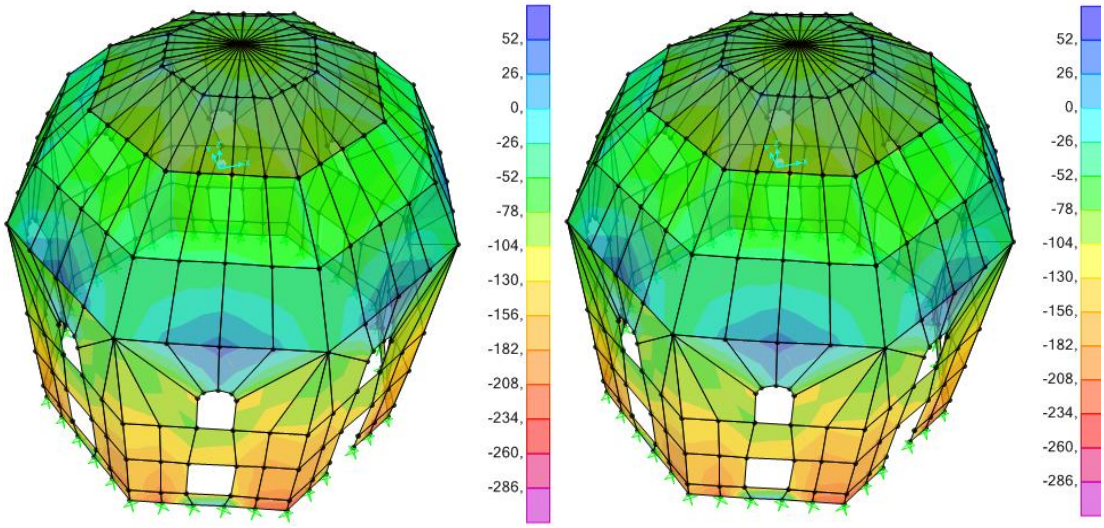
Şekil 7.23. Beyler Beyi Türbesinin $G+E_x$ ve $G+E_y$ deprem yüklemeleri altındaki kubbenin yer değiştirmeleri (mm)

$G+E_x$ deprem yüklemesi X yönünde 0.47 mm ve 0.53 mm yanal ötelenme meydana getirmektedir. $G+E_y$ deprem yüklemesi Y yönünde 0.47 mm ve 0.53 mm yanal ötelenme meydana getirmektedir. Yapılan analizler sonucunda, yapının statik durumunda en çok zorlanan bölümlerinin üst pencere boşluklarının kenarları olduğu tespit edilmiştir.

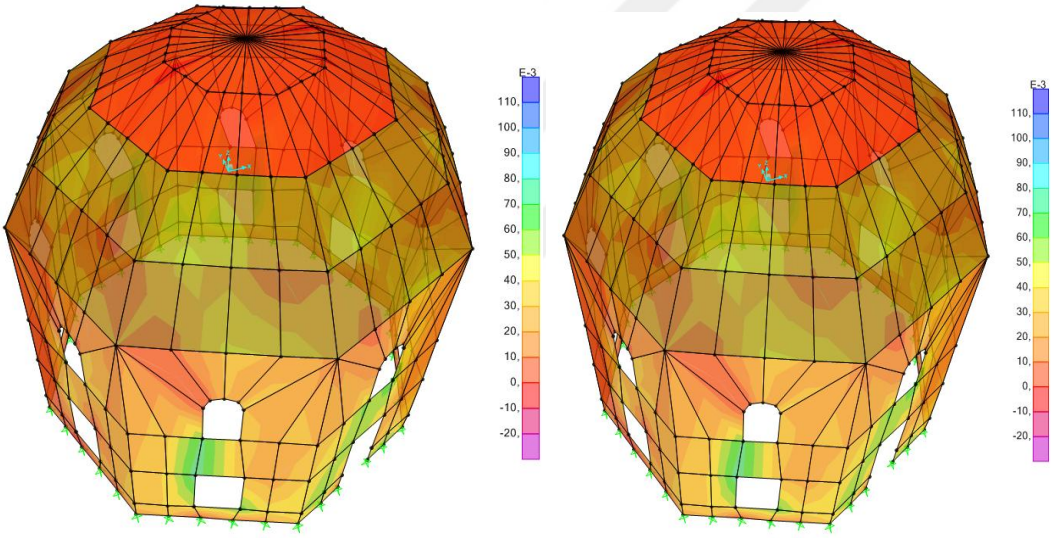


Şekil 7.24. Beyler Beyi Türbesinin $G+E_x$ ve $G+E_y$ deprem yüklemeleri altındaki S11 gerilmesi (kN/m2)

G+Ex deprem yükleme durumunda yapıdaki S11 (Şekil 7.24.) ve S22 (Şekil 7.25.) gerilmelerinin elverişsiz olduğu bölgeler kubbe ile duvar birleşim bölgeleri ve pencere, kapı boşluklarının köşe noktalarında olduğu görülmektedir. Yapıda oluşan en büyük basınç gerilmesi 0.286 MPa olarak hesaplanmıştır ve bu değer basınç emniyet gerilmesi olan 0.3 MPa değerini aşmamaktadır. Ancak 0.242 MPa olarak tespit edilen çekme gerilmeleri, çekme emniyet gerilmesini aşmakta ve güçlendirme gerekmektedir.



Şekil 7.25. Beyler Beyi Türbesinin G+E_x ve G+E_y deprem yüklemeleri altındaki S22 yüklemesi (kN/m^2)



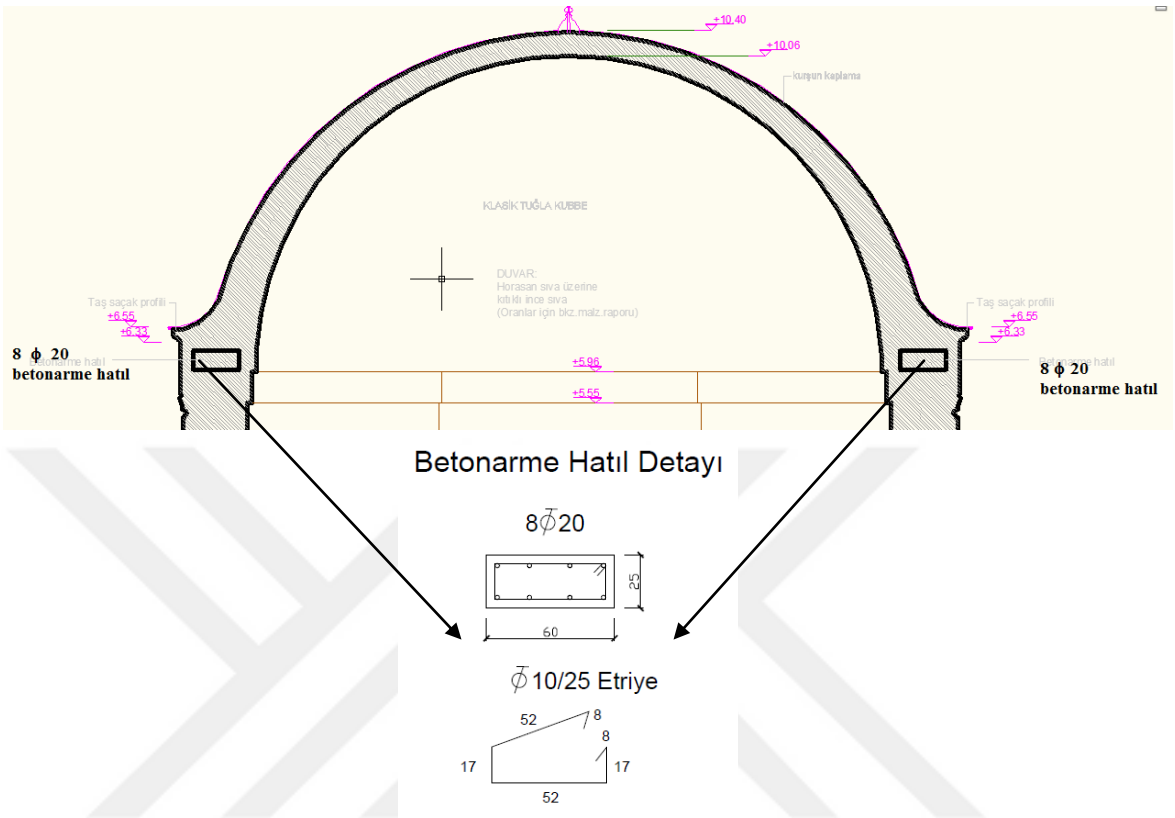
Şekil 7.26. Beyler Beyi Türbesinin G+E_x ve G+E_y deprem yüklemeleri altındaki S12 yüklemesi (kN/m^2)

Hesaplanan maksimum kayma gerilmesi 0.110 MPa olarak gerçekleşmiştir. Bu değer 0.175 MPa olarak hesaplanan emniyetli kayma gerilmesi değerinin altındadır. (Şekil 7.26.)

7.2.3.4 Modele güçlendirme uygulaması

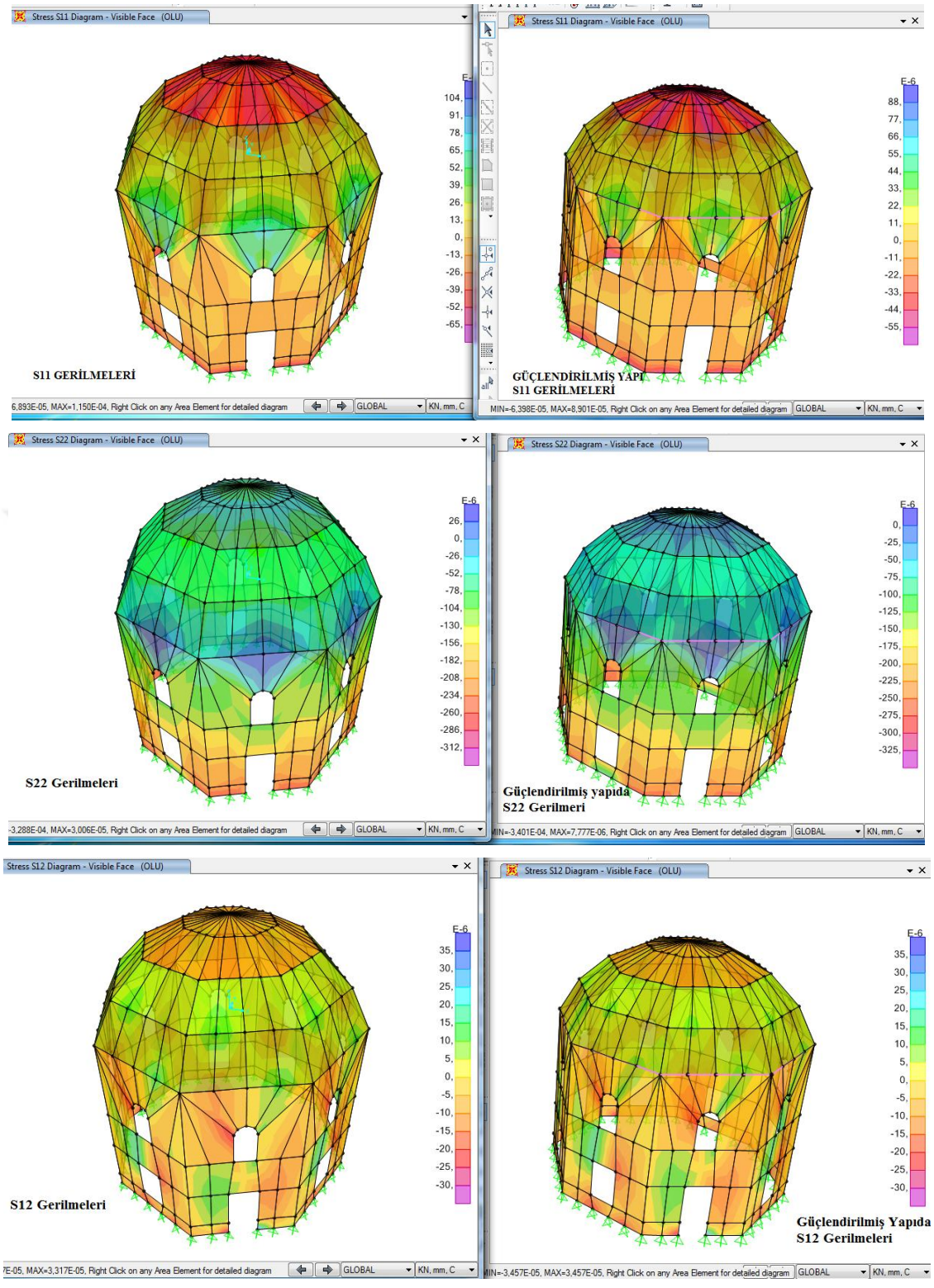
Prof. Dr. Feridun Çalı, Doç. Dr. Oğuz Cem Çelik ve Dr. Haluk Sesigür tarafından hazırlanan "Beyler Beyi Türbesinin mevcut durumu, onarımı ve güçlendirme önerileri hakkında teknik rapor"da modelde kubbe etrafındaki gerilmeleri azaltmak

amacıyla, hemen cephe duvarlarının en üst kotunda, betonarme bir çekme çemberi oluşturularak, uygun beton hatıl uygulaması yapılması önerilmiştir. (Şekil 7.27.)

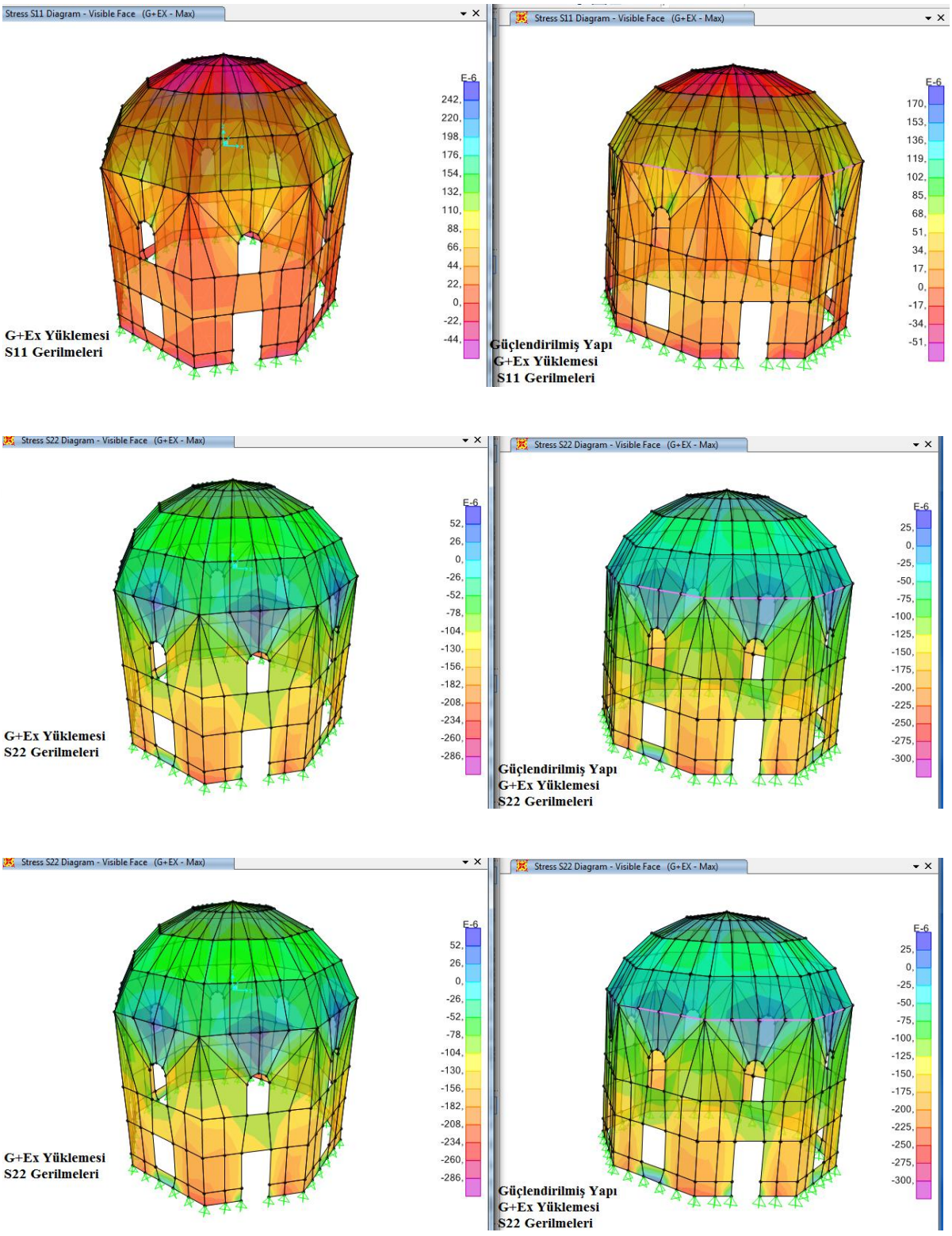


Şekil 7.27. Beyler Beyi Türbesi betonarme hatıl güçlendirme eleman detayı

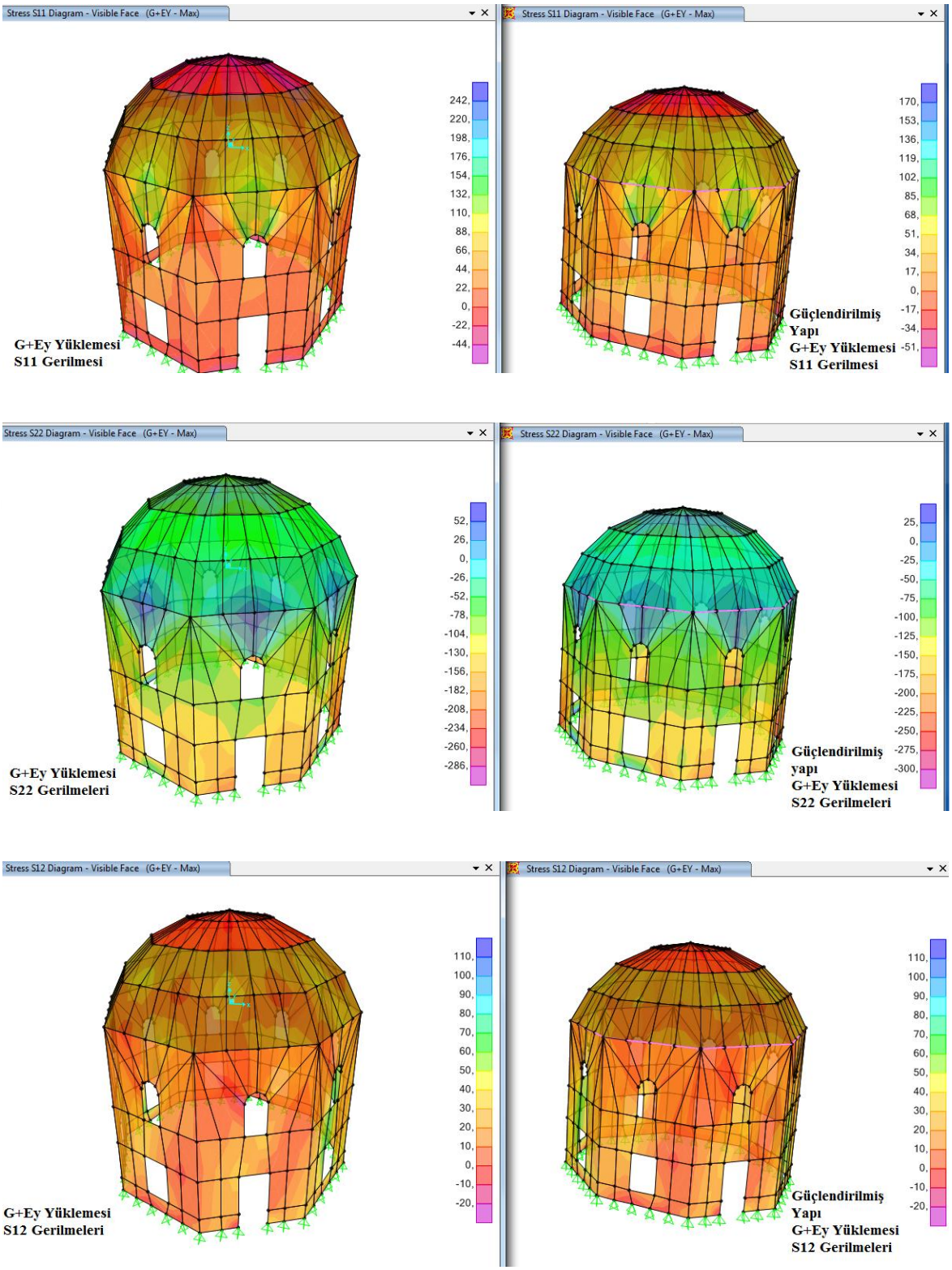
Güçlendirme sonucu elde edilen gerileme grafikleri, yapının hatılsız halindeki gerilme grafikleriyle karşılaştırılacak ve gerilme değişimleri irdelenecektir. Beyler Beyi Türbesi G yüklemesi altında güçlendirme öncesi ve sonrası S11, S22 ve S12 gerilmeleri karşılaştırma grafikleri Şekil 7.28.'de, $G+E_x$ deprem yüklemesi altında güçlendirme öncesi ve sonrası S11, S22 ve S12 gerilmeleri karşılaştırma grafikleri Şekil 7.29.'da, $G+E_y$ deprem yüklemesi altında güçlendirme öncesi ve sonrası S11, S22 ve S12 gerilmeleri karşılaştırma grafikleri Şekil 7.30.'da verilmiştir.



Şekil 7.28. Beyler Beyi Türbesi G yüklemesi altında güçlendirme öncesi ve sonrası S11, S22 ve S12 gerilmeleri karşılaştırma grafikleri



Şekil 7.29. Beyler Beyi Türbesi G+E_x deprem yüklemesi altında güçlendirme öncesi ve sonrası S11, S22 ve S12 gerilmeleri karşılaştırma grafikleri



Şekil 7.30. Beyler Beyi Türbesi G+E_y yüklemesi altında güçlendirme öncesi ve sonrası S11, S22 ve S12 gerilmeleri karşılaştırma grafikleri

Yapıda oluşan en büyük gerilmeler çekme çemberi öncesi ve sonrası olmak üzere sırasıyla, maksimum basınç gerilmesi 0.286 MPa/0.3 MPa, maksimum çekme gerilmesi 0.242 MPa/0.170 MPa, maksimum kayma gerilmesi 0.110 MPa/0.110 MPa

olarak hesaplanmıştır. Yapı taşıyıcı sisteminde, çekme çemberli ve çekme çembersiz durumda hesaplanan en elverişsiz gerilmelerin büyüklüğü yaklaşık olarak aynı mertebededir. Başka bir deyişle çekme çemberi düzenlenmesi, yapıda oluşan en elverişsiz gerilmelerin büyüklüğü üzerinde yeterli derecede etkili olmamakla birlikte, gergili durumdaki çekme gerilme dağılışındaki iyileşme açık biçimde görülmektedir.

Yapının Ocak 2017 itibariyle mevcut durumu gözlenmiş, yapıda gözle görülen her hangi bir hasara rastlanmamıştır. (Şekil 7.31.)



Şekil 7.31. Beyler Beyi Türbesinin ocak 2017'ye ait güncel fotoğrafları

7.3 Tütünsüz Baba Türbesi

Tütünsüz Baba Olarak bilinen Rıdvani Ahmet Bey II. Bayezid Devrinde defterdarlık görevinde bulunmuş, birçok şehirde sancakbeyliği yapmış bir devlet adamıdır. Kendisi aynı zamanda bir divan şairidir. Türbenin giriş kapsı üzerindeki kitabeye göre 1519 yılında vefat ettiği anlaşılmaktadır.

Bir hazire içerindeki yapı, onikigen planlı ve üzeri kubbe ile örtülüdür. Bir sıra taş-üç sıra tuğla almaşığı ile inşa edilmiş kapalı bir türbedir. Kıble yönünde yarım yuvarlak nişli bir mihrabı vardır. Giriş bu mihraba dik ve kuzey cephedendir. Girişin üzeri ahşap sundurmadır. Yapının içinde türbe mimarisinde ender karşılaşılan bir uygulama olarak kareye yakın dikdörtgen planlı, dışarıdan girişi olmayan mezar odası vardır. Bu mezarlık katına giriş, içerden alt kata inen merdivene açılan bir kapakla sağlanır. İki kat görüntüsü veren pencere dizileri ile aydınlık bir ortam oluşturulmuştur. Bir cephesinde altlı üstlü iki pencere, diğerinde tek olmak üzere atlamalı bir pencere sistemi vardır. İki penceresi olan cephelerde alttaki pencere dikdörtgen görünüşlü ve üzerindeki kemer aynalığı kapalıdır. Bunun üzerindeki küçük pencere ise fil pencere şeklinde olup dekoratif bir görünüm vermektedir. Tek pencere bulunduğu cephelerde, pencereler bu fil pencere ile aynı hizadadır.

Yapı içerisinde mihrapta ve pencere aralarında yer yoğunlaşan kalem işleri geç dönem (Barok) özelliği göstermektedir. Yapının giriş kapısı üzerinde yer alan Arapça, istifli sülüs kitabesinde yapılan ebced hesabıyla, Rıdvani Ahmet Bey'in H.925 (M.1519) yılında vefat ettiği okunmaktadır. Yapıda bu tarihlerde yapılmış olmalıdır. Plan şekli, yapı malzemesi ve inşa tekniği de bu döneme uygun düşerek bu görüşü destekler, Hazirede bulunan mezar taşları türbeden daha yeni tarihli olup H. 1125-1304 (M. 1713-1886) arasında değişir.

7.3.1 Yapının restorasyon öncesi mimari özellikleri

Bu bölümde verilen bilgiler, yapının onarımından önce, 2005 yılında Edirne Vakıflar Bölge Müdürlüğü Tütünsüz Baba Türbesi için hazırlanan rölöve, restitüsyon, restorasyon raporlarından alınmıştır. Şekil 7.32.'de türbenin onarım öncesi ve sonarım sonrasına ait resimleri verilmiştir.



Şekil 7.32. Tütünsüz Baba Türbesinin restorasyon öncesi ve sonrası fotoğrafları (2005-2008)

Rıdvani Ahmet Bey adına 1499/1500 yılında yaptırılan türbe Edirne'deki klasik devir Osmanlı türbelerindendir. Çokgen plan özelliğine sahip yapı on iki kenarlıdır. 3 sıra tuğla 1 sıra taş ve dikine tuğlayla oluşturulan çerçeveli almaşık tekniğindeki duvar örgüsü ile 14. yüzyıldaki türbeler ile benzerlik göstermemektedir. Buna mukabil 15.yüzyılda on ikigen şema kullanılmamış fakat 1, 2 veya 3 sıra tuğla hatılların kullanıldığı taş duvar ve tuğla ile çerçeve oluşturulmuş duvar örme tekniği özellikle bursa ve çevresinde uygulanmıştır. Giriş kapısı basık kemerlidir. Kemerin üzerinde duvar ile aynı hizada tuğladan örülmüş sivri kemer vardır. Bu iki kemer arasında kitabe yer alır. İç duvarları 2.77 ila 2.92m, dış duvarları 3.36 ila 3.53m arasında değişmektedir. Yapının duvar kalınlığı ortalama 105cm'dir. Zemin kat planında mekâna açılan 6 adet pencere vardır. Pencereler düz atkılıdır, üzerleri tuğla sivri kemer ile örülmüştür. Üstte 5 adet sivri kemerli pencere yer alır. Bu pencerelerin üzeri, tuğla sivri kemer ile örülmüştür. 7 adet fil penceresi vardır. Etrafları tuğla ile örülmüştür.

Kubbesi çökmüş olan yapının, cephelerinde deri çatlak ve yarıklar vardır. Kubbenin araştırmalar sırasında bulunan eski fotoğrafından yarım daire şeklinde olduğu tespit edilmiştir. Restitüsyonda kubbe yüksekliği oturduğu açıklığa göre tespit edilmiştir. Yapılan statik incelemelerde özellikle kasnak çevresinden başlayarak aşağıya inen yarıkların, en geniş yerlerinin üst hizalarda olması, kubbenin oturduğu beden duvarlarına doğru, yük bindirmesi ile olduğu saptanmıştır. Yapı kubbenin düşeyde getirdiği yük sonucunda yataya doğru genişlemiş ve kubbeyi taşıyamamıştır. Şiddetli bir sarsıntı kubbede hasar oluşturmuş olabilir ama 1976 yılında yıkılan kubbenin çökme sebebi, beden duvarına gelen yük sonucunda duvarlardaki açılmadır. (Şekil 7.33.)



Şekil 7.33. Tütünsüz Baba Türbesinin restorasyon öncesi fotoğrafları (2005)

Yapıda kullanılan malzeme özelliğine bakarak Tütünsüz Baba Türbesi'nin günümüze gelinceye kadar en az üç defa esaslı onarım geçirdiğini söyleyebiliriz. Dış duvarlarda kullanılan farklı taşlar ve derzlerle ilişkisi irdelendiğinde, aynı pencerenin sövelerinde ve kapı kemer taşlarında birbirinden farklı özellikte taşların kullanılmış olması ve hatta muhtemelen restorasyon sırasında seçilen yeni taşların eskilerine göre daha önce tahrip olması farklı dönemlerin belirtisidir. Yine pencere aynalarının farklı malzemelerden olması yapının birkaç defa müdahale gördüğünü kanıtlar. Yapılan olumsuz müdahalelerde yapıya zarar vermiştir. (Şekil 7.34.)



Şekil 7.34. Tütünsüz Baba Türbesinin restorasyon öncesi fotoğrafları (2005)

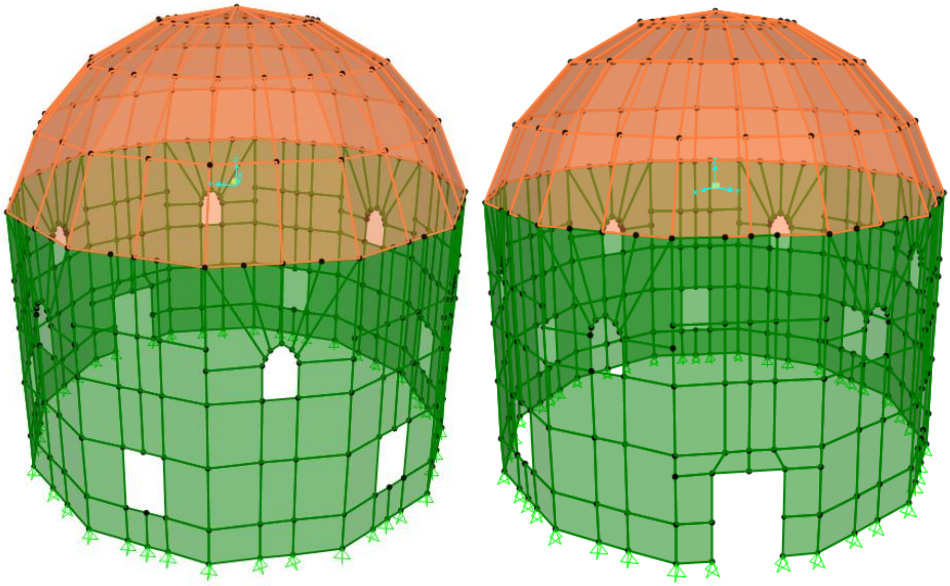
1958 de yangın geçirmiştir. Ahşap lentolar yağmur suyu ile direk temas halinde olduğundan çürümeye başlamıştır. Aynı şekilde mihrabın ahşap strüktürüde hava koşullarından dolayı çürümeye başlamıştır. İç mekânda gözle de tespit edilebilen üç dönem sıva vardır. Farklı dönemlerde yapılmış kalem işleri de tespit edilmiştir. En üst sıva üzerinde yer alan kalem işleri doğal koşullara açık olan duvar yüzeylerinde okunamayacak durumdadır. Son cemaat yerinde mihrabiye sahiptir. Mihrabiyenin iki yanında sütunçeler bulunmaktadır. Nişler barok üsluptadır. Renk olarak kırmızı ve mavi renk kullanılmıştır. Ancak boyalar aktığından, sıvalarda dökülme ve hasar olduğundan desenler görülmemektedir. Tepe pencerelerinin kenarlarındaki kalem işleri diğerlerine göre daha nettir.

İlgi çekici yan içte temele yakın yerde yapıyı çepe çevre dolaşan kanal bulunmuş olmasıdır. Ortadaki kare mekânın ne için kullanıldığı belli olmamakla birlikte, yapıda değişik devirler görülmektedir. Yapı içinde özgün döşeme tespit edilememiştir. Sadece kapı eşiğinin önünde bir bölümü duran taş döşeme vardır. Türbe içi toprak ve bitki ile kaplıdır.

7.3.2 Yapısal model ve analizler

Modellenme amacıyla SAP 2000 V18 sonlu eleman programı kullanılmıştır. Yapının duvarları esas olarak an az üç ana malzemeden oluşmaktadır, taş, tuğla ve harç (sıva). Ancak modellemede yapının genel davranışı söz konusu olduğu için taşıyıcı elemanların tek bir malzemeden oluştuğu kabul edilmiş ve ilgili birim hacim ağırlığı, elastisite modülü ve Poisson oranı kullanılmıştır. Modelde yapısal çözüm iki defa ikincisi güçlendirme müdahalelerini de katarak bunların etkisini belirlemek için yapılmıştır.

Yapının röleve projesi esas alınarak, sayısal modelde duvar kalınlığı 1.0 m, kubbenin kalınlığı 0.3 m olarak tanımlanmıştır. Duvarın malzemesi taş, kubbenin malzemesi tuğla ve çekme çemberinin malzemesi de çelik olarak, malzeme özellikleri tanımlanmıştır. Yapının taşıyıcı elemanları shell olarak modellenmiştir. Hazırlanan yapı modelinde 376 adet düğüm noktası kullanarak 296 shell (alan) oluşturulmuştur. Zemine aktarılan noktalarda 41 adet sabit mesnet tanımlanmıştır. Tütünsüz Baba Türbesine ait yapısal model Şekil 7.35.'de verilmiştir.



Şekil 7.35. Tütünsüz Baba Türbesinin yapısal modellenmesi

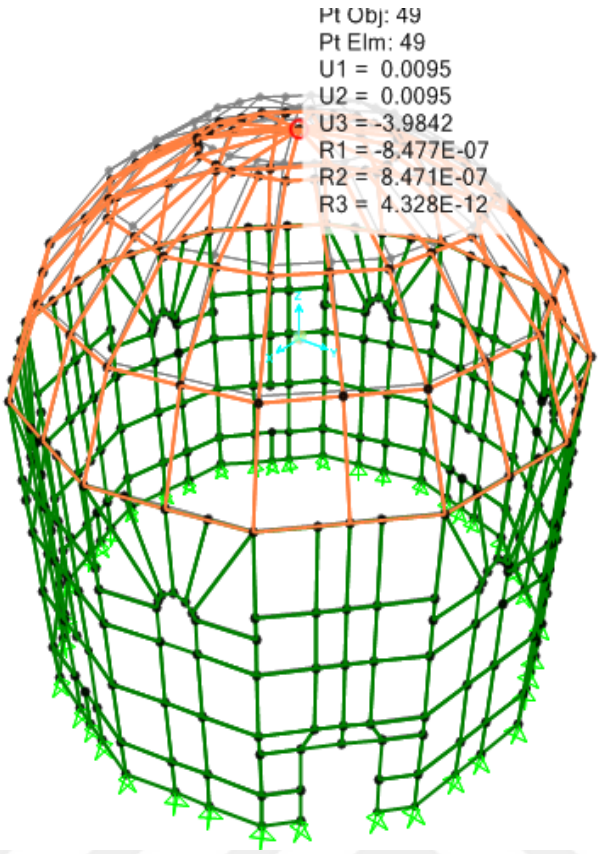
Elde edilen analiz sonuçlarının, her bir düğüm noktasında ve her bir elemanda verilmesi oldukça zor olması nedeniyle elde edilen sonuçlar renkli gerilme dağılımları ve grafiklerle verilmiştir.

7.3.2.1. Ölü yükler altında yapının analizi

Yapı malzemelerinin birim hacim ağırlığı (γ), elastisite modülü (*E*) ve Poisson oranı (ν) tablo 7.2.'de hesaplanan değerler kullanılarak, yapının ağırlık etkisi göz önüne alınmıştır.

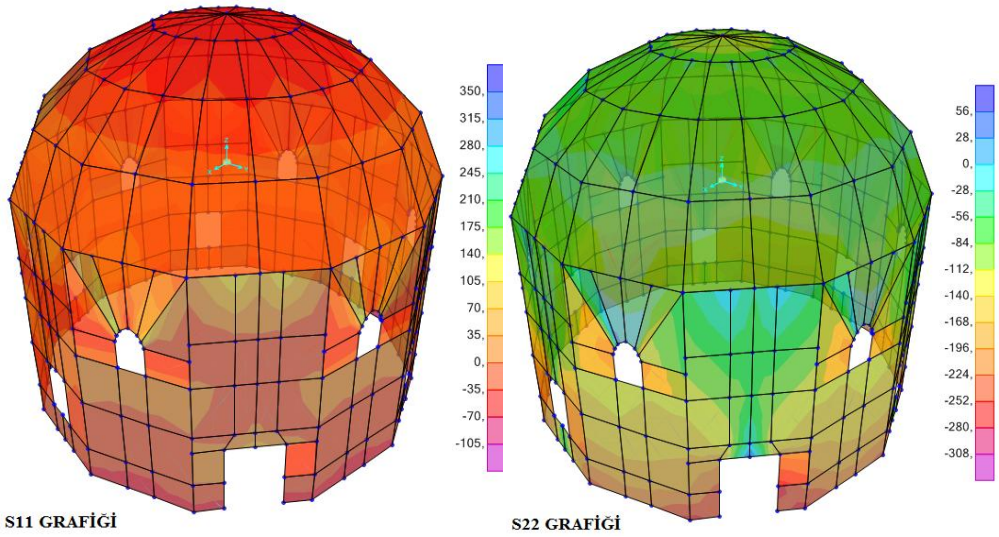
Yapının ağırlığı G= 7694.14 kN'dur.

Tütünsüz Baba Türbesi'nin üç boyutlu sonlu eleman modelinin kendi ağırlığı altında yapılan statik analizi neticesinde yapıdaki muhtemel gerilme dağılımlarına, şekil değiştirme değerlerine ulaşılmış ve çatlak oluşabilecek kritik yerler tespit edilmiştir.



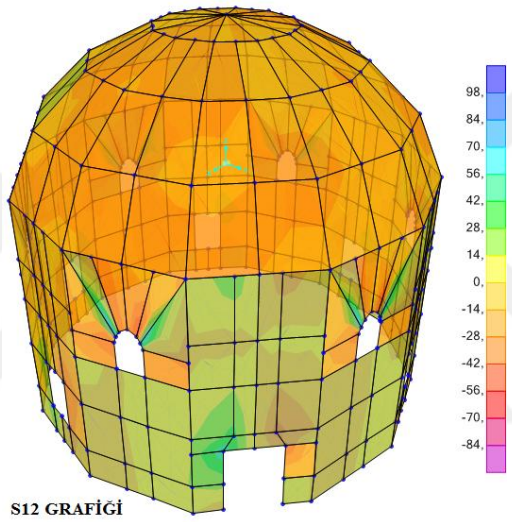
Şekil 7.36. Tütünsüz Baba Türbesinin G yüklemesi altında oluşan maksimum yer değiştirme (mm)

G yükü altında, yapıdaki en büyük yer değiştirme, kubbenin tepe noktasında düşey doğrultuda yaklaşık 3.94 mm olmaktadır. (Şekil 7.36.) Bu analizde R=2 değeri kullanıldığı için elastik yer değiştirme 3.94 mm × 2 = 7.88 mm olarak hesaplanmalıdır.



Şekil 7.37. G yüklemesi S11 (X doğrultusu) ve S22 (Y doğrultusu) gerilme dağılımı (kN/m²)

Yapının davranışını etkileyen G yüküne göre ayrı ayrı hazırlanan S22 ve S11 (çekme ve basınç) gerilme değerleri grafiği (Şekil 7.37.) ile S12 (kayma) gerilme değerleri grafiği (Şekil 7.38.) incelendiğinde, hesaplanan en elverişsiz basınç gerilmeleri S22 Grafiğinden 0.308 MPa ve en elverişsiz çekme gerilmeleri de S11 grafiğinden 0.305 MPa olarak tespit edilmiştir. Her iki değerde Tablo 7.5'de verilen taş duvarların emniyet gerilme değerlerinin aşmıştır. S12 grafiğinden tespit edilen maksimum kayma gerilmesi 0.098 MPa'dır. Bu değer de emniyetli kayma gerilmesi değerinin altındadır. Bu değer Tablo 7.5.'de verilen taş duvarların kayma emniyet gerilmesi değerini aşmamıştır.



Şekil 7.38. G yüklemesi S12 gerilme dağılımı (kN/m²)

Sonuç olarak, G yüklemesi altında, yapısal analizlerde elde edilen etkiler incelendiğinde, yapının taşıyıcı duvarlarında, Türk Deprem Yönetmeliğinde yığma yapılar için önerilen basınç ve kayma gerilmesi değerlerinin aşılmadığı ancak çekme gerilmelerinin çok büyük çıktığı gözlemiştir. Zaten yapının yıkılan kubbesi ve oluşan çatlakların büyüklüğü yapının stabil olmadığının göstergesidir.

7.3.3.2. Modal çözümleme

Spekral sismik çözümde sabit spektral katsayı S(T)= 2.5 ve etkili deprem katsayısı Ao= 0.1 kabul edilmiştir. Deprem etkilerinin belirlenmesinde mod etkilerinin birleşimi yöntemi benimsenmiş ve tam karesel birleştirme yöntemi kullanılarak, yapının düşey ve deprem etkileri altında elastik davranışını elde etmek amaçlanmıştır. Bütün periyotlarda deprem yükü azaltma katsayısı R= 2 kullanılarak göz önüne alınmıştır.

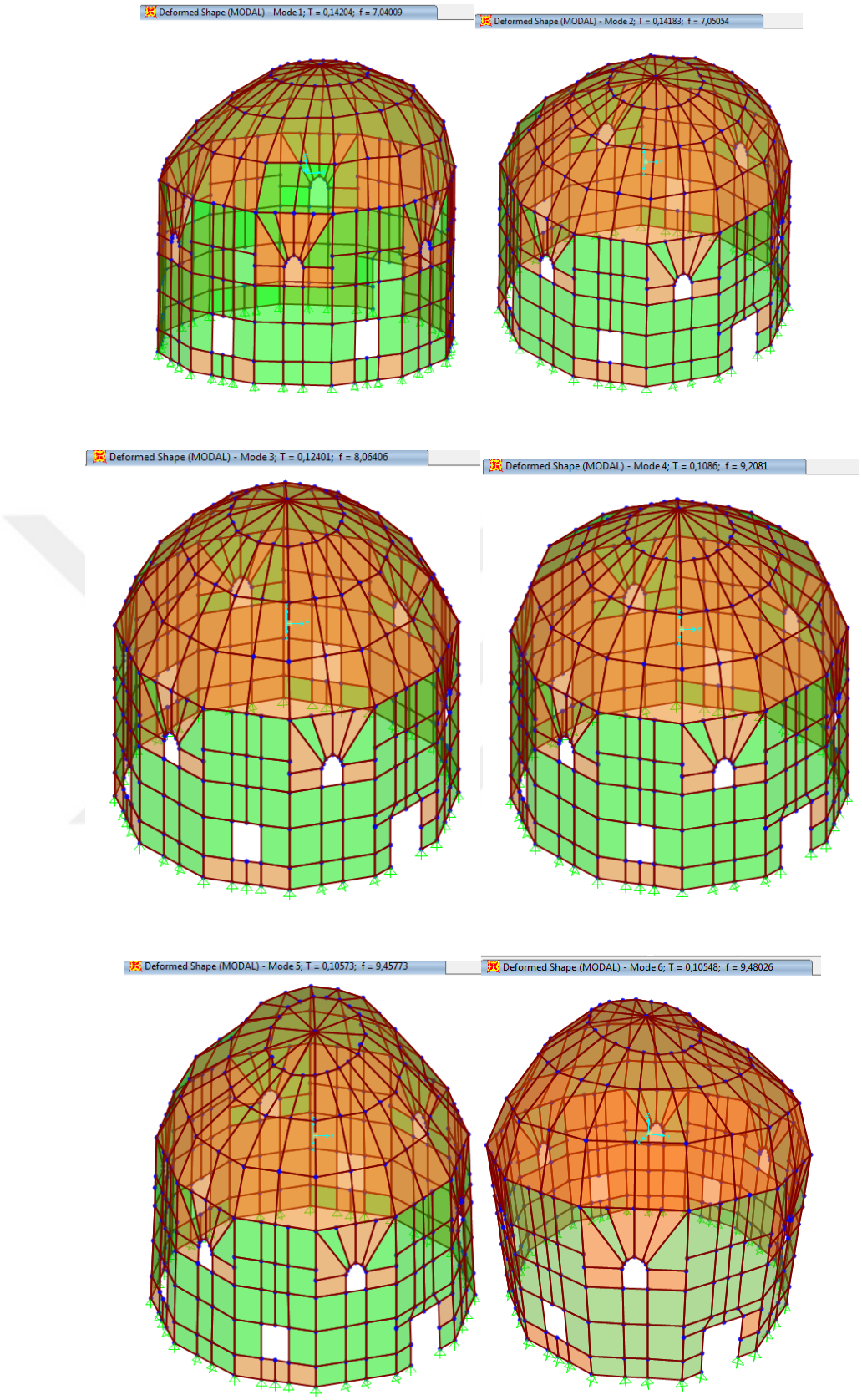
Modal çözümleme ile yapı sisteminin kütle ve rijitlik matrisleri kullanılarak, mod şekilleri ve periyotlar elde edilmektedir. Depreme dayanıklı yapı tasarımı çerçevesinde DBYBHY 2007'ye göre yapıların dinamik analizi için hesaba katılacak yeterli titreşim mod sayısı, her bir mod için hesaplanan etkin kütlelerin toplamının bina toplam kütlesinin %90'ından daha az olmaması kuralına göre belirlenmektedir. Modların süperpozisyonu gerçekleştirilirken istatistiksel yöntemlerden olan Kareleri Toplamının Karekökü (SRSS) yöntemi kullanılmıştır.

Tütünsüz Baba Türbesi sonlu eleman modelinin SAP 2000 programında modal çözümlemesi yapılmıştır. Hesaplanan etkin kütlelerin toplamının, bina toplam kütlesinin %90'ından az olmamasının sağlanabilmesi için 120 tane mod şekli gerektiği görülmüştür. İlk 25 modta toplam kütle katılım oranı %70'e ulaşıyor. Daha sonraki artış miktarları çok çok küçük olduğu için, model için 25 mod yeterli görülmüştür. Zaten elde edilen en yüksek doğal titreşim periyodu 0.142'dir ve bina oldukça rijittir. (Tablo 7.7.) Şekil 7.39.'da yapıya ait ilk 6 modun deformasyon grafikleri verilmiştir.

.

Tablo 7.7. Serbest Titreşim Peryotları ve Kütle Katılım Oranları

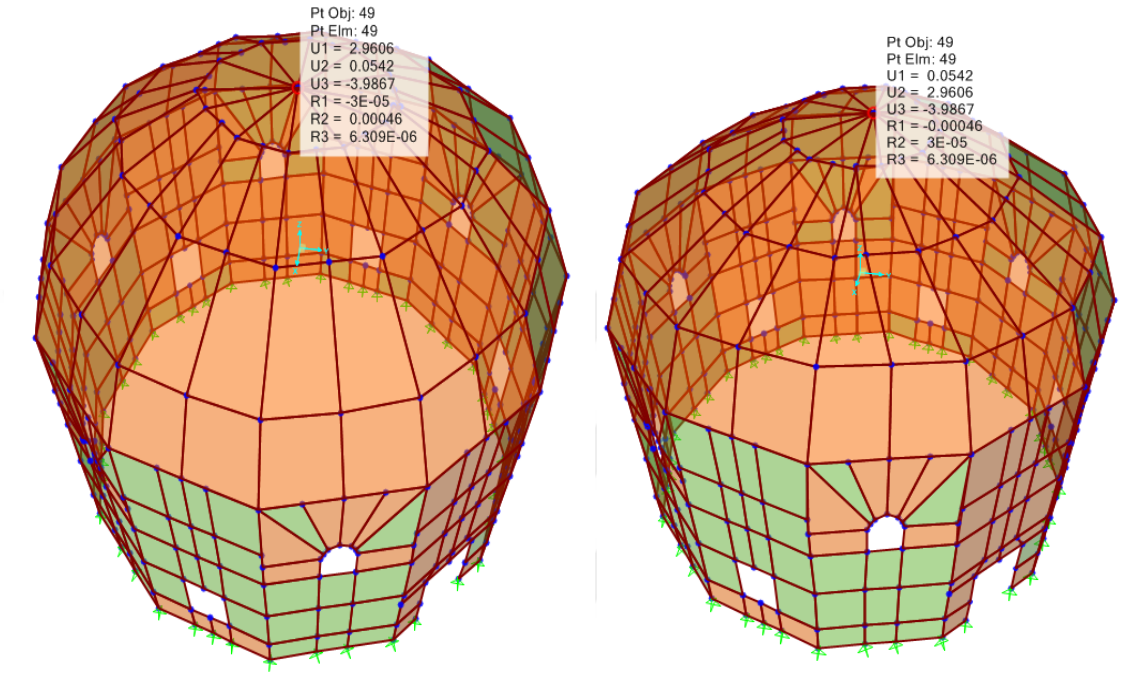
Serbest Titreşim Periyotları ve Kütle Katılım Oranı							
MOD	Periyot	Ux	Uy	Uz	Toplam Ux	Toplam Uy	Toplam Uz
MOD 1	0.142	0.110	0.110	0.000	0.110	0.110	0.000
MOD 2	0.142	0.107	0.106	0.000	0.217	0.217	0.000
MOD 3	0.124	0.000	0.000	0.016	0.217	0.217	0.016
MOD 4	0.109	0.000	0.000	0.005	0.217	0.217	0.020
MOD 5	0.106	0.002	0.002	0.000	0.218	0.218	0.020
MOD 6	0.105	0.003	0.003	0.000	0.222	0.222	0.020
MOD 7	0.105	0.002	0.002	0.000	0.224	0.224	0.020
MOD 8	0.105	0.000	0.000	0.000	0.224	0.224	0.020
MOD 9	0.099	0.001	0.001	0.000	0.225	0.225	0.020
MOD 10	0.098	0.000	0.000	0.000	0.225	0.225	0.020
MOD 11	0.098	0.000	0.000	0.002	0.225	0.225	0.022
MOD 12	0.096	0.010	0.010	0.000	0.234	0.234	0.022
MOD 13	0.096	0.009	0.009	0.000	0.244	0.244	0.022
MOD 14	0.094	0.000	0.000	0.000	0.244	0.244	0.022
MOD 15	0.094	0.000	0.000	0.000	0.244	0.244	0.022
MOD 16	0.089	0.000	0.000	0.000	0.244	0.244	0.022
MOD 17	0.088	0.000	0.000	0.000	0.244	0.244	0.022
MOD 18	0.087	0.000	0.000	0.000	0.244	0.244	0.022
MOD 19	0.087	0.000	0.000	0.000	0.244	0.244	0.022
MOD 20	0.081	0.000	0.000	0.000	0.244	0.244	0.022
MOD 21	0.081	0.000	0.000	0.000	0.244	0.244	0.022
MOD 22	0.080	0.163	0.163	0.000	0.407	0.407	0.022
MOD 23	0.079	0.006	0.006	0.000	0.413	0.413	0.022
MOD 24	0.079	0.062	0.061	0.000	0.474	0.474	0.022
MOD 25	0.079	0.217	0.218	0.000	0.692	0.692	0.022



Şekil 7.39. Tütünsüz Baba Türbesinin ilk 6 moda ait deformasyon hareketleri

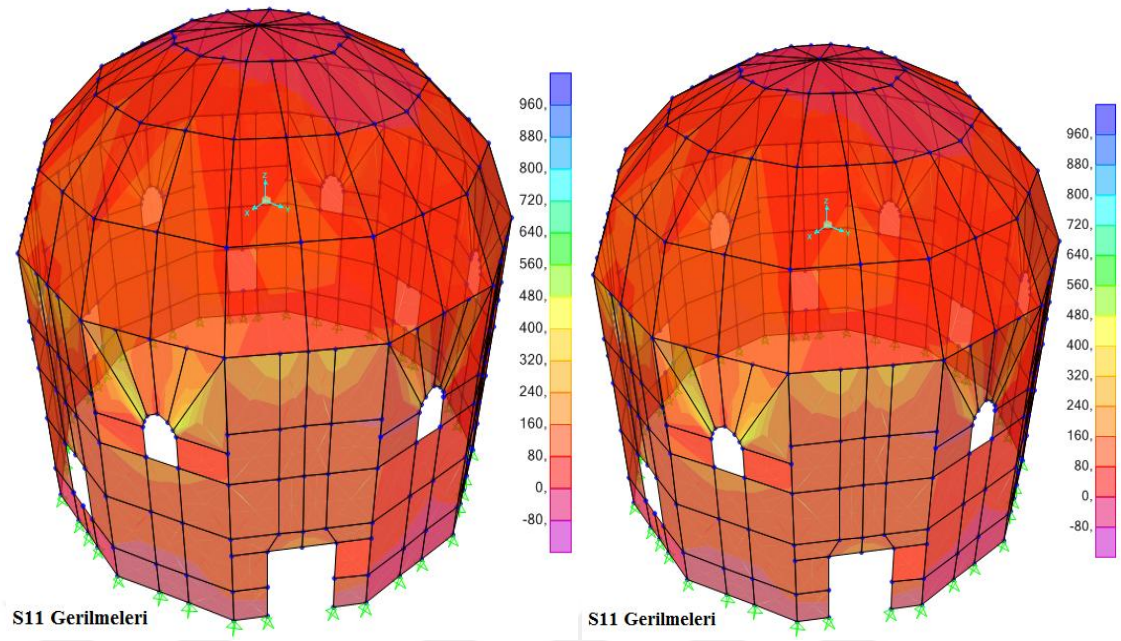
7.3.3.3. $G+E_x$ ve $G+E_y$ deprem yüklemeleri

Ölü yükler ile X ve Y doğrultusunda etki eden, deprem yükü azaltma katsayısı (R=2) ile azaltılmış deprem yükleri altında modal spektral çözümleme sonucu yapıda oluşan şekil değiştirmeler Şekil 7.40.'da verilmiştir.



Şekil 7.40. Tütünsüz Baba Türbesi $G+E_x$ ve $G+E_y$ deprem yüklemeleri altındaki kubbenin yer değiştirmeleri (mm)

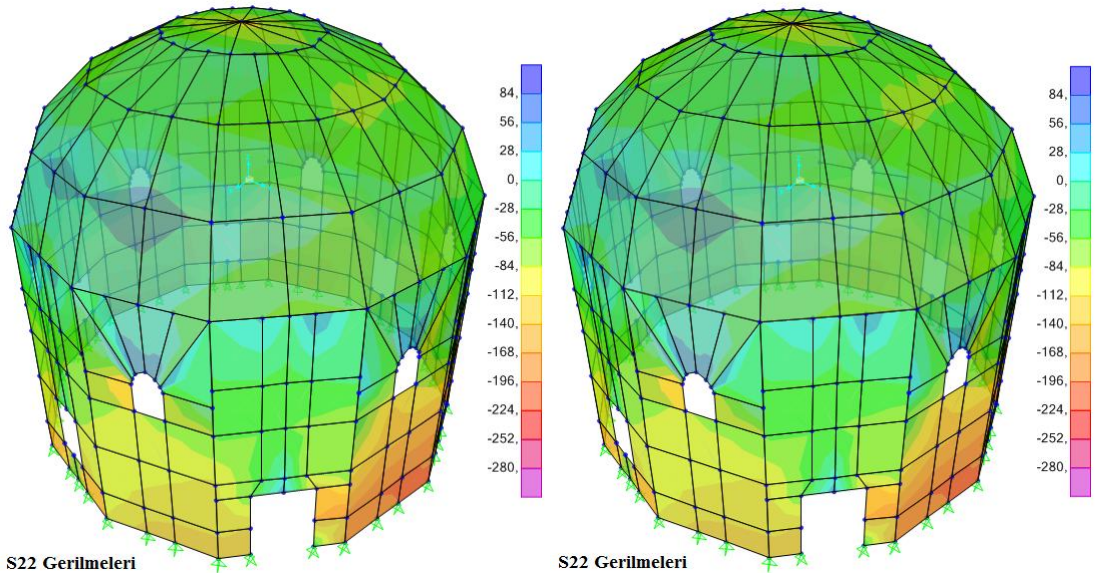
$G+E_x$ deprem yüklemesi X yönünde 2.96 mm yanal ve 3.99 mm düşey ötelenme meydana getirmektedir. $G+E_y$ deprem Y yönünde 2.96 mm yanal ve 3.99 mm düşey ötelenme meydana getirmektedir. (Şekil 7.40.) Yapılan analizler sonucunda, yapının statik durumunda en çok zorlanan bölümlerinin üst pencere boşluklarının kenarlarında ve kubbe ağırlığından dolayı beden duvarlarında olduğu tespit edilmiştir.



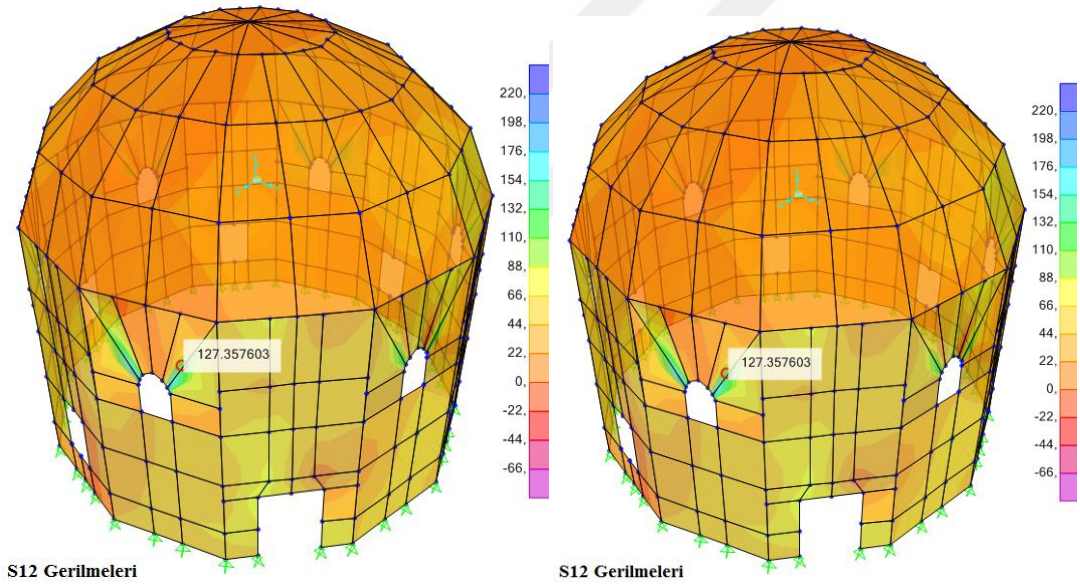
Şekil 7.41. Tütünsüz Baba Türbesinin G+Ex ve G+Ey deprem yüklemeleri altındaki S11 gerilmesi (kN/m2)

G+Ex deprem yükleme durumunda yapıdaki S11 (Şekil 7.41.) ve S22 (Şekil 7.42.) gerilmelerinin elverişsiz olduğu bölgeler kubbe ile duvar birleşim bölgeleri ve pencere, kapı boşluklarının köşe noktalarında olduğu görülmektedir. Yapıda oluşan en büyük basınç gerilmesi 0.280 MPa olarak hesaplanmıştır ve bu değer basınç emniyet gerilmesi olan 0.3 MPa değerini aşmamaktadır. Ancak 0.960 MPa olarak tespit edilen çekme gerilmeleri, çekme emniyet gerilmesini aşmakta ve güçlendirme gerekmektedir.

Hesaplanan maksimum kayma gerilmesi 0.220 MPa olarak gerçekleşmiştir. Bu değer 0.175 MPa olarak hesaplanan emniyetli kayma gerilmesi değerinin aşmıştır. (Şekil 7.43.)



Şekil 7.42. Tütünsüz Baba Türbesinin G+Ex ve G+Ey yüklemeleri altındaki S22 gerilmesi (kN/m2)



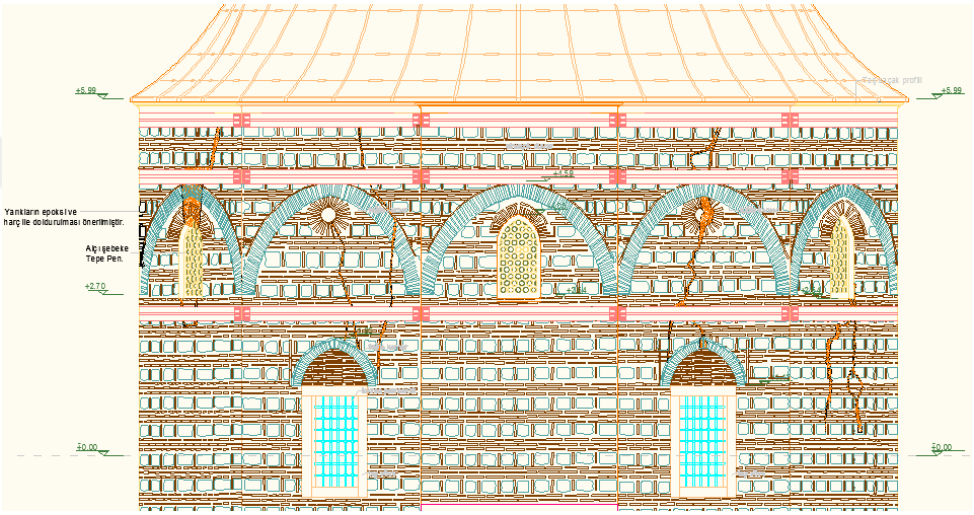
Şekil 7.43. Tütünsüz Baba Türbesinin G+Ex ve G+Ey yüklemeleri altındaki S12 gerilmesi (kN/m2)

7.3.3.4. Model güçlendirme uygulaması

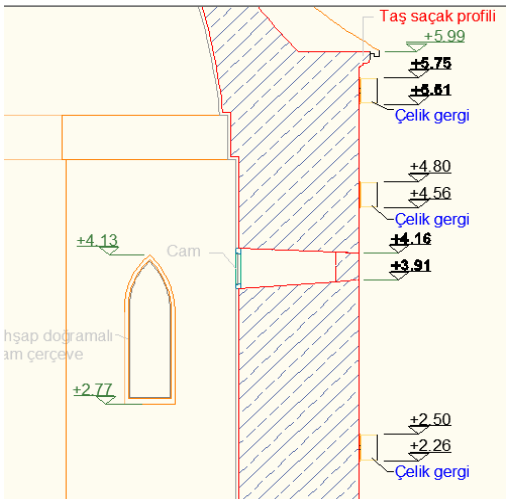
Bu bölümde verilen bilgiler, yapının onarımından önce, 2006 yılında Edirne Vakıflar Bölge Müdürlüğünce Tütünsüz Baba Türbesi için hazırlatılan rölöve, restitüsyon, restorasyon raporlarından alınmıştır. Şekil 7.44.'de türbenin gergilerinin

cephedeki görünüşü, Şekil 7.45.'de gergilerin kesitteki görünüşü, Şekil 7.46.'da da gergi detayı verilmiştir.

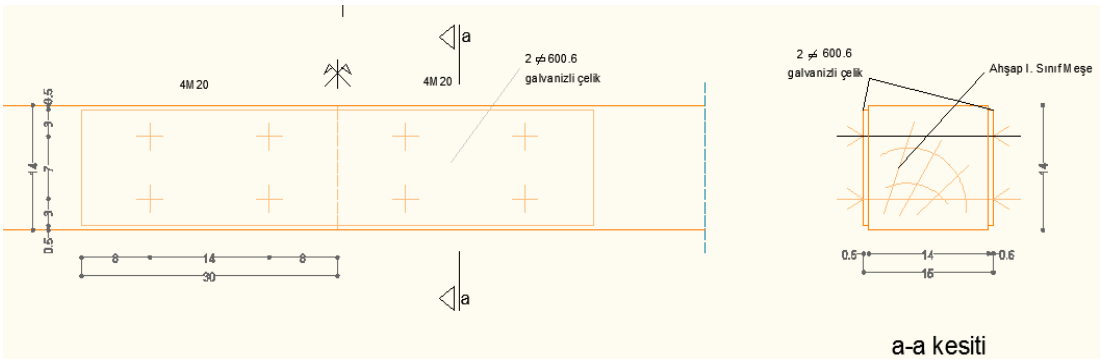
Yapılan statik incelemelerden ve sonuçlarından kubbe yükünden kaynaklanan yatay açılmayı önlemek için üç ayrı yükseklikte, yapı çelik gergilerle sarılmıştır. Restorasyon projesinde detayları verilen gergiler köşe noktalarında 'L' lamalarla birbirine bağlanmıştır. Bu noktalarda yapı sıkıştırılmıştır. Bu şekilde yapı üst kısımlarda belli bir dengeye kavuşacaktır.

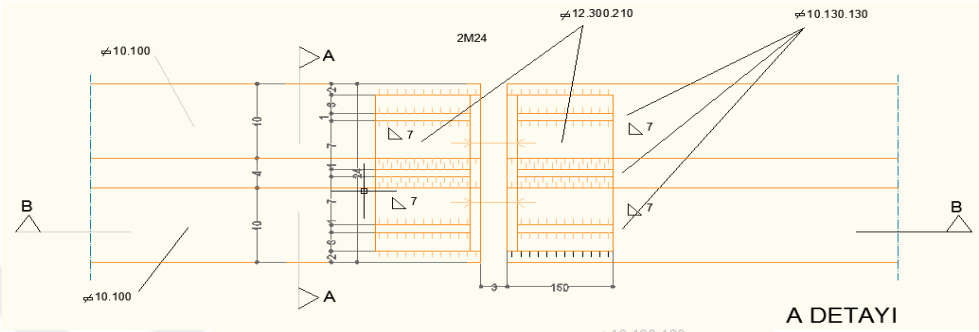


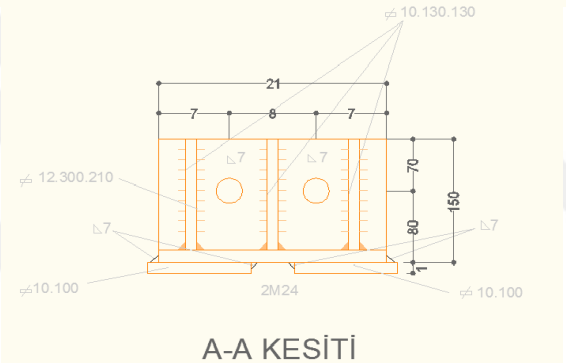
Şekil 7.44. Tütünsüz Baba Türbesinin gergilerinin cephedeki görünüşü

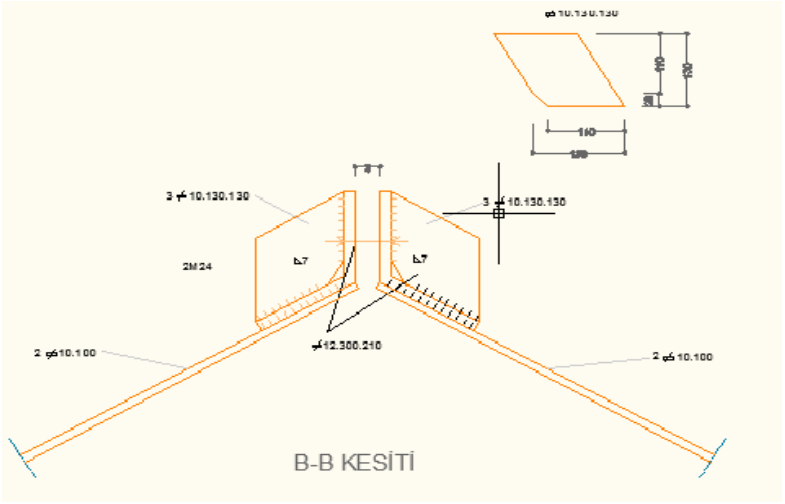


Şekil 7.45. Tütünsüz Baba Türbesinin gergilerinin kesitteki görünüşü



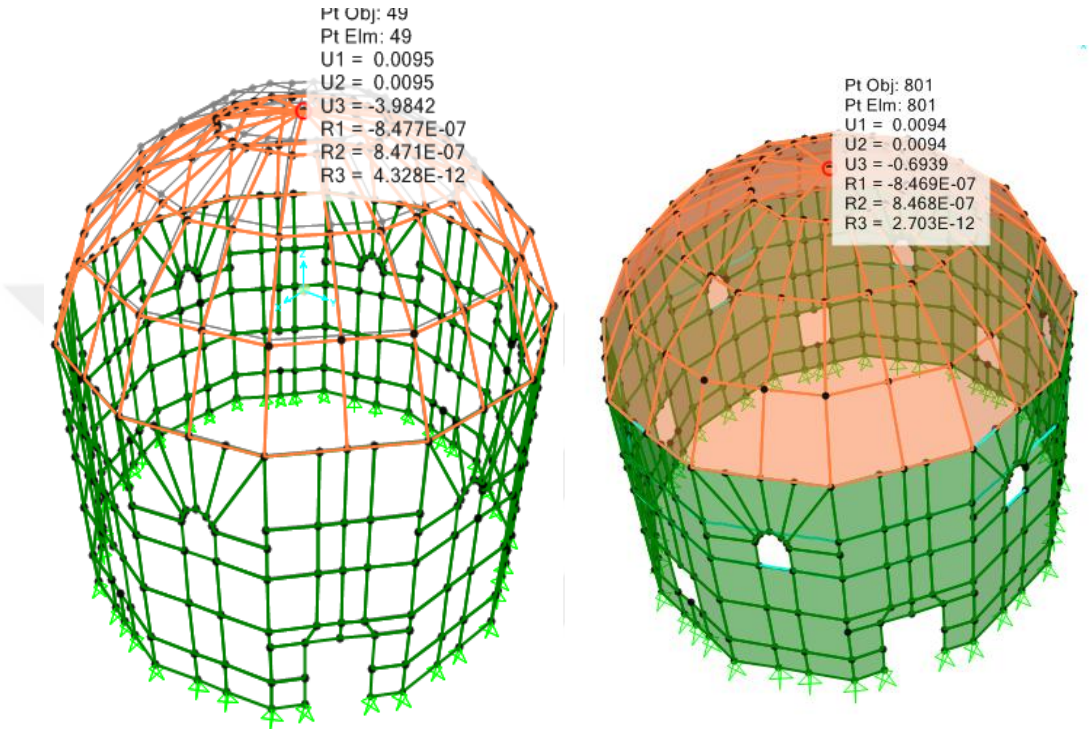






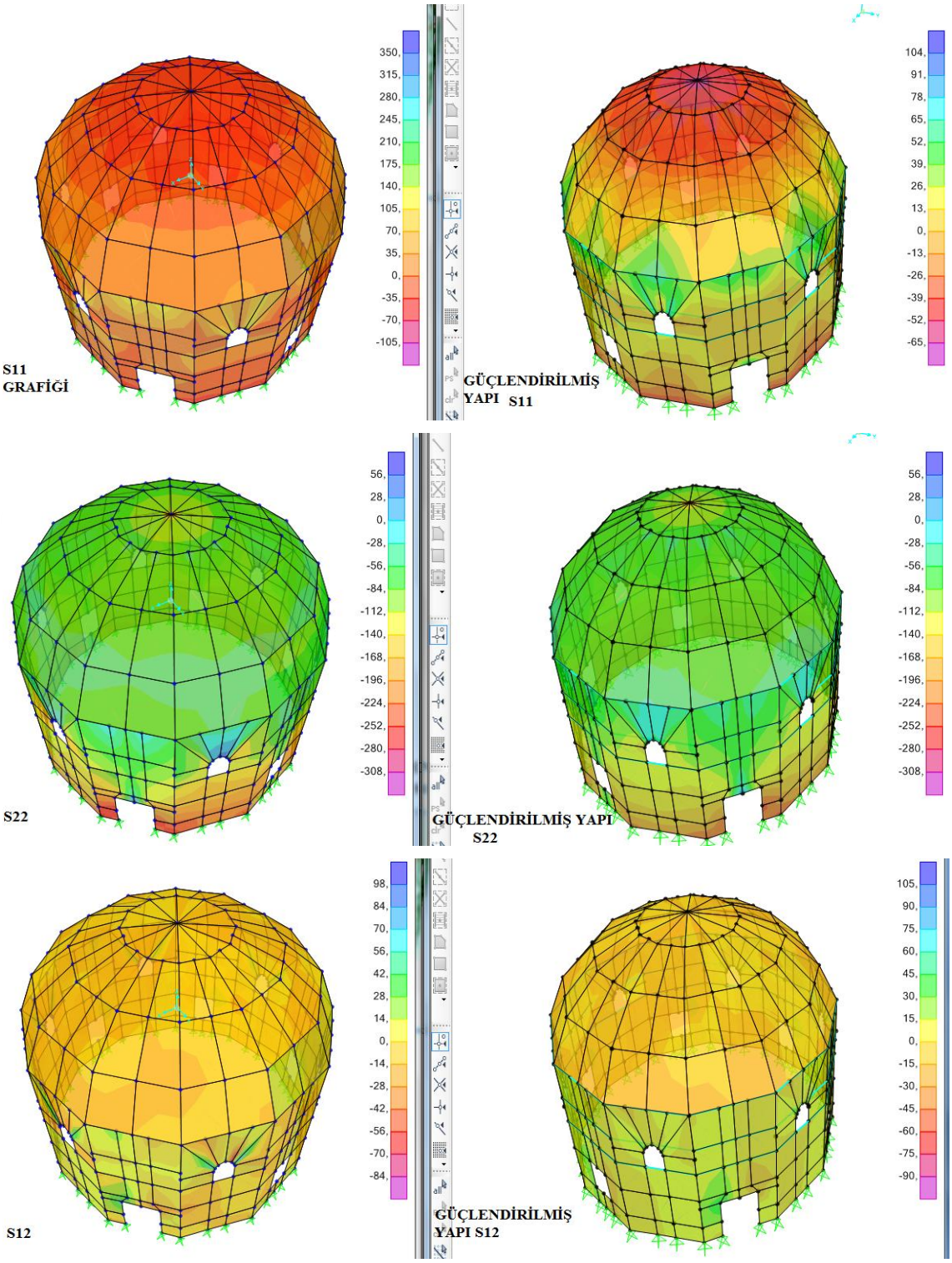
Şekil 7.46. Tütünsüz Baba Türbesinin gergileri detayı

Kubbenin araştırmalar sırasında bulunan eski fotoğrafından yarım daire şeklinde olduğu tespit edilmiştir. Restitüsyonda kubbe yüksekliği oturduğu açıklığa göre tespit edilmiş, özgün malzeme ve örme tekniği ile inşa edilmiştir ve üstü kurşun ile kaplanmıştır. Güçlendirme sonucu elde edilen gerileme grafikleri, yapının hatılsız halindeki gerilme grafikleriyle karşılaştırılacak ve gerilme değişimleri irdelenecektir.

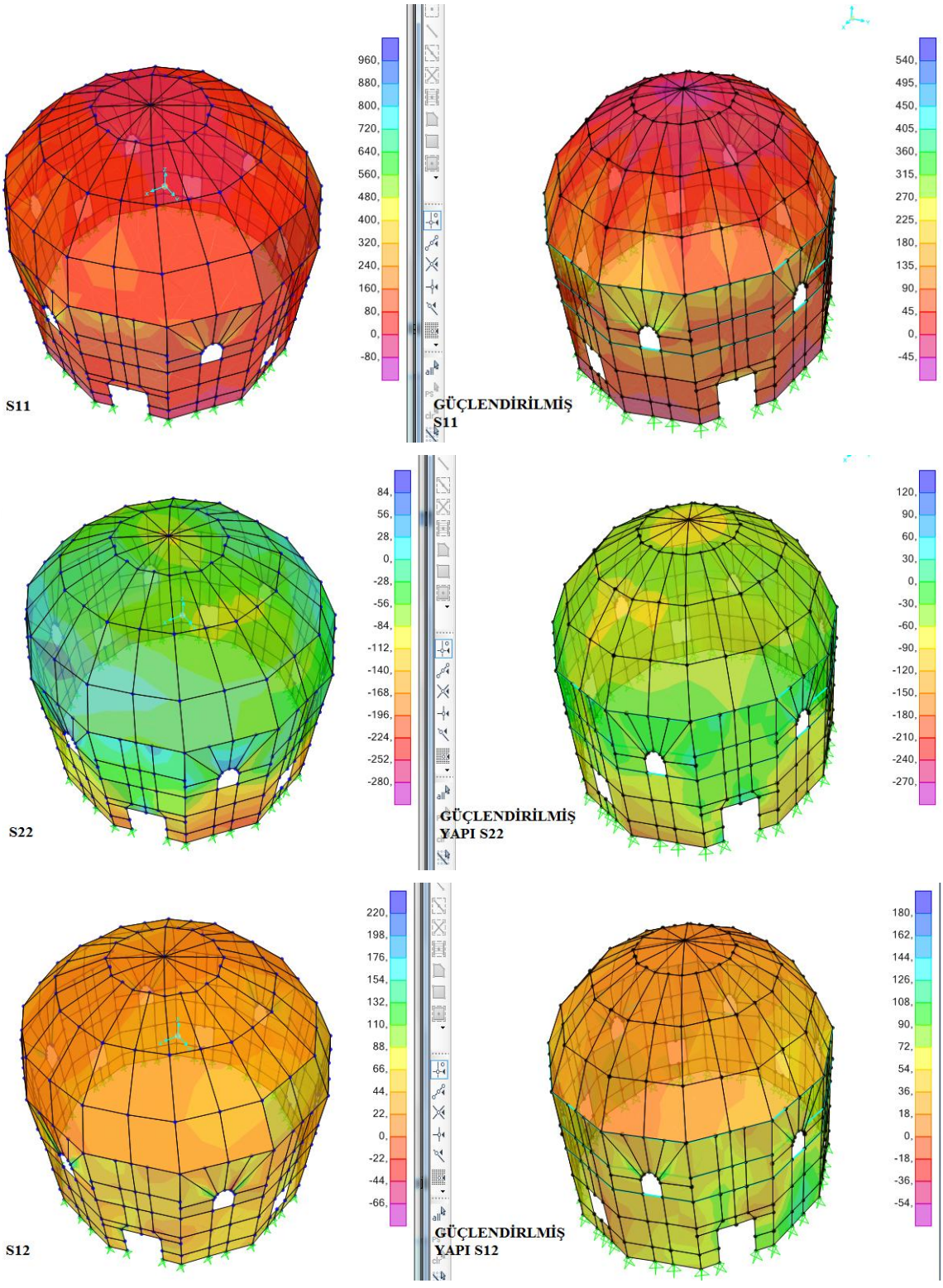


Şekil 7.47. Tütünsüz Baba Türbesi G yüklemesi altındaki güçlendirme öncesi/sonrası deformasyon

Şekil 7.47'deki G yüklemesi altında güçlendirme öncesi ve sonrasına ait grafikler incelendiğinde. U_3 yönündeki düşey doğrultudaki yer değiştirmenin azaldığı görülmüştür.



Şekil 7.48. Tütünsüz Baba Türbesi G yüklemesi altındaki güçlendirme öncesi/sonrası S11, S22 ve S12 gerilmeleri karşılaştırma grafiği



Şekil 7.49. Tütünsüz Baba Türbesi G ve deprem yüklemesi altındaki güçlendirme öncesi/sonrası S11, S22 ve S12 gerilmeleri karşılaştırma grafiği

Yapıda oluşan en büyük gerilmeler çekme çemberi öncesi ve sonrası olmak üzere sırasıyla, maksimum basınç gerilmesi 0.308 MPa/0.270 MPa, maksimum çekme

gerilmesi 0.960 MPa/0.540 MPa, maksimum kayma gerilmesi 0.220 MPa/0.180 MPa olarak hesaplanmıştır. (Şekil 7.47, Şekil 7.48, Şekil 7.49) Yapı taşıyıcı sisteminde, çelik gergili ve çelik gergisiz durumda hesaplanan en elverişsiz gerilmelerin büyüklüğü yaklaşık olarak aynı mertebededir. Başka bir deyişle çelik gergi düzenlenmesi, yapıda oluşan en elverişsiz gerilmelerin büyüklüğü üzerinde yeterli derecede etkili olmamakla birlikte, gergili durumdaki çekme gerilme dağılışındaki iyileşme açık biçimde görülmektedir.

Yapının Ocak 2017 itibariyle mevcut durumu incelenmiş, özellikle kuzey cephelerinde, zeminden yaklaşık 1-2 m yüksekliğe kadar rutubetlenmenin olduğu, yer yer beden duvarlarını oluşturan taşlarda dökülme ve ayrışmaların olduğu saptanmıştır.(Şekil 7.50.) Bunun dışında kubbenin beden duvarlarıyla birleştiği bölgelerde ve pencere, kapı boşluklarında çatlaklara rastlanmamıştır. Bu durum, statik hesaplarda çıkan yüksek gerilme değerlerine rağmen, yapının hala stabilitesini koruduğu yönünde yorumlanabilir. Ancak zemin içerisindeki su yükselme hareketinin önüne geçilerek, bina etrafına drenaj yapılaması binanın stabil durumunun devamı için gerekli görülmektedir.



Şekil 7.50. Tütünsüz Baba Türbesi Ocak 2017'ye ait güncel fotoğraflar

7.4. Timurtaş (Demirtaş) Camii

Timurtaş Paşa Camisi, Edirne'ye bağlı Karaağaç Mahallesi'nin güneybatısında, Timurtaş (Demirtaş) Çiftliği (Köyü)'nde yer almaktadır. Subaşı (Muinüddin) Timurtaş Paşa, 1417 tarihli vakfiyesinden anlaşıldığına göre, sonradan camisi ile birlikte Timurtaş Köyü adıyla tanınan. Edirne'nin İbn'i Gürgen mezrasını, kendisi yaşadığı sürece mütevelli olmak üzere evlatlık vakfı yapmıştır. Subaşı Timurtaş Paşa'nın vakfını daha sonra hayır vakfına dönüştürdüğü ve çevredeki başka köyleri de dahil ederek elde edilen geliri, Edirne'deki Hızır Paşa Zaviyesi ile Timurtaş Paşa Camisi'ne tahsis ettiği anlaşılmıştır. Vakfiyedeki bilgiler ve Subaşı (Muinüddin) Timurtaş Paşa'nın yaşadığı dönem dikkate alındığında caminin büyük bir olasılıkla XV.yy.'ın ilk çeyreğinde inşa edilmiş olabileceği bildirilmektedir. Ancak eserin inşa kitabesi ile ilgili yazılı bir belge olmaması nedeniyle kesin bir tarih verilememektedir.

Kare planlı, üzeri tek hacimli cami tipi ile erken dönem örneklerinden biridir. Türk üçgenleriyle geçilen ve on ikigen kasnağa oturan tek kubbeyle örtülü harim ile bunun kuzeybatı köşesinde yer alan mimarisiyle yapı, anıtsal bir görünümdedir. Harimi örten kubbeye geçişleri sağlayan Türk üçgenleri, Türk mimarisinde değişik biçimlerde yaygın olarak kullanılmıştır. İnşa malzemesi olarak kaba yonu ve moloz taş ile tuğla kullanılmıştır. Beden duvarlarında ise bir sıra taş ve iki sıra tuğlanın alternatif olarak örtülmesiyle almaşık duvar tekniği uygulanmıştır. Kubbede, kemerlerde, mihrapta ve kubbeye geçişlerde ise tamamıyla tuğla malzeme kullanılmıştır.

Onarım kapsamında, caminin yıkılan kubbesi yeniden yapılmış ve kurşunla kaplanmıştır. Yıkık olan minaresi yeniden yapılmıştır. Taş çürütme ve kaplama işleri yapılmış, sıva ve derz tamiri yapılarak, taban döşemeleri yenilenmiştir. Şadırvan, tuvalet ve elektrik tesisatı yeniden yapılmıştır. İhata duvarları örülerek çevre düzenlemesi yapılmıştır. Onarımı tamamlanan camii, ibadete açıktır.

7.4.1. Yapının restorasyon öncesi mimari özellikleri

Bu bölümde verilen bilgiler, yapının onarımından önce, 2007 yılında Edirne Vakıflar Bölge Müdürlüğünün Timurtaş (Demirtaş) Camii için hazırlatılan rölöve, restitüsyon, restorasyon raporlarından alınmıştır. Şekil 7.51.'de türbenin onarım öncesi ve sonarım sonrasına ait resimleri verilmiştir.



Şekil 7.51. Timurtaş(Demirtaş) Camii restorasyon öncesi ve sonrası fotoğrafları (2007-2008)

Günümüzde terk edilmiş ve yerleşim alanı dışında, tarlalar ortasında kalmış olan eser, restorasyon öncesi harap durumdaydı. (Şekil 7.52.) Yapı ile ilgili yapılan araştırmalarda eski belgelere, fotoğraflara ulaşılamamıştır. Restorasyon projesi yapıdaki izler ve dönemsel analizlere dayanarak hazırlanmıştır. Tek hacimli cami tipi ile erken dönem örneklerden biri olan yapının özgün döşeme kotu belirsizdir. Projede mihrap yönündeki köşe kotları kabul edilerek zemin -1.57 kotunda çizilmiştir. Ancak uygulama sırasında özgün kotun tespiti için yapı içinde ve bahçede kazı çalışması önerilir.



Şekil 7.52. Timurtaş (Demirtaş) Camii restorasyon öncesi fotoğrafları (2007)

Camiinin pencere parapetlerinin hepsi yıkılmıştır. Özgün doğramalara ait bir iz yoktur. Edirne de günümüze ulaşmayı başarabilmiş yapılardan Kadı Bedrettin Camii. Kuşçu Doğan Camii gibi yapılar incelenmiş ve parapet seviyesi bu araştırmalar sonucunda belirlenmiştir. Yine dönemsel analizlere dayanarak pencerelerde lokmalı demir parmaklık yapılmıştır. Söveleri de yok olmuş yapıda küfeki taş söve önerilmiştir.



Şekil 7.53. Timurtaş (Demirtaş) Camii restorasyon öncesi fotoğrafları (2007)

Caminin giriş cephesinde saçak izine rastlanmadığından giriş saçağı yapılmamıştır. Minareye girişin sağında kalan kapıdan çıkılmaktadır. Rölöve raporunda da ayrıntılı olarak açıklandığı gibi minare kapının aksında ancak üst kotta yer alan kapının müezzin mahfiline açıldığı düşünülmektedir. Elimizdeki bilgiler ışığında müezzin mahfili restitüsyon projesindeki gibi önerilmiştir. Camii giriş kapı üstünün kemer taşları günümüze ulaşamadığından üst bölümü düz lento ile geçilmiş durumdadır. Dönem camileri incelendiğinde kapı bölümünün kemerli olduğu anlaşıldığından, yapıdaki izlerde dikkate alınarak camii kapı üst bölümü basık kemerli yapılmıştır. Zemin pişmiş toprak (tuğla kaplama) önerilmiştir. Yapının duvarlarında bir bölümü tespit edilen kalem işlerinin uygulama sırasında yapılacak raspa çalışmalarına göre özgün tanzimi ile tamamlanması önerilmektedir.

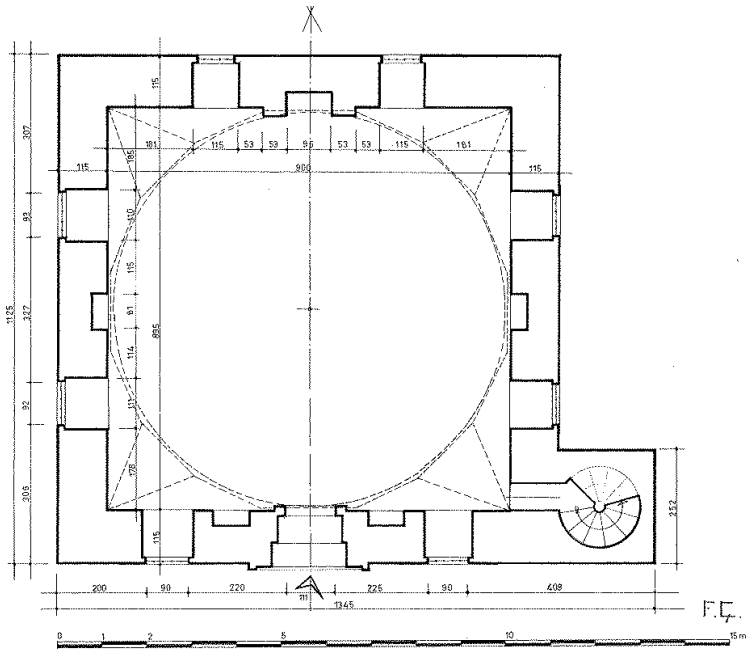
Beden duvarlarındaki malzeme kayıpları özgün malzeme ve örgü sistemine göre tamamlanmıştır. Yapı içerisindeki kılcal çatlakların epoksi harç ile doldurulması, 4 cm genişlikte olan çatlakların demir lamalarla dikilmesi ve bunların içinin yine epoksi ile doldurulması. 4 cm.'den büyük olan çatlakların ise çevresinin çürütülerek açılması ve özgün malzeme ve örgü sistemine uygun olarak doldurulması önerilir. Caminin minare kaidesi dışındaki bölümleri yıkılmıştır. Minare ile ilgili eski fotoğraf bulunamadığından dönemsel analizler ışığında tamamlama yapılmıştır. Almaşık duvar örgülü kürsünün üzeri restitüsyon projesinde önerildiği gibi tuğla örülmüştür. Kaideden gövdeye geçiş üçgenler ile yapılmıştır. Yine dönemsel analizler sonucunda bu karar verilmiştir (Saruca

Paşa Camii, Kuşçu Doğan Camii. Kadı Bedrettin Camii….vb.). Minare yüksekliği yapının kubbe yüksekliği ile orantılı olarak analizler neticesinde belirlenmiştir. Minare Kaide yüksekliği mevcut taş profilden tespit edilmiştir. Minare pabucu yüksekliği yine cephedeki izlerden belirlenmiştir.

Dönem analizlerinde tuğla gövde üzerindeki şerefe bölümü bazı camilerde kesme taş iken (Edirne Atik Ali Paşa Camii) bazı camilerde değişik örgü biçimlerinde yapılmış tuğladır (Edirne Medrese Ali Bey Minaresi). Ancak elimizde kesin bilgiler olmadığından farklı biçimlerde yapılan ve dönemsel analizi yapılamayan tuğla şerefe modelinden kaçınılmış, restitüsyon projesindeki gibi kesme taştan basit ve sade bir şerefe önerilmiştir.

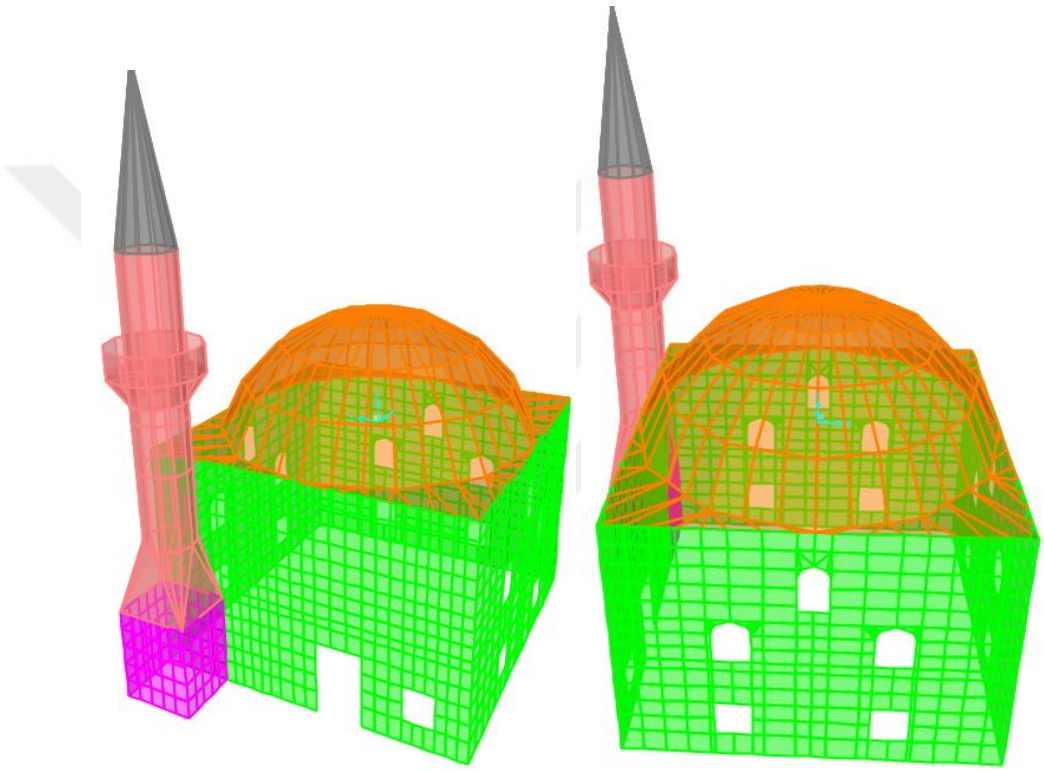
7.4.2 Yapısal model ve analizler

Modellenme amacıyla SAP 2000 V18 sonlu eleman programı kullanılmıştır. Yapının duvarları esas olarak an az üç ana malzemeden oluşmaktadır, taş, tuğla ve harç (sıva). Ancak modellemede yapının genel davranışı söz konusu olduğu için taşıyıcı elemanların tek bir malzemeden oluştuğu kabul edilmiş ve ilgili birim hacim ağırlığı, elastisite modülü ve Poisson oranı kullanılmıştır. Yapıya ait plan rölevesi Şekil 7.54.'de verilmiştir.



Şekil 7.54. Timurtaş (Demirtaş) Camii plan rölevesi

Yapının röleve projesi esas alınarak, sayısal modelde duvar kalınlığı 1.1 m, kubbenin kalınlığı 0.25 m olarak tanımlanmıştır. Duvarın ve minarenin malzemesi taş, kubbenin malzemesi de tuğla olarak, malzeme özellikleri tanımlanmıştır. Yapının taşıyıcı elemanları shell olarak modellenmiştir. Hazırlanan yapı modelinde 558 adet düğüm noktası kullanarak 559 shell (alan) oluşturulmuştur. Zemine aktarılan noktalarda 51 adet sabit mesnet tanımlanmıştır. Yapıya ait modelleme Şekil 7.55.'de verilmiştir.



Şekil 7.55. Timurtaş (Demirtaş) Camii yapısal modellenmesi

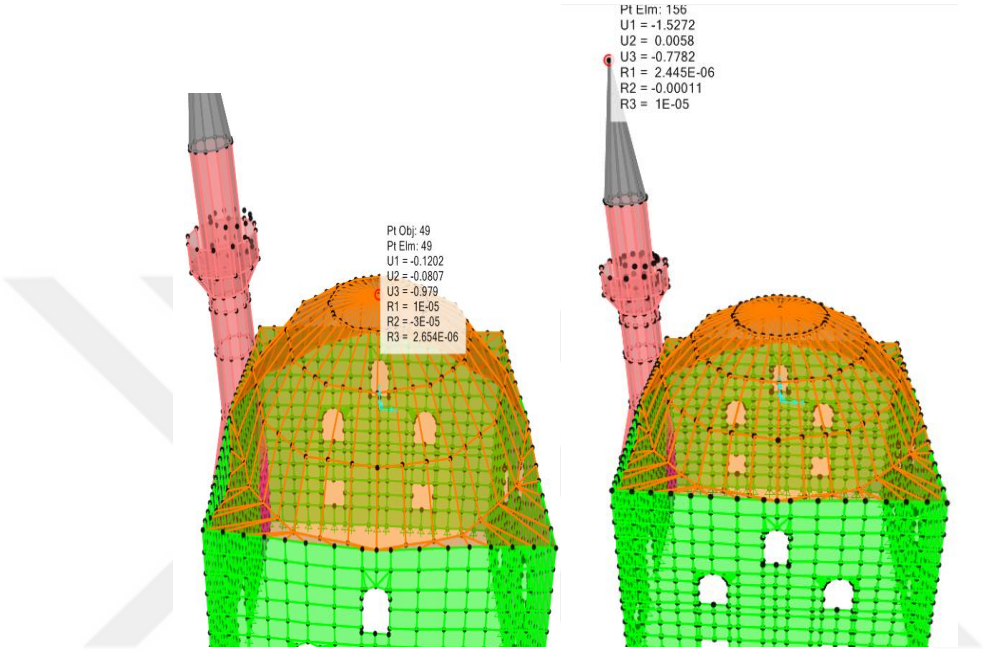
Elde edilen analiz sonuçlarının, her bir düğüm noktasında ve her bir elemanda verilmesi oldukça zor olması nedeniyle elde edilen sonuçlar renkli gerilme dağılımları ve grafiklerle verilmiştir.

7.4.2.1. Ölü yükler altında yapının analizi

Yapı malzemelerinin birim hacim ağırlığı (γ), elastisite modülü (*E*) ve Poisson oranı (ν) tablo 7.2.'de hesaplanan değerler kullanılarak, yapının ağırlık etkisi göz önüne alınmıştır.

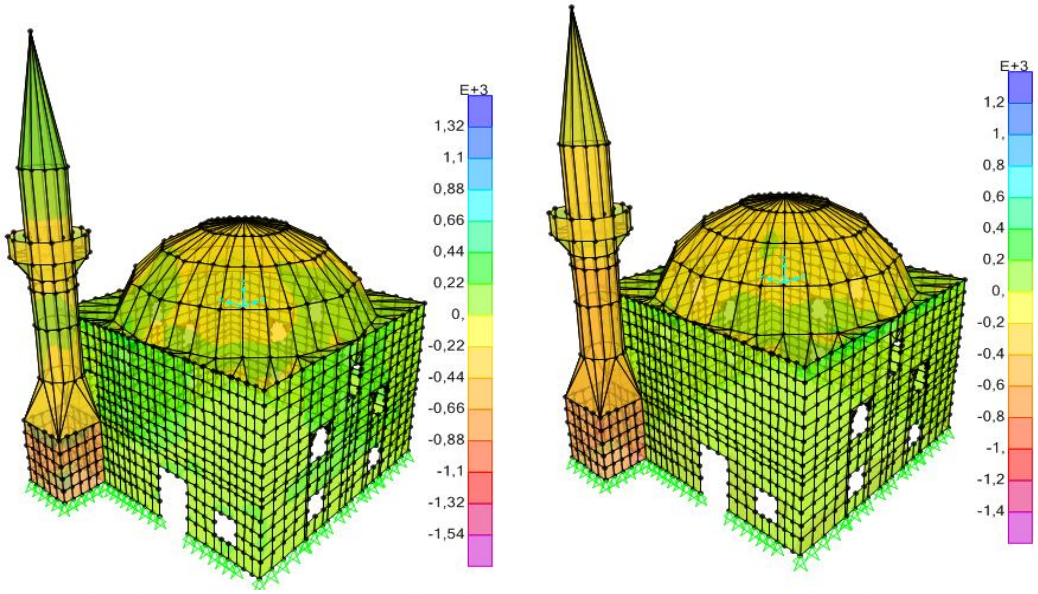
Yapının ağırlığı G= 10351.5 kN’dur.

Timurtaş (Demirtaş) Cami’nin üç boyutlu sonlu eleman modelinin kendi ağırlığı altında yapılan statik analizi neticesinde yapıdaki muhtemel gerilme dağılımlarına, şekil değiştirme değerlerine ulaşılmış ve çatlak oluşabilecek kritik yerler tespit edilmiştir.

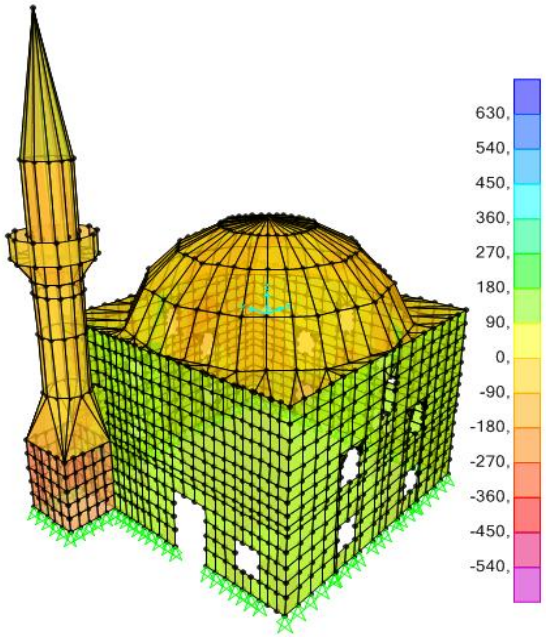


Şekil 7.56. Timurtaş (Demirtaş) Camii G yüklemesi altında oluşan maksimum yer değiştirme (mm)

G yükü altında, yapıdaki en büyük yer değiştirme, kubbenin tepe noktasında düşey doğrultuda yaklaşık 0.979 mm olmaktadır.(Şekil 7.56) Bu analizde R=2 değeri kullanıldığı için elastik yer değiştirme 0.979 mm×2= 1.958 mm olarak hesaplanmalıdır. Minarenin tepe noktasında düşey doğrultuda yaklaşık 1.53 mm olmaktadır. Bu analizde R=2 değeri kullanıldığı için elastik yer değiştirme 1.53 mm×2= 3.06 mm olarak hesaplanmalıdır.



Şekil 7.57. Timurtaş (Demirtaş) Camii G yüklemesi altında S11 ve S22 gerilmeleri (kN/m^2)



Şekil 7.58 Timurtaş (Demirtaş) Camii G yüklemesi altında S12 gerilmeleri (kN/m^2)

Yapının davranışını, etki eden G yüküne göre ayrı ayrı hazırlanan S22 ve S11 (çekme ve basınç) gerilme değerleri grafiği (Şekil 7.57.) ile S12(kayma) gerilme değerleri grafiği (Şekil 7.58.) incelendiğinde, hesaplanan en elverişsiz basınç gerilmeleri S11 Grafiğinden 1.54 MPa ve en elverişsiz çekme gerilmeleri de yine S11 grafiğinden 1.32 MPa olarak tespit edilmiştir. Bununla beraber, S11 ve S22 grafiklerindeki gerilme dağılışının değerlerinin bir birine çok yakın olduğu da gözden kaçırılmamalıdır. Her iki değerde Tablo 7.5'de verilen taş duvarların emniyet gerilme değerlerini aşmıştır. S12

grafiğinden tespit edilen maksimum kayma gerilmesi 0.630 MPa'dır. Bu değer de emniyetli kayma gerilmesi değerinin üzerindedir.



Şekil 7.59. Timurtaş (Demirtaş) Camii restorasyon öncesi hasarlı halinin fotoğrafları

Sonuç olarak. G yüklemesi altında. yapısal analizlerde elde edilen etkiler incelendiğinde, yapının taşıyıcı duvarlarında. Türk Deprem Yönetmeliğinde yığma yapılar için önerilen basınç çekme ve kayma gerilmesi değerlerinin aşıldığı gözlenmiştir. Zaten yapının yıkılan kubbesi ve oluşan çatlakların büyüklüğü yapının stabil olmadığının göstergesidir.(Şekil 7.59.)

7.4.2.2. Modal çözümleme

Spekral sismik çözümde sabit spektral katsayı S(T)= 2.5 ve etkili deprem katsayısı Ao= 0.1 kabul edilmiştir. Deprem etkilerinin belirlenmesinde mod etkilerinin birleşimi yöntemi benimsenmiş ve tam karesel birleştirme yöntemi kullanılarak. yapının düşey ve deprem etkileri altında elastik davranışını elde etmek amaçlanmıştır. Bütün periyotlarda deprem yükü azaltma katsayısı R= 2 kullanılarak göz önüne alınmıştır. Modal çözümleme ile yapı sisteminin kütle ve rijitlik matrisleri kullanılarak. mod şekilleri ve periyotlar elde edilmektedir.

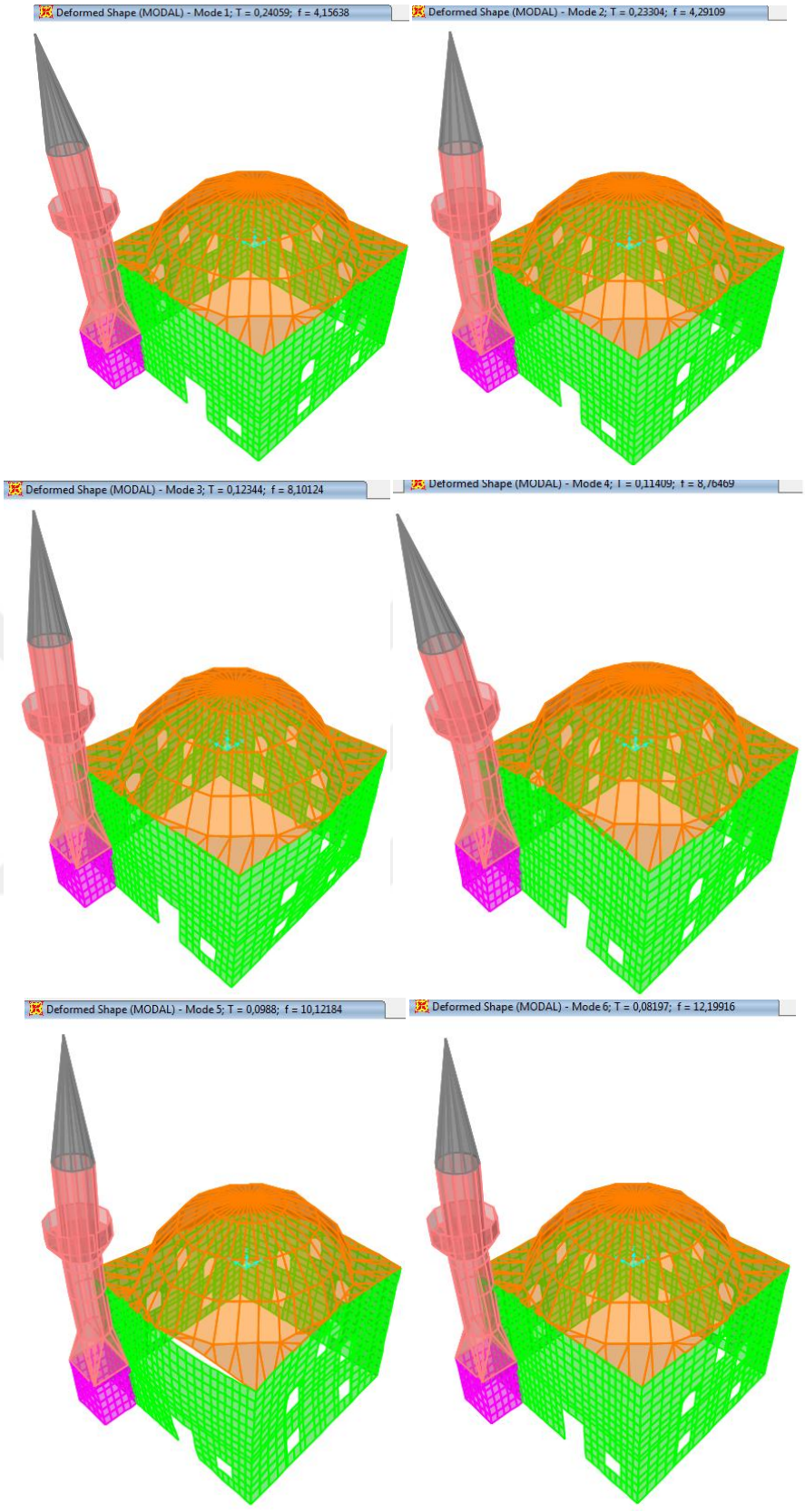
Depreme dayanıklı yapı tasarımı çerçevesinde DBYBHY 2007 ‘ye göre yapıların dinamik analizi için hesaba katılacak yeterli titreşim mod sayısı. her bir mod için hesaplanan etkin kütlelerin toplamının bina toplam kütlesinin %90’ından daha az olmaması kuralına göre belirlenmektedir. Modların süperpozisyonu gerçekleştirilirken istatistiksel yöntemlerden olan Kareleri Toplamının Karekökü (SRSS) yöntemi kullanılmıştır. Timurtaş (Demirtaş) Cami sonlu eleman modelinin SAP 2000 programında modal çözümlemesi yapılmıştır. Hesaplanan etkin kütlelerin toplamının, bina toplam kütlesinin %90’ından az olmamasının sağlanabilmesi için 80 tane mod şekli gerektiği görülmüştür.

Ana kütlenin X doğrultusunda yanal yer değiştirme hareketini gösteren dördüncü modun kütle katılım oranı %54, Y doğrultusunda yanal yer değiştirme hareketini gösteren üçüncü modun kütle katılım oranı ise %56 olarak hesaplanmıştır. Yapı simetrik olduğu için kütle katılım oranları hemen hemen aynı değeri vermektedir. Zaten elde edilen en yüksek doğal titreşim periyodu 0.24’dür ve bina oldukça rijittir. İlk 30 moda ait değerler tablo 7.8.’de verilmiştir.

Şekil 7.60.’da yapıya ait ilk 6 modun grafikleri verilmiştir.

Tablo 7.8. Serbest Titreşim Peryotları ve Kütle Katılım Oranları (ilk 30 mod)

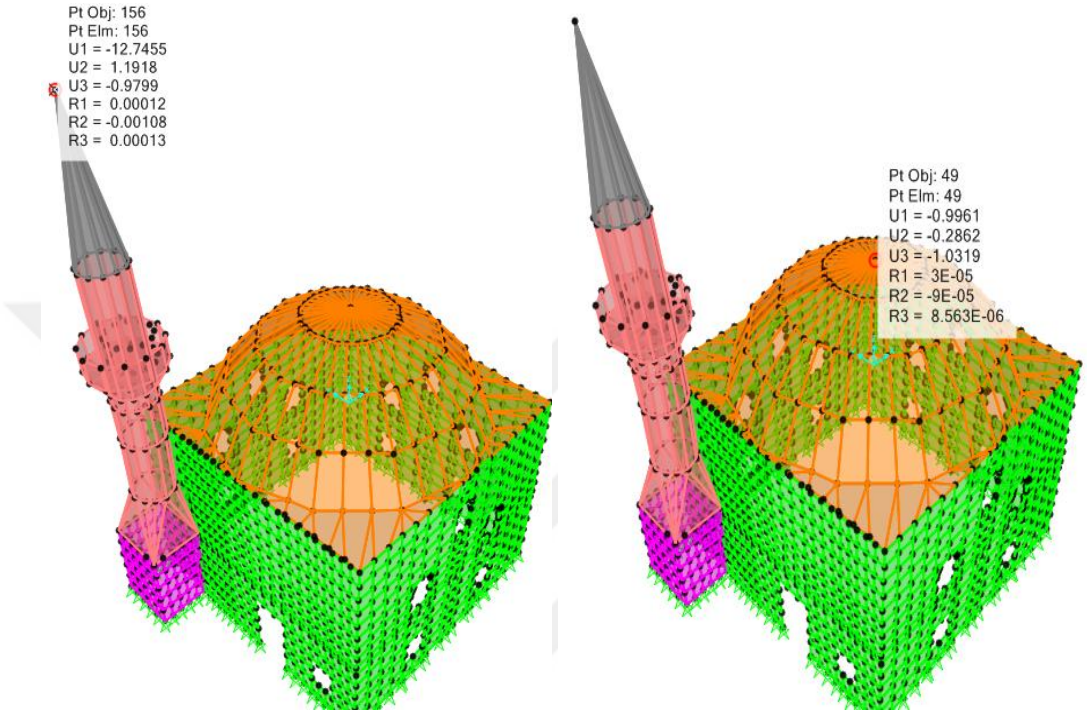
Serbest Titreşim Periyotları ve Kütle Katılımı Oranı							
MOD	Periyot	Ux	Uy	Uz	Toplam Ux	Toplam Uy	Toplam Uz
MOD 1	0.241	0.001	0.033	0.000	0.001	0.033	0.000
MOD 2	0.233	0.039	0.002	0.000	0.041	0.035	0.000
MOD 3	0.123	0.030	0.561	0.000	0.070	0.596	0.000
MOD 4	0.114	0.543	0.038	0.000	0.613	0.634	0.000
MOD 5	0.099	0.001	0.000	0.000	0.614	0.634	0.000
MOD 6	0.082	0.005	0.015	0.004	0.619	0.649	0.004
MOD 7	0.079	0.001	0.000	0.008	0.620	0.649	0.012
MOD 8	0.077	0.000	0.010	0.000	0.620	0.659	0.012
MOD 9	0.071	0.002	0.000	0.000	0.623	0.659	0.012
MOD 10	0.065	0.007	0.020	0.000	0.630	0.678	0.012
MOD 11	0.061	0.007	0.034	0.001	0.637	0.713	0.013
MOD 12	0.060	0.031	0.002	0.001	0.668	0.715	0.014
MOD 13	0.057	0.010	0.075	0.003	0.679	0.790	0.017
MOD 14	0.056	0.011	0.022	0.003	0.689	0.811	0.020
MOD 15	0.052	0.129	0.028	0.002	0.818	0.840	0.022
MOD 16	0.049	0.008	0.009	0.072	0.826	0.849	0.094
MOD 17	0.048	0.001	0.000	0.017	0.826	0.849	0.111
MOD 18	0.045	0.006	0.001	0.026	0.833	0.850	0.137
MOD 19	0.044	0.003	0.003	0.022	0.836	0.853	0.159
MOD 20	0.043	0.003	0.007	0.001	0.839	0.860	0.159
MOD 21	0.042	0.001	0.001	0.000	0.839	0.861	0.160
MOD 22	0.040	0.002	0.000	0.050	0.841	0.861	0.210
MOD 23	0.038	0.000	0.003	0.015	0.841	0.864	0.225
MOD 24	0.038	0.001	0.000	0.025	0.842	0.864	0.250
MOD 25	0.037	0.000	0.000	0.059	0.842	0.864	0.309
MOD 26	0.037	0.002	0.000	0.027	0.844	0.864	0.335
MOD 27	0.036	0.002	0.001	0.015	0.846	0.866	0.351
MOD 28	0.035	0.000	0.000	0.000	0.846	0.866	0.351
MOD 29	0.035	0.001	0.001	0.028	0.847	0.866	0.379
MOD 30	0.034	0.002	0.002	0.032	0.849	0.868	0.411



Şekil 7.60. Timurtaş (Demirtaş) Cami ilk 6 moda ait deformasyon hareketleri

7.4.2.3. $G+E_x$ ve $G+E_y$ deprem yüklemeleri

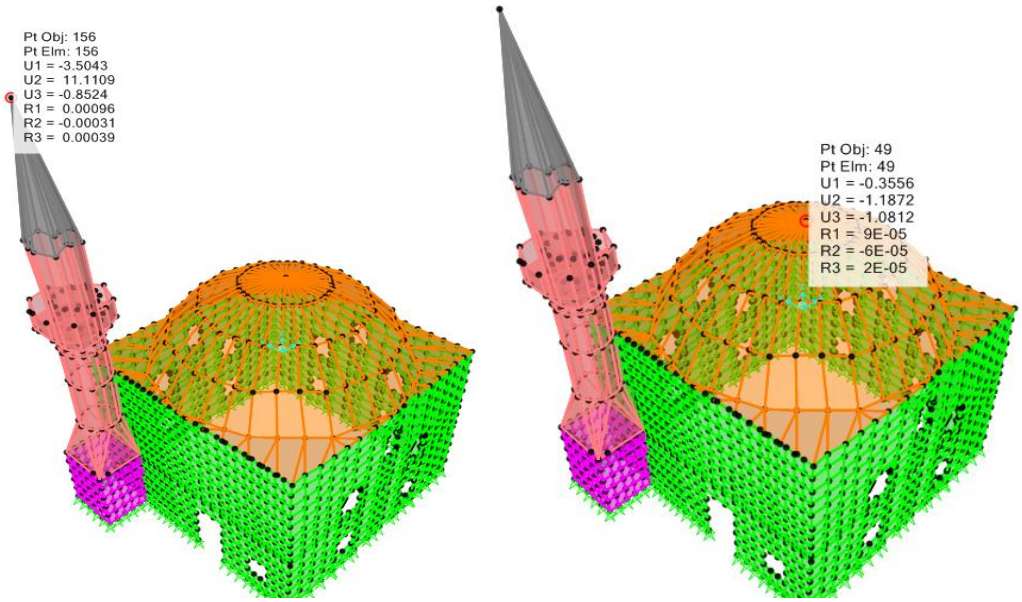
Ölü yükler ile X ve Y doğrultusunda etki eden, deprem yükü azaltma katsayısı (R=2) ile azaltılmış deprem yükleri altında modal spektral çözümleme sonucu yapıda oluşan şekil değiştirmeler Şekil 7.61. ve şekil 7.62.'de verilmiştir.



Şekil 7.61. Timurtaş (Demirtaş) Cami G+Ex yüklemeleri altındaki kubbenin yer değiştirmeleri(mm)

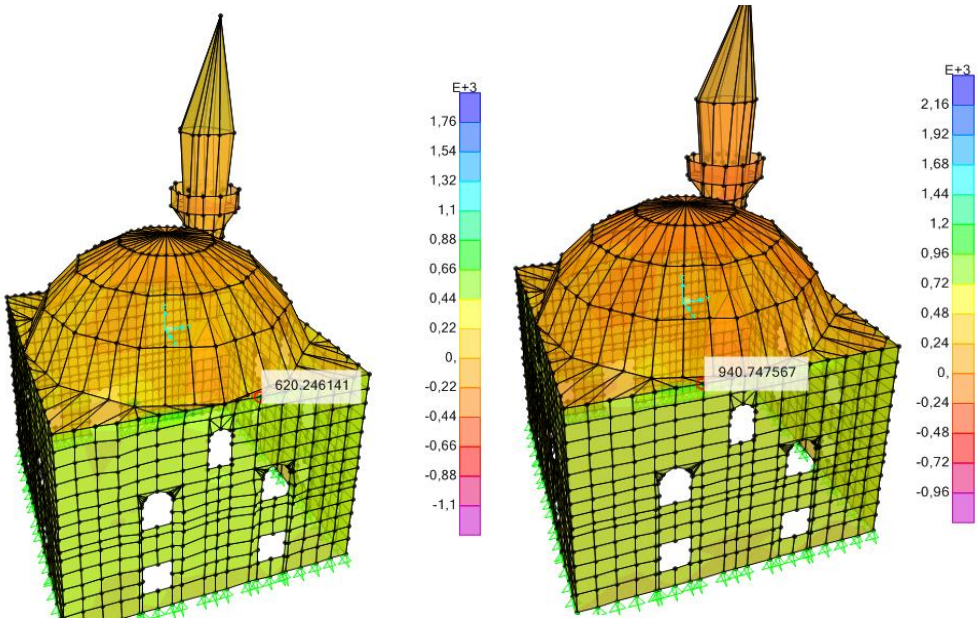
$G+E_x$ deprem yüklemesi X yönünde minare 12.75 mm, Y yönünde 1.19 mm, Z yönünde 0.98 mm ve kubbede X yönünde 0.99 mm Y yönünde 0.29, Z yönünde 1.03 mm yanal ötelenme meydana getirmektedir.

$G+E_y$ deprem yüklemesi X yönünde minare 3.51 mm, Y yönünde 11.11 mm, Z yönünde 0.85 mm ve kubbede X yönünde 0.36 mm Y yönünde 1.19, Z yönünde 1.08 mm yanal ötelenme meydana getirmektedir.

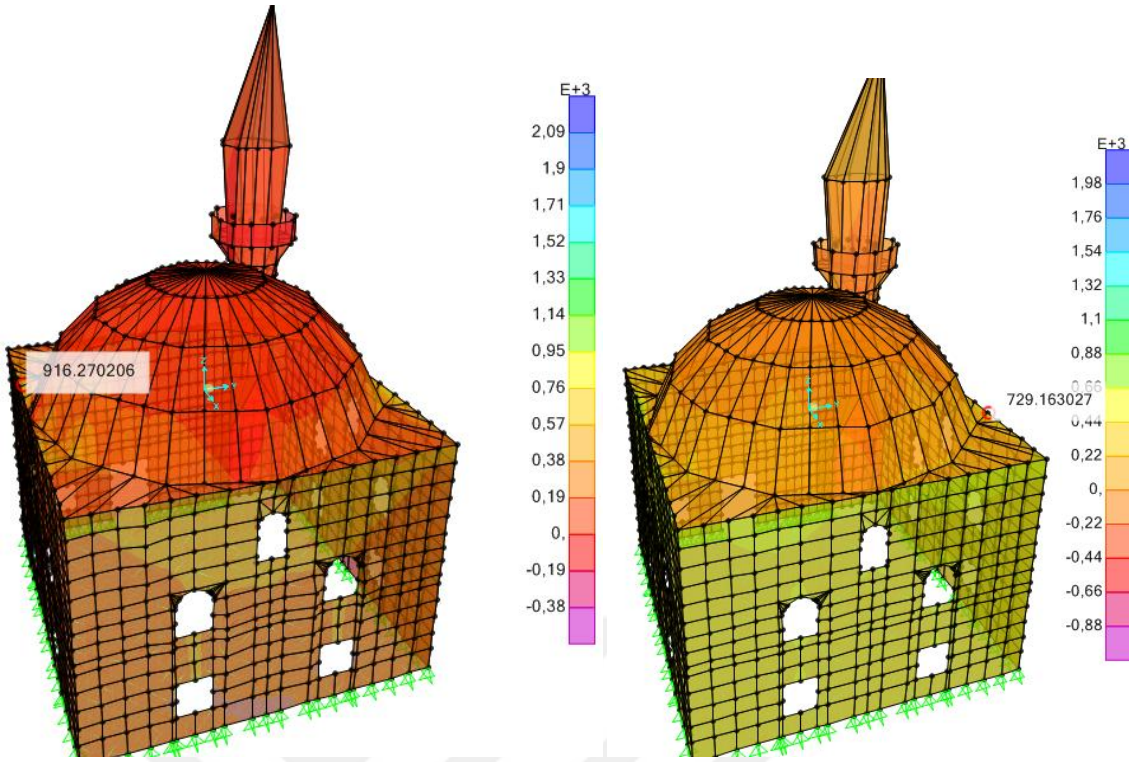


Şekil 7.62. Timurtaş (Demirtaş) Cami G+Ey deprem yüklemeleri altındaki kubbenin yer değiştirmeleri(mm)

Yapılan analizler sonucunda, yapının statik durumunda en çok zorlanan bölümlerinin üst pencere boşluklarının kenarları, kubbe ve kubbenin oturduğu beden duvarları olduğu tespit edilmiştir.

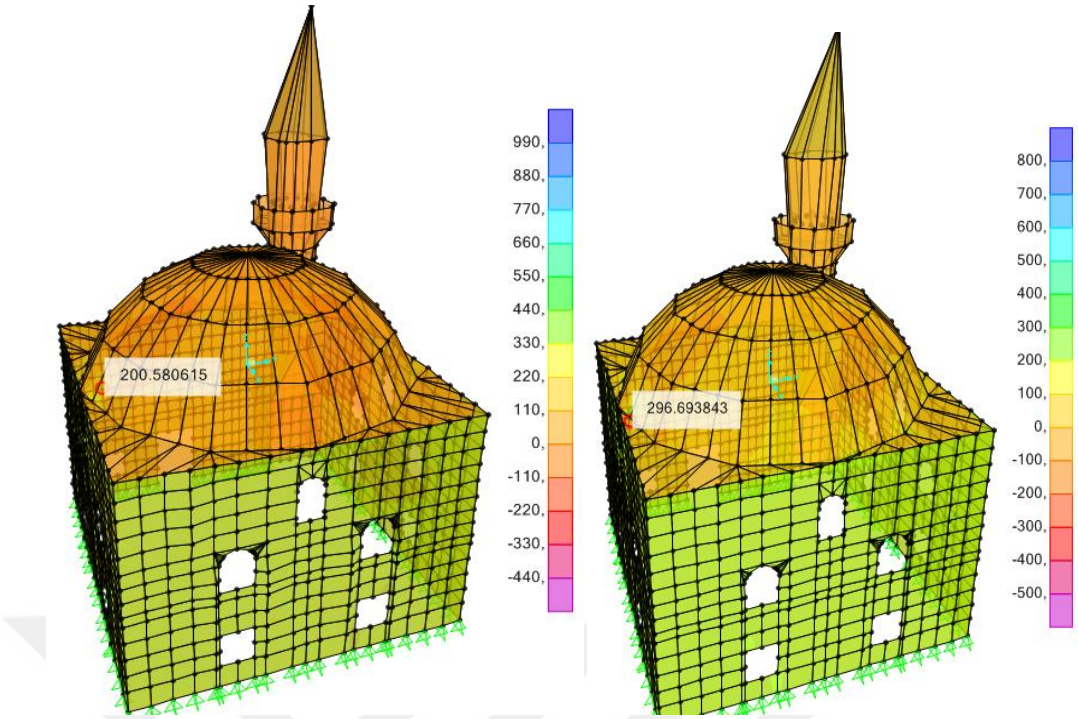


Şekil 7.63. Timurtaş (Demirtaş) Cami G+Ex ve G+Ey deprem yüklemeleri altındaki S11 gerilmesi (kN/m^2)



Şekil 7.64. Timurtaş (Demirtaş) Cami G+Ex ve G+Ey deprem yüklemeleri altındaki S22 gerilmesi (kN/m^2)

G+Ex ve G+E_y deprem yükleme durumunda yapıdaki S11 (Şekil 7.63.) ve S22 (Şekil 7.64.) gerilmelerinin elverişsiz olduğu bölgeler kubbe ile duvar birleşim bölgeleri ve pencere, kapı boşluklarının köşe noktalarında olduğu görülmektedir. Yapıda oluşan en büyük basınç gerilmesi 1.1 MPa olarak hesaplanmıştır ve bu değer basınç emniyet gerilmesi olan 0.3 MPa değerini aşmaktadır. Yapıda 2.16 MPa olarak tespit edilen çekme gerilmeleri, çekme emniyet gerilmesini aşmakta ve güçlendirme gerekmektedir.



Şekil 7.65. Timurtaş (Demirtaş) Cami G+Ex ve G+Ey deprem yüklemeleri altındaki S12 gerilmesi (kN/m^2)

Hesaplanan maksimum kayma gerilmesi $G+E_x$ ve $G+E_y$ (Şekil 7.65.) 0.99 MPa olarak gerçekleşmiştir. Bu değer 0.175 MPa olarak hesaplanan emniyetli kayma gerilmesi değerini aşmış durumdadır.

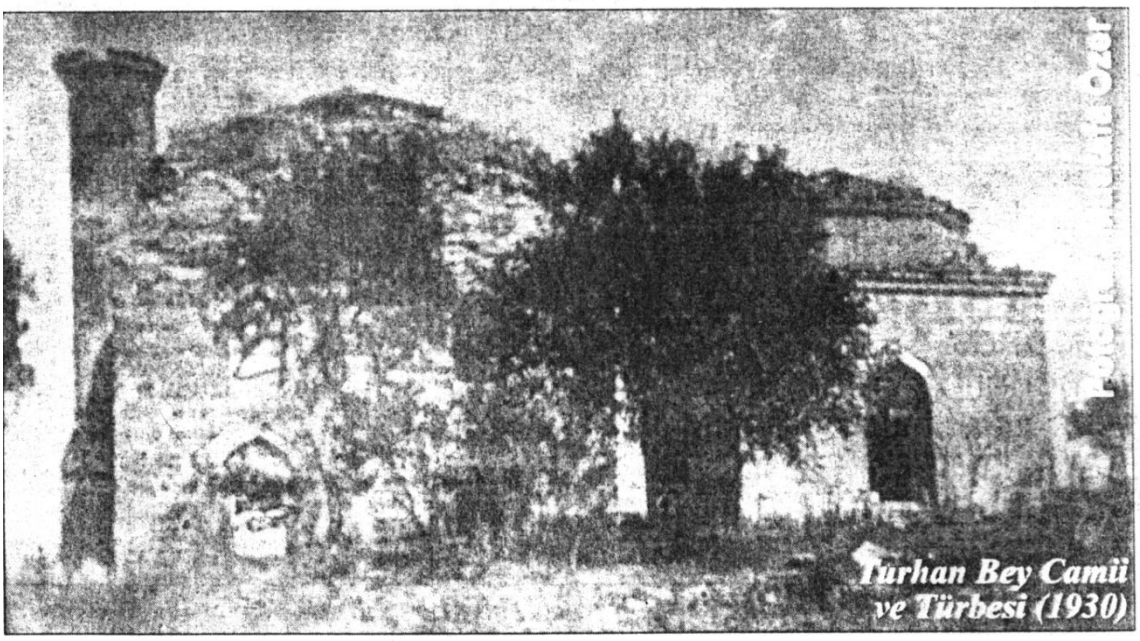
Yapının Ocak 2017 itibariyle mevcut durumu incelenmiş, özellikle yer yer beden duvarlarını oluşturan taşlarda dökülme ve ayrışmaların olduğu saptanmıştır. (Şekil 7.66.) Yapının sonlu elemanlar modelinde çıkan yüksek gerilmelere rağmen, kubbenin beden duvarlarıyla birleştiği bölgelerde ve pencere, kapı boşluklarında büyük ve riskli çatlaklara rastlanmamıştır. Bu durum, yapının hala stabilitesini koruduğu yönünde yorumlanabilir. Ancak yıpranan taşlara bakım yapılması, boşalan derz aralarına uygun malzemeyle dolgu yapılması, binanın stabil durumunun devamı için olumlu olacaktır.



Şekil 7.66. Timurtaş (Demirtaş) Cami Ocak 2017'ye ait güncel fotoğrafları

7.5. Gazi Turhan Bey Cami

Mora Fatihi olarak bilinen gazi Turhan Bey, Sultan 2.Murat'ın damadı ve Fatih'in enişte si Paşa Yiğit Bey'in oğludur. Aynı zamanda, Yunanistan topraklarının fethinde en büyük rolü oynayan serhat beylerinin akıncı kumandanıdır. İstanbul'un fethi sırasında da, Bizans İmparatorluğu'nun Mora'dan yardım almasını engelleyerek fethin gerçekleşmesine katkıda bulunmuştur. İnşasına ait herhangi bir kitabesi bulunmayan cami'nin, 1454'te düzenlenmiş ve 1455'te yazılmış bir vakfiyesi bulunmaktadır. Bu bilgilerden hareketle, caminin en geç 1454 yılında inşa edilmiş olabileceği düşünülmektedir. Ancak inşa kitabesi bulunmadığından dolayı kesin bir tarih verilememektedir. Vakfiye'nin H.Evaili Receb 858/M.1454 yılı haziran sonlarında hazırlandığı ve H. 859 Muharrem ayı sonları /M. 1455'de de yazıldığı anlaşılmaktadır.



Şekil 7.67. Gazi Turhan Bey Camine ait arşiv fotoğrafları(1930)

Kare planlı olan cami, tek kubbeyle örtülü harim ile bunun kuzeybatı köşesinde yer alan minaresiyle anıtsal bir görünümdedir.(Şekil 7.67.) Eserde inşa malzemesi olarak düzgün kesme, kaba yonu ve moloz taş ile tuğla kullanılmıştır. Cami'nin kuzeybatı köşesinde dıştan bitişik olan ve günümüzde kaidesine kadar yıkık olan minare, orijinalde poligonal kaideli, silindirik gövdeli ve tek şerefeliydi. Minare gövdesi ve kemerlerde ise tuğlaya yer verilmiştir. Cami'nin doğu cephesi ortasında altlı ve üstlü olmak üzere iki, güney cephesinde, doğu cephedekilerle aynı özeliklere sahip, altlı ve üstlü olmak üzere ikişerden dört pencere yer almaktadır. Kuzey cephenin batı ucunda, camiye giriş kapısı bulunmaktadır. Basık kemerli kapı açıklığından, kare planlı, yüksek ve sağır bir kasnağa oturan kubbeyle örtülü harime girilmektedir. Türk üçgenleri ile geçilen kubbenin büyük bir bölümü günümüzde yıkılmış durumdaydı. Süsleme bakımından oldukça sade bir görünüme sahip olan Gazi Turhan Bey Cami'nin en dekoratif yeri mihrabıdır.

7.5.1. Yapının restorasyon öncesi mimari özellikleri

Bu bölümde verilen bilgiler, yapının onarımından önce, 2008 yılında Edirne Vakıflar Bölge Müdürlüğünün Gazi Turhan Bey Camii için hazırlatılan rölöve, restitüsyon, restorasyon raporlarından alınmıştır. Şekil 7.68.'de türbenin onarım öncesi ve sonarım sonrasına ait resimleri verilmiştir.



Onarım Öncesi Onarım Sonrası

Şekil 7.68. Gazi Turhan Bey Caminin restorasyon öncesi ve sonrası fotoğrafları

Edirne ili Uzunköprü ilçesi Kırkkavak Köyü'nün hemen dışında yer alır. Vaktiyle var olduğu bilinen külliyeden neredeyse hiçbir iz kalmamıştır. Fotoğraflarda camiinin hemen önünde görülen türbe de günümüze ulaşamamış, yerine yakın tarihte sembolik bir mermer mezar yapılmıştır. Cami günümüze, minaresinin, üst örtüsünün, kapı ve pencerelerinin büyük bir bölümü yıkılmış olarak, harap bir vaziyette günümüze ulaşmıştır.

Eserde inşa malzemesi olarak düzgün kesme, kaba yonu ve moloz taş ile tuğla kullanılmıştır. Beden duvarlarında, minare kaidesinde ve üst örtüde taş ve tuğla alternatif olarak örülerek hem almaşık hem de kasetleme tekniği uygulanmıştır. Minare gövdesi ve kemerlerde ise tuğlaya yer verilmiştir. Kare planlı ve tek kubbeyle örtülü harim ile bunun kuzeybatı köşesinde yer alan minaresiyle yapı anıtsal bir görünümdedir. Caminin doğu cephesi ortasında altlı ve üstlü olmak üzere iki, güney cephesinde, doğu cephedekilerle aynı özelliklere sahip, altlı ve üstlü olmak üzere ikişerden dört pencere yer almaktadır. Minarenin de bulunduğu batı cephenin düzeni, doğu cepheden farklı değildir. Kuzey cephenin batı ucunda, camiye giriş kapısı bulunmaktadır. Diğer cephelerde aynı tür malzeme ve teknikle inşa edilen cephenin üst kesiminde, ahşap kiriş ve hatıllara ait izler görülmektedir. Kiriş ve hatıl izleri, bu cephede son cemaat yerinin ahşap bir sundurma şeklinde olabileceğini akla getirmektedir.

Basık kemerli kapı açıklığından, kare planlı, oldukça yüksek ve sağır bir kasnağa oturan kubbeyle örtülü harime girilmektedir. Türk üçgenleri ile geçilen kubbenin büyük bir bölümü günümüzde yıkılmış durumdadır.(Şekil 7.69.) Orijinal'de üzerinin kurşun kaplı olduğu bilinen kubbenin geç dönemlerde, vakfın gelirinin azalmasına bağlı olarak,

kiremitle kaplandığı, 1930'lu yıllara ait fotoğrafından anlaşılmaktadır. Güney duvarı ortasında yer alan beşgen planlı mihrap nişi, tamamen alçı kaplı olup, beş sıra mukarnaslı kavsaraya sahiptir.



Şekil 7.69. Gazi Turhan Bey Caminin restorasyon öncesi fotoğrafları (2008)

Harem iç duvar ve kubbe yüzeylerinin sıvası, yer yer dökülmüştür. Dökülen sıvalardan, kubbe ve geçişlerin tuğla ile yapıldığı anlaşılmaktadır. Terk edilmiş olan eserin pencere söveleri, minber ve ahfil bilemediğimiz bir tarihte yok olmuştur. Caminin kuzeybatı köşesinde dıştan bitişik olan ve günümüzde kaidesine kadar yıkık olan minare, orijinal'de poligonal kaideli, silindirik gövdeli ve tek şerefeliydi. Harimden sivri kemerli bir kapı ve dört basamaklı taş bir merdivenle ulaşılan minarenin, şerefeye çıkan merdivenin ahşap olduğu mevcut izlerden anlaşılmaktadır.

Klasik tarzda son cemaat yeri bulunmayan yapının kuzey cephesinin üst seviyelerindeki boşluklar, ahşap hatıl ve konsolların duvar bünyesindeki yerlerini göstermektedir. Bu izler, eserin kuzey kanadında, ahşap bir sundurma şeklinde yapılmış bir son cemaat yeri olabileceğini düşündürmektedir. Özellikle, Edirne ve çevresindeki birçok tek kubbeli camide, benzer tarzda, ahşap bir kuruluşlu sundurma tercih

edilmiştir. Mevcut izler ve örnekler, burada da benzer bir uygulamanın varlığını akla getirmektedir. E.H. Ayverdi, kuzey cephenin doğu kesiminde, dışta bir mihrabiye olabileceği ileri sürmekte, ancak yaptığımız incelemelerde bu durumu yansıtacak herhangi bir veriye rastlanmamıştır.

Yapı kırsalda kaldığı ve kullanılmadığı için hiçbir çimento müdahale görmemiştir. Yapı kısmen yıkık durumda olmasına rağmen çimento vb. Müdahalelerin olmaması sevindiricidir. Doğa şartlarına ve bozulmalara açık durumdadır. Dönem örnekleri ve mevcut izler incelenerek minare boyutu ve malzemesine karar verilmiştir. Kıble yönüne çıkacak şekilde basamaklar düzenlenerek projelendirilmiştir.

Yapı genelinde dış cepheler elden geçirilerek çürüyen elemanlar değiştirilecek, boşalan derzler horasan harcıyla derzlenecek ancak kısmen bozulmaya uğramış olan taş ve tuğlalar aynen bırakılacaktır. Giriş kapısı projesine uygun olarak yeniden oluşturulacaktır. Kaybolmuş mermer söve ve giriş kemeri özgün elemanlara uygun olarak yeniden yapılacaktır. Girişin solunda yer alan tuğla parçalarıyla doldurulmuş görünen kısımda ise basit bir mihrabiye nişi önerilmiştir. Ayrıca girişin üzerine basit bir ahşap saçak önerilmiştir. Mevcut izlere göre tuğla kubbe tamamlanacaktır. Kubbe mevcut özgün tuğla örneğine göre üretilecek tuğlalar ve horasan harcı ile örülecektir.

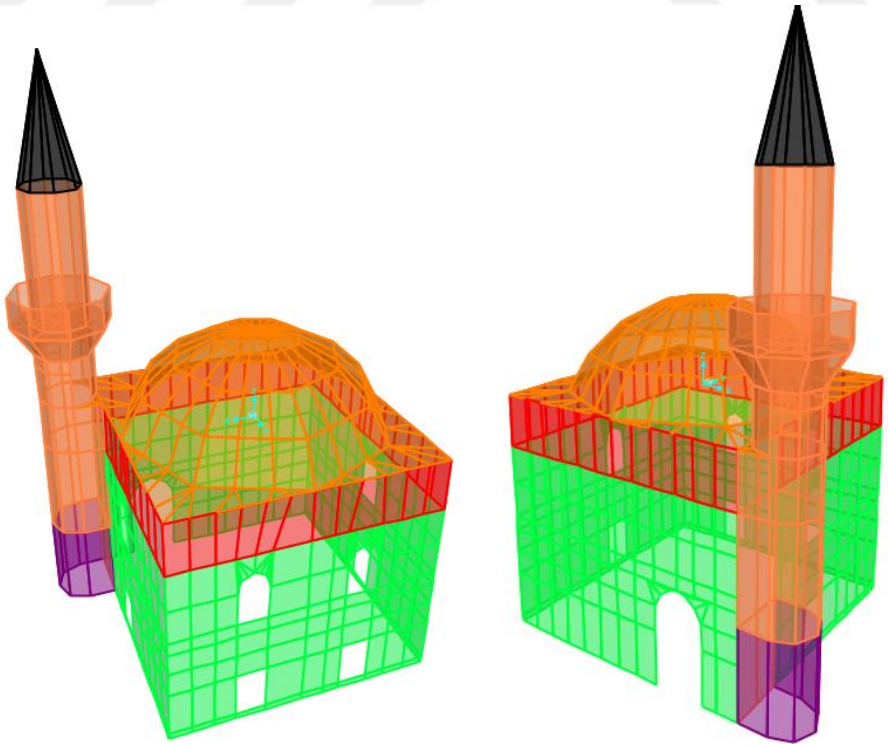
Restitüsyona dayalı olarak tuğla minare oluşturulacaktır. Tuğla gövdeli, taş kaide ve basamaklı, kurşun külahlı olarak yeniden yapılacaktır. Beden duvarı içerisinde çürümüş ahşap hatıllar aynı boyutta emprenye edilmiş ahşaptan tamamlanacaktır. İç cephe tamamen raspa edilerek, özgün sıvasında karışımlara uygun olarak yeniden sıvanacaktır. Üst pencere içlerine alçı içlik, dış kısımlara da beton dışlık önerilmiştir. Mevcut mihrabın tahrip olmuş kısımları elden geçirilerek iyileştirilecektir. İç yüzeylerde herhangi bir tezyinat önerilmemiştir. Pencere boşlukları iyileştirilecek, dıştan söveleri takılarak, çift camlı emprenyeli ahşaptan yeni doğrama takılacaktır. Camii iç ve dış zemini giriş eşiğine göre düşürülerek tesviye edilecek, yine çimento kullanılmadan tuğla döşeme yapılacaktır. Caminin girişinin önünde bulunan kısımda imkân olduğu takdirde araştırma kazısı önerilmiştir. Kazı yapılana kadar mevcut kabir projeye uygun olarak iyileştirilecektir.

7.5.2 Yapısal model ve analizler

Modellenme amacıyla SAP 2000 V18 sonlu eleman programı kullanılmıştır. Yapının duvarları esas olarak an az üç ana malzemeden oluşmaktadır, taş, tuğla ve harç (sıva). Ancak modellemede yapının genel davranışı söz konusu olduğu için taşıyıcı elemanların tek bir malzemeden oluştuğu kabul edilmiş ve ilgili birim hacim ağırlığı, elastisite modülü ve Poisson oranı kullanılmıştır.

Yapının röleve projesi esas alınarak, sayısal modelde duvar kalınlığı kubbenin bitiminden 1.55 m altına kadar 0.8 m, zemine kadar 1.1 m, kubbenin kalınlığı 0.35 m olarak tanımlanmıştır. Duvarın ve minarenin malzemesi taş, kubbenin malzemesi de tuğla olarak, malzeme özellikleri tanımlanmıştır. Yapının taşıyıcı elemanları shell olarak modellenmiştir. Hazırlanan yapı modelinde 606 adet düğüm noktası kullanarak 612 adet shell (alan) oluşturulmuştur. Zemine aktarılan noktalarda 50 adet sabit mesnet tanımlanmıştır.

Gazi Turhan Bey Camii yapısal model görünüşü Şekil 7.70.'de verilmiştir.



Şekil 7.70. Gazi Turhan Bey Camii yapısal model görünüşü

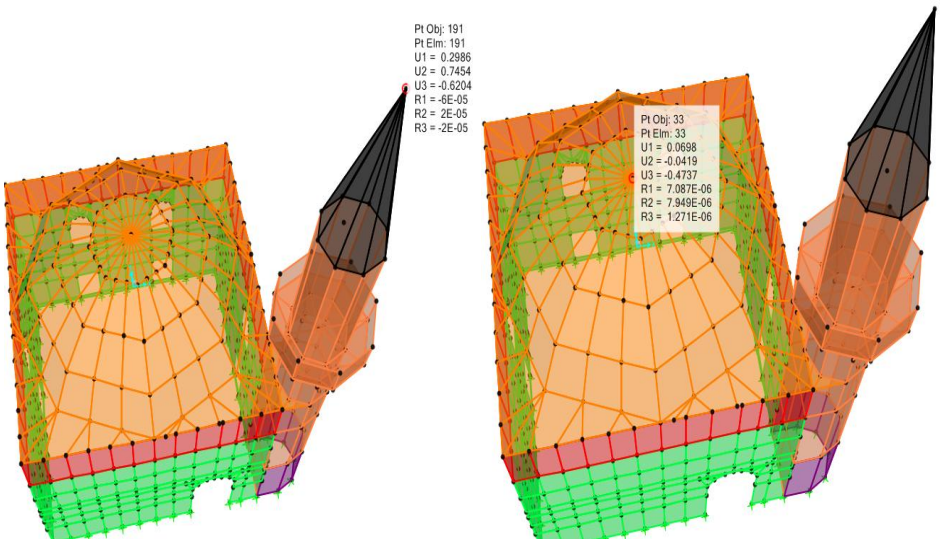
Elde edilen analiz sonuçlarının, her bir düğüm noktasında ve her bir elemanda verilmesi oldukça zor olması nedeniyle elde edilen sonuçlar renkli gerilme dağılımları ve grafiklerle verilmiştir.

7.5.2.1. Ölü yükler altında yapının analizi

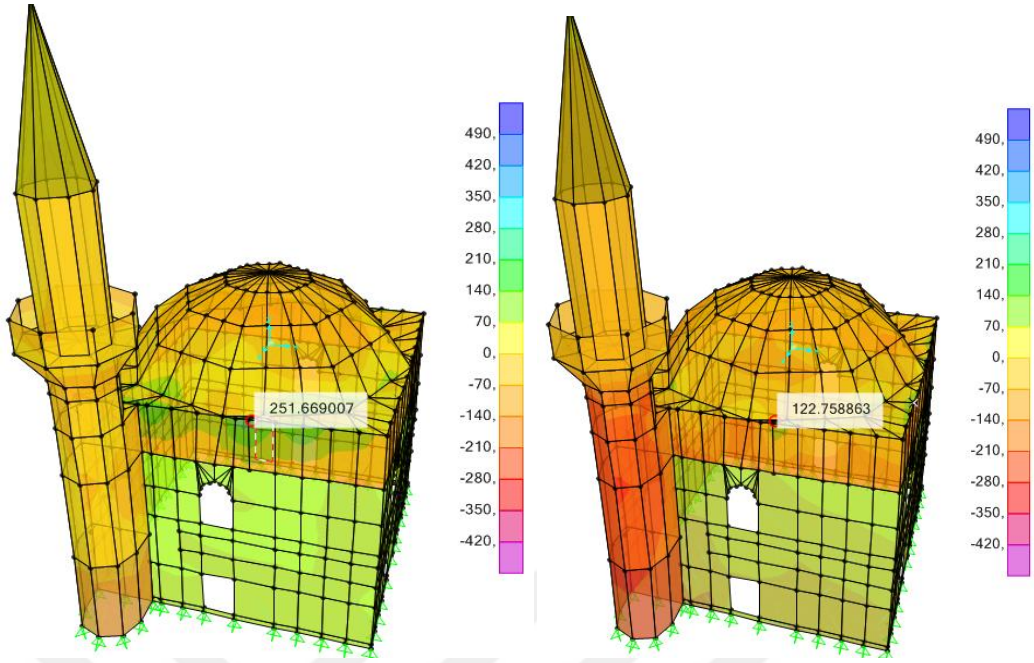
Yapı malzemelerinin birim hacim ağırlığı (γ), elastisite modülü (*E*) ve Poisson oranı (ν) tablo 7.2.'de hesaplanan değerler kullanılarak, yapının ağırlık etkisi göz önüne alınmıştır.

Yapının ağırlığı G= 5912.11 kN'dur.

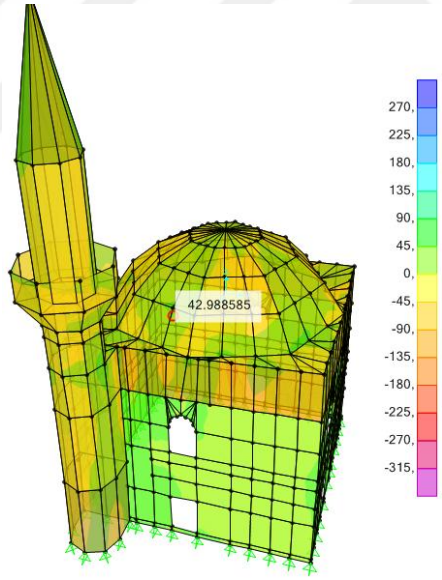
Gazi Turhan Bey Cami'nin üç boyutlu sonlu eleman modelinin kendi ağırlığı altında yapılan statik analizi neticesinde yapıdaki muhtemel gerilme dağılımlarına. şekil değiştirme değerlerine ulaşılmış ve çatlak oluşabilecek kritik yerler tespit edilmiştir. G yükü altında, yapıdaki en büyük yer değiştirme. kubbenin tepe noktasında düşey doğrultuda yaklaşık 0.47 mm olmaktadır.(Şekil 7.70) Bu analizde R=2 değeri kullanıldığı için elastik yer değiştirme 0.47 mm × 2 = 0.94 mm olarak hesaplanmalıdır. Minarenin tepe noktasında düşey doğrultuda yaklaşık 0.75 mm olmaktadır. Bu analizde R=2 değeri kullanıldığı için elastik yer değiştirme 0.75 mm×2= 1.5 mm olarak hesaplanmalıdır.



Şekil 7.71. Gazi Turhan Bey Camii G yüklemesi altında oluşan maksimum yer değiştirme (mm)



Şekil 7.72. Gazi Turhan Bey Camii G yüklemesi altında S11 ve S22 gerilmeleri (kN/m^2)



Şekil 7.73. Gazi Turhan Bey Camii G yüklemesi altında S12 gerilmeleri (kN/m^2)

Yapının davranışını, etki eden G yüküne göre ayrı ayrı hazırlanan S22 ve S11 (çekme ve basınç) gerilme değerleri grafiği (Şekil 7.72.) ile S12(kayma) gerilme değerleri grafiği (Şekil 7.73.) incelendiğinde, hesaplanan en elverişsiz basınç gerilmeleri 0.420 MPa ve en elverişsiz çekme gerilmeleri de 0.490 MPa olarak tespit edilmiştir. Bununla beraber, S11 ve S22 grafiklerindeki gerilme dağılışının değerlerinin bir birine eşit olduğu da gözden kaçırılmamalıdır. Her iki değerde Tablo 7.5.'de verilen taş duvarların emniyet gerilme değerlerini aşmıştır. S12 grafiğinden tespit edilen

maksimum kayma gerilmesi 0.315 MPa'dır. Bu değer de emniyetli kayma gerilmesi değerinin üzerindedir.

Sonuç olarak, G yüklemesi altında, yapısal analizlerde elde edilen etkiler incelendiğinde, yapının taşıyıcı duvarlarında, Türk Deprem Yönetmeliğinde yığma yapılar için önerilen basınç çekme ve kayma gerilmesi değerlerinin aşıldığı gözlenmiştir. Zaten yapının yıkılan kubbesi ve oluşan çatlakların büyüklüğü yapının stabil olmadığının göstergesidir. (Şekil 7.74.)



Şekil 7.74. Gazi Turhan Bey Camii restorasyon öncesi hasarlı halinin fotoğrafları

7.5.2.2 Modal çözümleme

Spekral sismik çözümde sabit spektral katsayı S(T)= 2.5 ve etkili deprem katsayısı Ao= 0.1 kabul edilmiştir. Deprem etkilerinin belirlenmesinde mod etkilerinin birleşimi yöntemi benimsenmiş ve tam karesel birleştirme yöntemi kullanılarak, yapının düşey ve deprem etkileri altında elastik davranışını elde etmek amaçlanmıştır. Bütün periyotlarda deprem yükü azaltma katsayısı R= 2 kullanılarak göz önüne alınmıştır. Modal çözümleme ile yapı sisteminin kütle ve rijitlik matrisleri kullanılarak, mod şekilleri ve periyotlar elde edilmektedir.

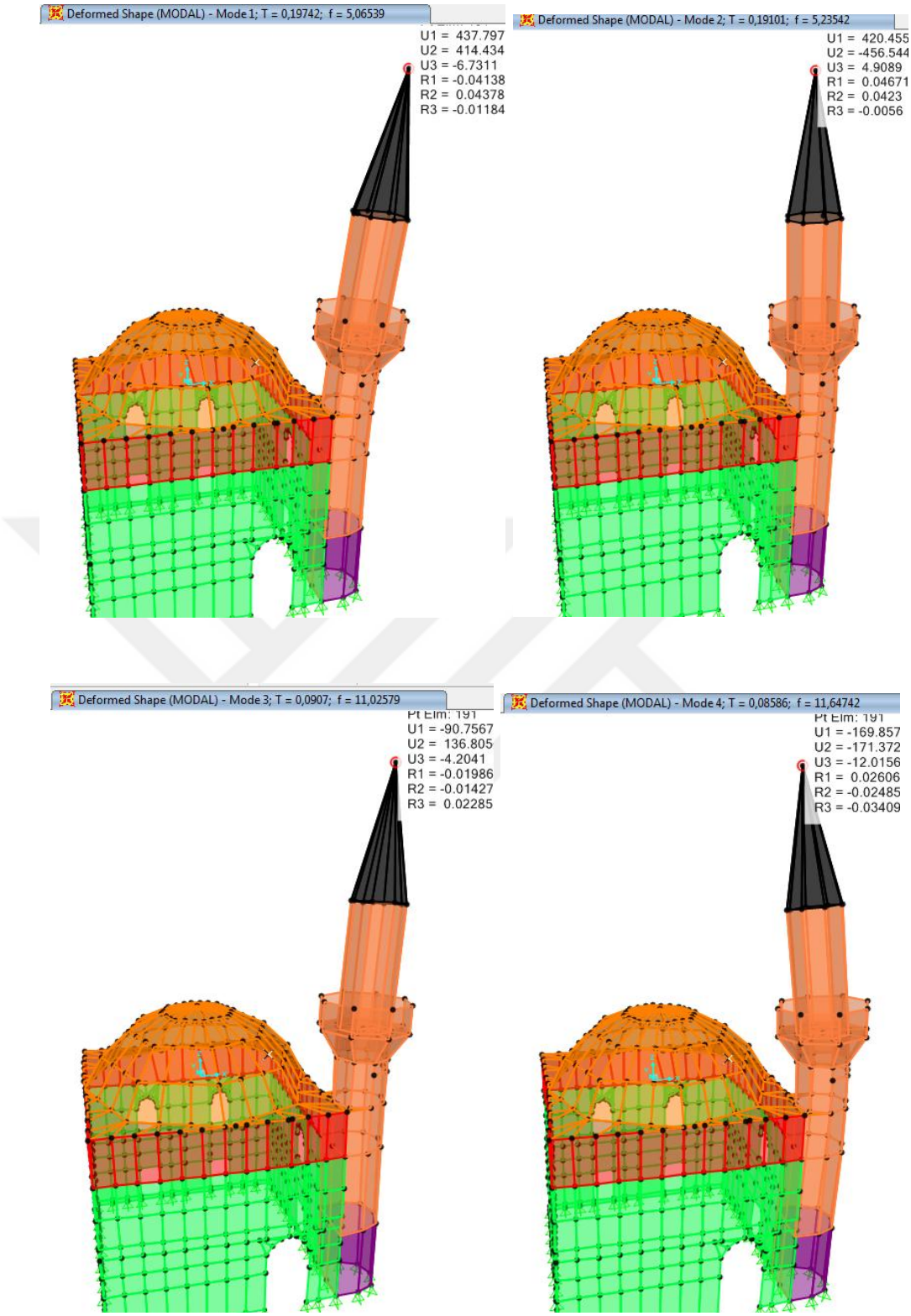
Depreme dayanıklı yapı tasarımı çerçevesinde DBYBHY 2007 'ye göre yapıların dinamik analizi için hesaba katılacak yeterli titreşim mod sayısı, her bir mod

için hesaplanan etkin kütlelerin toplamının bina toplam kütlesinin %90'ından daha az olmaması kuralına göre belirlenmektedir. Modların süperpozisyonu gerçekleştirilirken istatistiksel yöntemlerden olan Kareleri Toplamının Karekökü (SRSS) yöntemi kullanılmıştır. Gazi Turhan Bey Cami sonlu eleman modelinin SAP 2000 V18 programında modal çözümlemesi yapılmıştır. Hesaplanan etkin kütlelerin toplamının, bina toplam kütlesinin %90'ından az olmamasının sağlanabilmesi için 60 tane mod şekli gerektiği görülmüştür. Ana kütlenin X doğrultusunda yanal yer değiştirme hareketini gösteren dördüncü modun kütle katılım oranı %50, Y doğrultusunda yanal yer değiştirme hareketini gösteren üçüncü modun kütle katılım oranı ise %54 olarak hesaplanmıştır. Zaten elde edilen en yüksek doğal titreşim periyodu 0.197'dir ve bina oldukça rijittir. İlk 30 moda ait değerler tablo 7.9.'de verilmiştir.

Tablo 7.9. Serbest Titreşim Peryotları ve Kütle Katılım Oranları (ilk 30 mod)

Serbest Titreşim Periyotları ve Kütle Katılım Oranı							
Mod	Periot	Ux	Uy	Uz	Toplam Ux	Toplam Uy	Toplam Uz
MOD 1	0.197	0.033	0.019	0.000	0.033	0.019	0.000
MOD 2	0.191	0.022	0.028	0.000	0.055	0.048	0.000
MOD 3	0.091	0.110	0.540	0.000	0.160	0.590	0.000
MOD 4	0.086	0.500	0.110	0.001	0.670	0.700	0.001
MOD 5	0.070	0.055	0.001	0.000	0.720	0.700	0.001
MOD 6	0.063	0.002	0.013	0.000	0.720	0.710	0.001
MOD 7	0.058	0.005	0.005	0.000	0.730	0.720	0.001
MOD 8	0.056	0.013	0.000	0.003	0.740	0.720	0.004
MOD 9	0.053	0.004	0.015	0.001	0.740	0.740	0.005
MOD 10	0.048	0.000	0.000	0.001	0.740	0.740	0.005
MOD 11	0.047	0.003	0.002	0.010	0.750	0.740	0.015
MOD 12	0.045	0.000	0.000	0.002	0.750	0.740	0.017
MOD 13	0.043	0.000	0.003	0.035	0.750	0.740	0.052
MOD 14	0.039	0.013	0.010	0.110	0.760	0.750	0.160
MOD 15	0.037	0.002	0.018	0.000	0.760	0.770	0.160
MOD 16	0.035	0.092	0.002	0.010	0.850	0.770	0.170
MOD 17	0.034	0.002	0.068	0.014	0.860	0.840	0.190
MOD 18	0.033	0.002	0.002	0.059	0.860	0.840	0.250
MOD 19	0.032	0.003	0.004	0.032	0.860	0.840	0.280
MOD 20	0.032	0.000	0.008	0.026	0.860	0.850	0.300
MOD 21	0.030	0.000	0.004	0.000	0.860	0.860	0.300
MOD 22	0.027	0.001	0.000	0.190	0.860	0.860	0.490
MOD 23	0.027	0.000	0.000	0.042	0.860	0.860	0.530
MOD 24	0.026	0.000	0.000	0.043	0.860	0.860	0.580
MOD 25	0.025	0.000	0.000	0.027	0.860	0.860	0.600
MOD 26	0.025	0.001	0.001	0.001	0.860	0.860	0.600
MOD 27	0.025	0.000	0.000	0.000	0.860	0.860	0.600
MOD 28	0.024	0.001	0.001	0.003	0.860	0.860	0.610
MOD 29	0.024	0.000	0.000	0.000	0.860	0.860	0.610
MOD 30	0.024	0.001	0.000	0.001	0.870	0.860	0.610

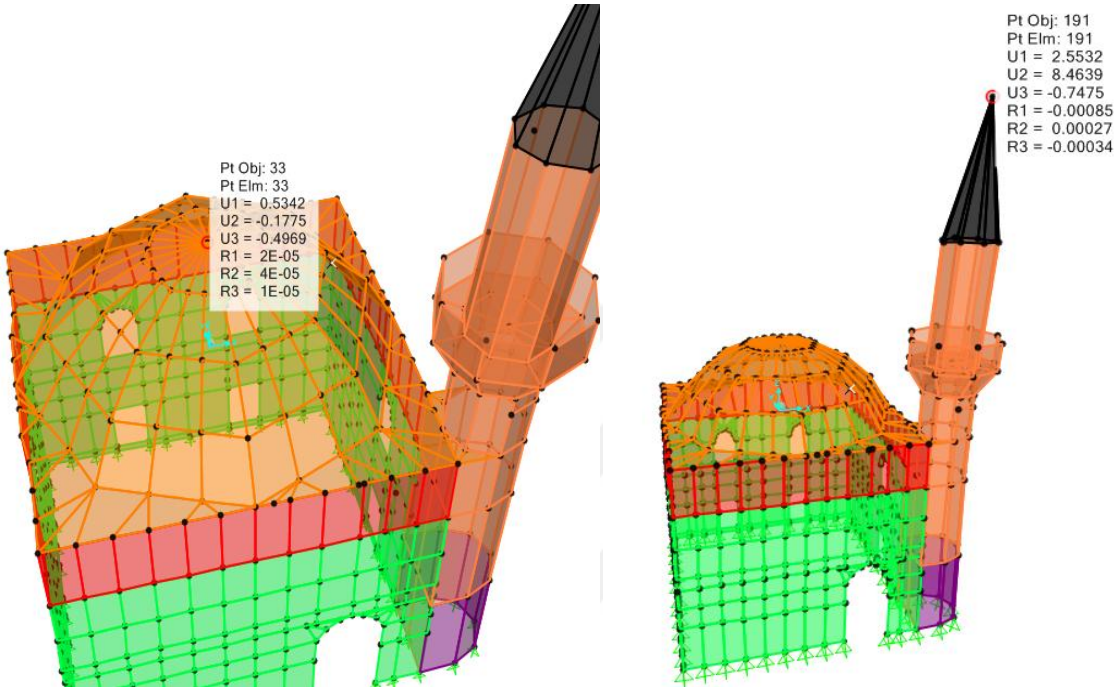
İlk 4 moda ait grafikler Şekil 7.75.'de verilmiştir.



Şekil 7.75. Gazi Turhan Bey Camii ilk dört moda ait grafikler

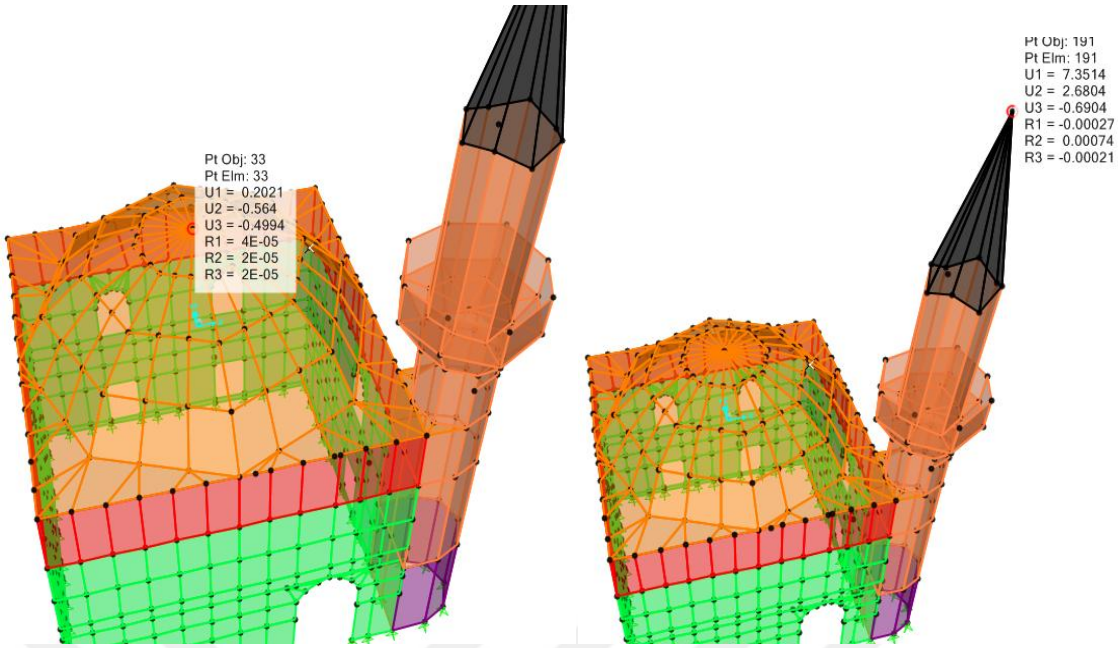
7.5.2.3 $G+E_x$ ve $G+E_y$ deprem yüklemeleri

Ölü yükler ile X ve Y doğrultusunda etki eden, deprem yükü azaltma katsayısı (R=2) ile azaltılmış deprem yükleri altında modal spektral çözümleme sonucu yapıda oluşan şekil değiştirmeler Şekil 7.76.'da verilmiştir.



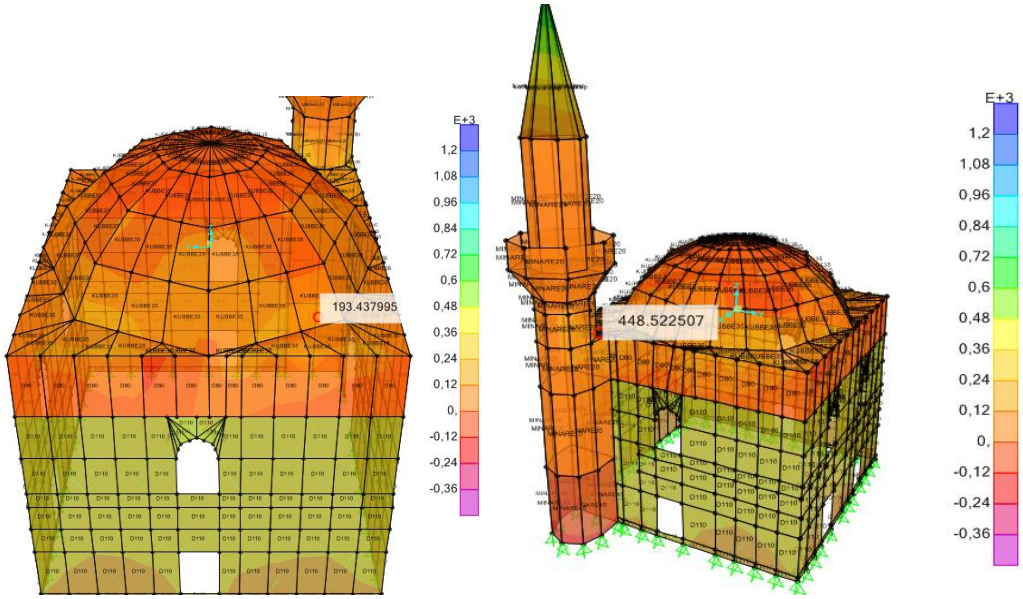
Şekil 7.76. Gazi Turhan Bey Cami G+Ex deprem yüklemeleri altındaki kubbenin ve minarenin yer değiştirmeleri(mm)

$G+E_x$ deprem yüklemesi X yönünde minare 2.55 mm, Y yönünde 8.46 mm, Z yönünde 0.75 mm ve kubbede X yönünde 0.54 mm Y yönünde 0.18, Z yönünde 0.50 mm yanal ötelenme meydana getirmektedir. $G+E_y$ deprem yüklemesi, kubbede X yönünde 0.20 mm, Y yönünde 0.56 mm, Z yönünde 0.50 mm ve minarede X yönünde 7.35 mm Y yönünde 2.68, Z yönünde 0.70 mm yanal ötelenme meydana getirmektedir.

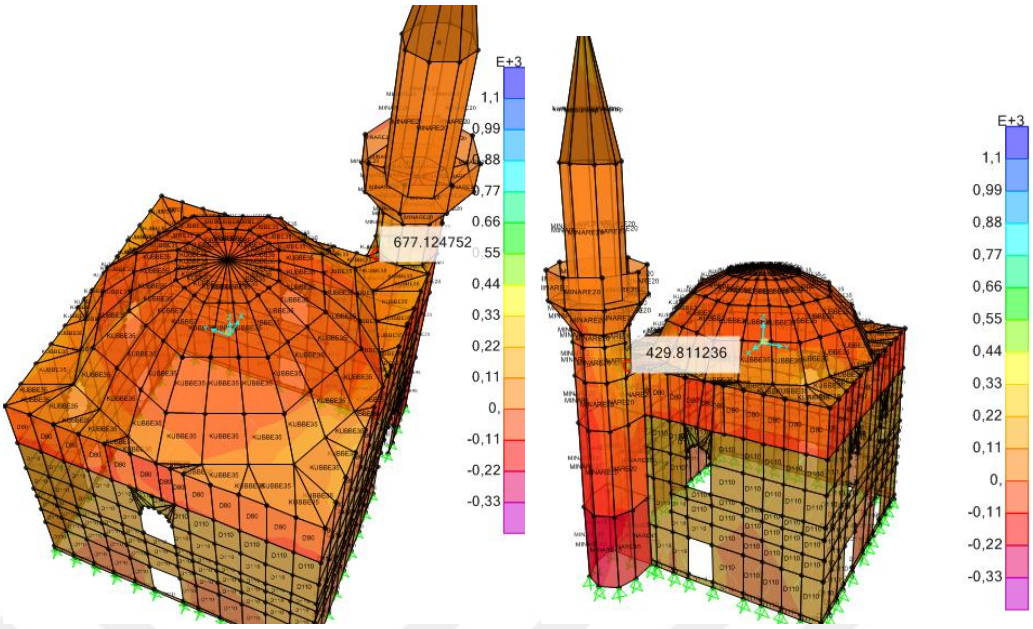


Şekil 7.77. Gazi Turhan Bey Cami G+Ey deprem yüklemeleri altındaki kubbenin ve Minarenin yer değiştirmeleri(mm)

Yapılan analizler sonucunda, yapının statik durumunda en çok zorlanan bölümlerinin üst pencere boşluklarının kenarları, kubbe ve kubbenin oturduğu beden duvarları, minarenin duvarla birleştiği noktalar olduğu tespit edilmiştir.



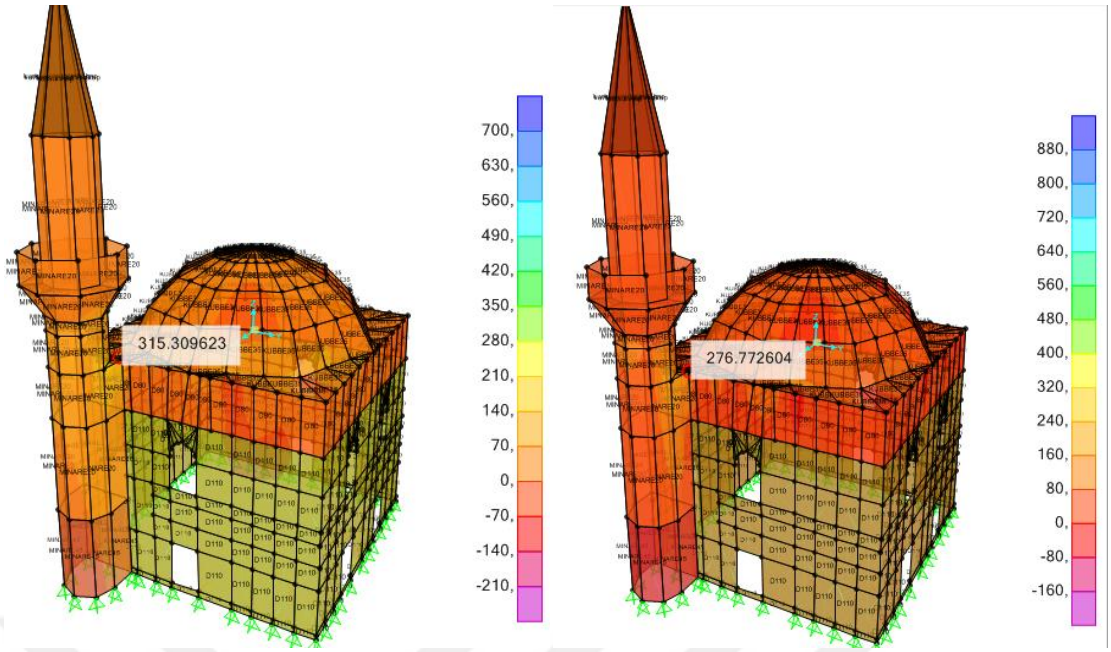
Şekil 7.78. Gazi Turhan Bey Cami G+Ex ve G+Ey deprem yüklemeleri altındaki S11 gerilmesi (kN/m^2)



Şekil 7.79. Gazi Turhan Bey Cami G+Ex ve G+Ey deprem yüklemeleri altındaki S22 gerilmesi (kN/m^2)

G+Ex ve G+E_y deprem yükleme durumunda yapıdaki S11 (Şekil 7.78.) ve S22 (Şekil 7.79.) gerilmelerinin elverişsiz olduğu bölgeler kubbe ile duvar birleşim bölgeleri, pencere, kapı boşluklarının köşe noktaları ve minarenin duvarlarla birleştiği noktalarda olduğu görülmektedir. Yapıda oluşan en büyük basınç gerilmesi 0.36 MPa olarak hesaplanmıştır ve bu değer basınç emniyet gerilmesi olan 0.3 MPa değerine göre, binada karşılanmakta olduğu söylenebilir. Yapıda 1.2 MPa olarak tespit edilen çekme gerilmeleri, çekme emniyet gerilmesini aşmakta ve güçlendirme gerekmektedir.

Hesaplanan maksimum kayma gerilmesi G+E_x ve G+E_y deprem yüklemelerinde 0.8 MPa olarak gerçekleşmiştir.(Şekil 7.80.) Bu değer 0.175 MPa olarak hesaplanan emniyetli kayma gerilmesi değerini aşmış durumdadır.



Şekil 7.80. Gazi Turhan Bey Cami G+Ex ve G+Ey deprem yüklemeleri altındaki S12 gerilmesi (kN/m^2)

Yapının Ocak 2017 itibariyle mevcut durumu incelenmiş, özellikle yer yer beden duvarlarını oluşturan taşlarda dökülme ve ayrışmaların olduğu saptanmıştır.(Şekil 7.81.) Yapının sonlu elemanlar modelinde çıkan yüksek gerilmelere rağmen, minare duvar birleşimlerinde, kubbenin beden duvarlarıyla birleştiği bölgelerde, pencere, kapı boşluklarında büyük ve riskli çatlaklara rastlanmamıştır. Bu durum, yapının hala stabilitesini koruduğu yönünde yorumlanabilir. Ancak yıpranan taşlara bakım yapılması, boşalan derz aralarına uygun malzemeyle dolgu yapılması, binanın stabil durumunun devamı için olumlu olacaktır.



Şekil 7.81. Gazi Turhan Bey Cami Ocak 2017'ye ait güncel fotoğrafları

7.6 Sitti Şah Sultan Cami

Sitti Hatun Camii; Sevindik Fakih Mahallesinde, Talat Paşa Caddesi üzerinde, Lise Bayırı Sokağı'nın güneyinde yer alır. 109 pafta, 165 ada, 7 parselde konumlanmaktadır. Yapı günümüzde özgün işlevini devam ettirmektedir. Yapı halk arasında Sitti Şah Sultan Camii, Hatuniye Camii ve Sultan Camii olarak da anılmaktadır. Sitti Hatun Camisi, Fatih Sultan Mehmet'in ilk eşi, Dulkadiroğulları'ndan Süleyman Bey'in kızı Sitti Hatun tarafından yaptırılmıştır. Cami yapısının portalı üzerinde yer alan inşa kitabesin de üç satırlık Arapça harflerle yazılmış kitabenin Türkçe metni şöyledir, "Bu mübarek makamın binasını, büyük sultan, sultanoğlu sultan, fetihler babası Sultan Bayezid Han'ın devletli günlerinde, Allah onun (devletini) iyilikle ve hayırla daim kılsın zamanın kadınlarının taçlarının incisi, Dulkadiroğlu Süleyman'ın kızı Sitti Şah, 889 (Hicri) yılında muhkem kıldı."



Şekil 7.82. Sitti Şah Sultan Cami 1958'e ait fotoğrafı

Bu kitabeye göre yapı, Süleyman kızı Sitti Şah tarafından inşa ettirilmiş ve inşaat 889/1484 yılında tamamlanmıştır. Yapının mimarının ise Mimar Hayreddin olduğu belirtilmekte ancak kaynak gösterilememektedir. Yapı, 1752, 1903, 1912, 1953 ve 1962 yılındaki depremlerde tahrip olmuştur. Yapı Vakıflar Genel Müdürlüğü tarafından 1955-61 yılları arasında ve 1982 yılında olmak üzere son dönemlerde kapsamlı onarımlar geçirmiştir. **Şekil 7.82.'de Sitti Şah Sultan Cami'nin 1958'e ait Fotoğrafı yer almaktadır.**

1361 yılında Türkler tarafından fethedilen Edirne, Osmanlıların ikinci büyük başkenti olmuştur. Edirne kenti Osmanlı egemenliğine girdikten kısa süre sonra birçok anıtsal cami inşa edilmiştir. 1484 yılında inşa edilen Sitti Hatun Camii Edirne'deki tek kubbeli camilerin nadide örneklerindendir. E. Hakkı Ayverdi'nin betimlemesiyle Edirne'deki orta boy camilerin en büyüklerinden olup bazı öğeler ve tezyinatları bakımından Kasım Paşa Camisine benzetilse de revak kısmının kubbeli, taç kapısının güzel ve oranlı olması nedeniyle etkisinin daha abidevi olduğu yönünde görüş belirtmiştir.

Cami yapısı geniş bir avlunun içinde yer almaktadır. Cami avlusunun doğu, batı ve kuzey kısımlarında hazire yer almaktadır. Son cemaat yeri günümüzde mevcut değildir fakat yapısal izlerden formu ve oranları ile ilgili bir fikre varmak mümkündür. Harim mekânı (yaklaşık 13.5 m ebadında) kurşun kaplı tek kubbe ile örtülüdür. Kubbeye geçişi sağlayan tromplar, düz köşe duvarları ile gizlenmiştir. Son cemaat yerinin (revak) kuzeyinde ve avlunun kuzey kanadının tam ortasında özgün şadırvan kalıntılarının üstüne imalatı yarım bırakılmış mermerden yapılmış şadırvan yer almaktadır. Yine geç dönem eki olarak cami avlusunun kuzey-batı kanadın da yer altına gömülmüş yeni bir tuvalet ve abdest alma yeri inşa edilmiştir. Cami minaresi yine kesme taştan inşa edilmiştir. Şerefeden yukarı olan kısım (üst gövde, külah ve alem) yakın tarihte onarılmıştır. Minare kaidesinden gövdeye prizmatik motiflerle geçilmektedir. Minareye giriş son cemaat yerinin batı kanadında dikdörtgen çökertme yüzey içerisinde vurgulanmış sivri kemerli bir kapıdan sağlanmaktadır. Silme bir bilezik gövde ile pabucu birbirinden ayırmaktadır. Şerefeye geçişin hemen altında da bir bilezik mevcuttur. Şerefe korkulukları şebekelidir. Minare, 1953 yılında ki bir depremde şerefeye kadar yıkılmış ve onarılmıştır. 1962 yılındaki bir diğer depremde ise tamamen yıkılmış ve yeniden inşa edilmiştir.

Yapıya kuzey cepheden basık kemerli bir taç kapıdan girilmektedir. Kapının hemen üzerinde bir hafifletme kemeri vardır. Kemer aynalığında inşa kitabesi yer alır. Kapı üzerinde silmelerin içinde yer alan taç kısım kısmen hasar görmüş durumdadır. Harimin kuzey duvarının üst kesimlerinde üç kemer izi bulunmaktadır. Bu yapısal izler dört sütun üzerine üç kubbe ile örtülü son cemaat yerinin varlığını kanıtlamaktadır.

7.6.1 Yapının restorasyon öncesi ve sonrası mimari özellikleri

Bu bölümde verilen bilgiler, yapının onarımından önce, 2007 yılında Edirne Vakıflar Bölge Müdürlüğünün Sitti Şah Sultan Camii için hazırlatılan rölöve, restitüsyon, restorasyon raporlarından alınmıştır. Şekil 7.83.'de türbenin onarım öncesi ve sonarım sonrasına ait resimleri verilmiştir.



Şekil 7.83. Sitti Şah Sultan Caminin restorasyon öncesi ve sonrası fotoğrafları

Yapı, zamanında Sitti Şah Sultan'ın 1743 yılına kadar ayakta kaldığı bilinen Sarayına bitişik olarak inşa edilmiştir. Camii geniş bir avlunun içinde yer almaktadır. Camii avlusunun doğu, batı ve kuzey kısımlarında hazire yer almaktadır. Harim mekânı kurşun kaplı kubbe ile örtülüdür. Harimde kubbe yuvarlağına geçiş sivri kemerli üç yüzeyli tromplarla sağlanmıştır. Son cemaat yerinin kuzeyinde ve avlunun kuzey kanadının tam ortasında şadırvan yer almaktadır. Yine geç dönem eki olarak cami avlusunun kuzey-batı kanadında yer altına gömülmüş yeni bir tuvalet ve abdest alma yeri inşa edilmiştir. Cami minaresi yine kesme taştan inşa edilmiştir. Minareye giriş son cemaat yerinin batı kanadında dikdörtgen çökertme yüzey içerisinde vurgulanmış sivri kemerli bir kapıdan sağlanmaktadır. Yapıya kuzey cepheden basık kemerli bir taç kapıdan girilmektedir. Caminin güneyinde yer alan lahit şeklindeki mezar ise caminin banisi Sitti Şah Sultan'a aittir.

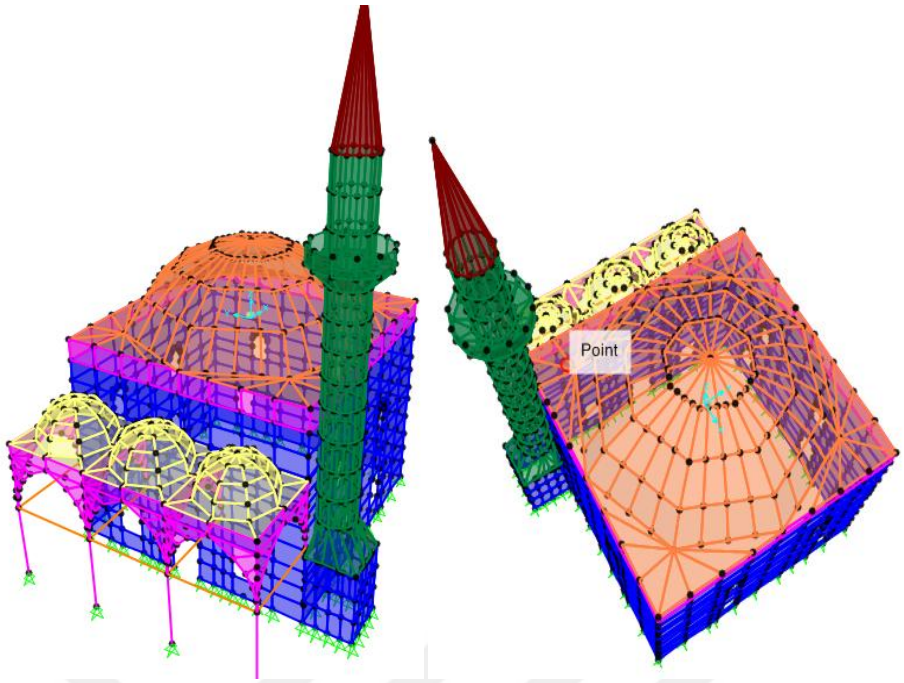
Onarım kapsamında, caminin yıkılmış üç kubbe ile örtülü olan son cemaat mekânı yapılmıştır. Ana kubbenin bozuk olan yerleri tamir edilmiş, çamur sıva yapılmış ve kubbenin kurşunları değiştirilmiştir. Minare âlemi sökülerek yerine yeni bakır âlem yapılıp üzeri altın varakla kaplanmıştır. Camii avlusunda traverten döşeme yapılmıştır.

Minarenin kurşunları değiştirilmiş, camii etrafına drenaj çalışması yapılmış, kalem işleri ıslah edilmiş, caminin kapı ve pencereleri değiştirilmiş, beden duvarları temizlenmiş, şadırvan ve bahçe düzenlemesi yapılmıştır. Elektrik tesisatı yenilenmiştir. Onarımı tamamlanan camii, ibadete açıktır.

7.6.2 Yapısal model ve analizler

Modellenme amacıyla SAP 2000 V18 sonlu eleman programı kullanılmıştır. Yapının duvarları esas olarak an az üç ana malzemeden oluşmaktadır, taş, tuğla, harç (sıva) ve çelik gergi. Ancak modellemede yapının genel davranışı söz konusu olduğu için taşıyıcı elemanların tek bir malzemeden oluştuğu kabul edilmiş ve ilgili birim hacim ağırlığı, elastisite modülü ve Poisson oranı kullanılmıştır.

Yapının röleve projesi esas alınarak, sayısal modelde duvar kalınlığı kubbenin bitiminden 1.25m altına kadar 1.0 m, zemine kadar 1.6 m, ana kubbenin kalınlığı 0.5 m, son cemaat kubbeleri 0.3 m, çelik gergi 5x5 mm kutu, son cemaat sütunları 0.4 m olarak tanımlanmıştır. Duvarın, son cemaat sütunları ve minarenin malzemesi taş, gergilerin malzemesi çelik ve kubbelerin malzemesi de tuğla olarak, malzeme özellikleri tanımlanmıştır. Yapının taşıyıcı elemanları shell olarak modellenmiştir. Hazırlanan yapı modelinde 1185 adet düğüm noktası kullanarak 1086 adet shell (alan) oluşturulmuştur. Zemine aktarılan noktalarda 60 adet sabit mesnet tanımlanmıştır. 11 adet de çubuk eleman tanımlanmıştır. Yapıya ait modelleme Şekil 7.84.'de verilmiştir.



Şekil 7.84 Sitti Şah Sultan Camii yapısal model görünüşü

Elde edilen analiz sonuçlarının, her bir düğüm noktasında ve her bir elemanda verilmesi oldukça zor olması nedeniyle elde edilen sonuçlar renkli gerilme dağılımları ve grafiklerle verilmiştir.

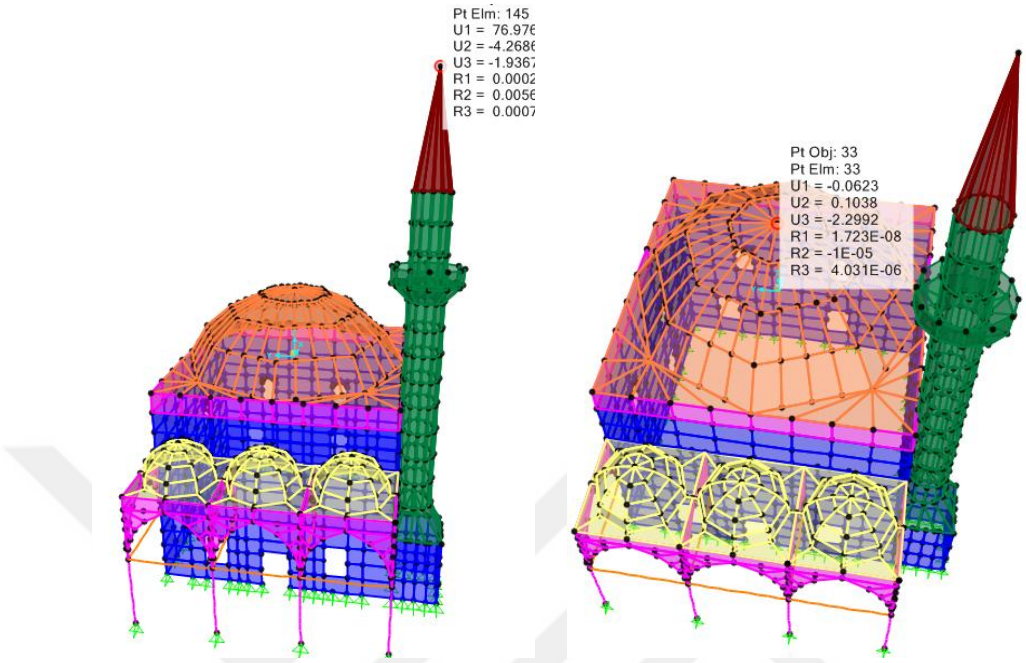
7.6.2.1 Ölü yükler altında yapının analiz

Yapı malzemelerinin birim hacim ağırlığı (γ), elastisite modülü (*E*) ve Poisson oranı (ν) tablo 7.2'de hesaplanan değerler kullanılarak, yapının ağırlık etkisi göz önüne alınmıştır.

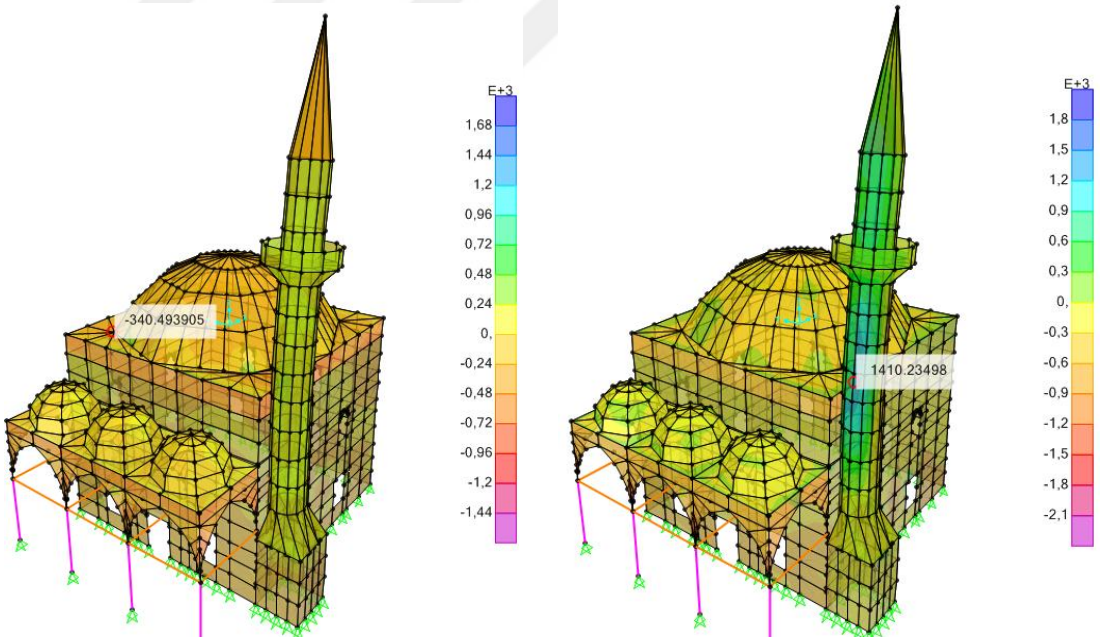
Yapının ağırlığı G= 32430 kN'dur.

Sitti Şah Sultan Cami'nin üç boyutlu sonlu eleman modelinin kendi ağırlığı altında yapılan statik analizi neticesinde yapıdaki muhtemel gerilme dağılımlarına, şekil değiştirme değerlerine ulaşılmış ve çatlak oluşabilecek kritik yerler tespit edilmiştir. G yükü altında, yapıdaki en büyük yer değiştirme, kubbenin tepe noktasında düşey doğrultuda yaklaşık 2.3 mm olmaktadır. (Şekil 7.85.) Bu analizde R=2 değeri kullanıldığı için elastik yer değiştirme 2.3 mm×2 = 4.6 mm olarak hesaplanmalıdır. Minarenin tepe noktasında yanal deformasyon yaklaşık 76.98 mm olmaktadır. Bu

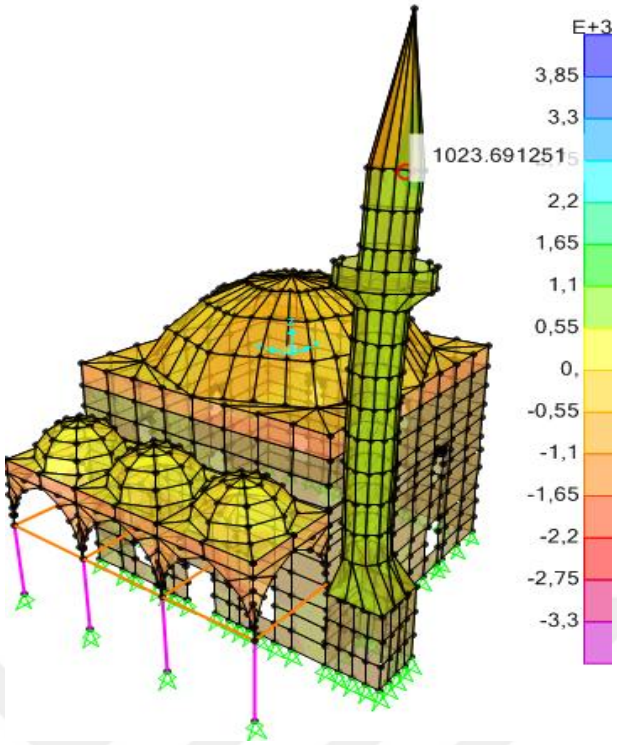
analizde R=2 değeri kullanıldığı için elastik yer değiştirme 76.98 mm×2= 153.96 mm olarak hesaplanmalıdır.



Şekil 7.85. Sitti Şah Sultan Camiinin G yüklemesi altında minare ve kubbede oluşan deformasyonlar



Şekil 7.86. Sitti Şah Sultan Camii G yüklemesi altında S11 ve S22 gerilmeleri (kN/m^2)



Şekil 7.87. Sitti Şah Sultan Camii G yüklemesi altında S12 gerilmeleri (kN/m^2)

Yapının davranışını, etki eden G yüküne göre ayrı ayrı hazırlanan S22 ve S11 (çekme ve basınç) gerilme değerleri grafiği (Şekil 7.86.) ile S12(kayma) gerilme değerleri grafiği (Şekil 7.87.) incelendiğinde, hesaplanan en elverişsiz basınç gerilmeleri 2.1 MPa ve en elverişsiz çekme gerilmeleri de 1.68 MPa olarak tespit edilmiştir. Her iki değerde Tablo 7.5.'de verilen taş duvarların emniyet gerilme değerlerini aşmıştır. S12 grafiğinden tespit edilen maksimum kayma gerilmesi 3.85 MPa'dır. Bu değer de emniyetli kayma gerilmesi değerinin üzerindedir.

Sonuç olarak. G yüklemesi altında, yapısal analizlerde elde edilen etkiler incelendiğinde, yapının taşıyıcı duvarlarında, Türk Deprem Yönetmeliğinde yığma yapılar için önerilen basınç çekme ve kayma gerilmesi değerlerinin aşıldığı gözlenmiştir.

7.6.2.2 Modal çözümleme

Spekral sismik çözümde sabit spektral katsayı S(T)= 2.5 ve etkili deprem katsayısı Ao= 0.1 kabul edilmiştir. Deprem etkilerinin belirlenmesinde mod etkilerinin birleşimi yöntemi benimsenmiş ve tam karesel birleştirme yöntemi kullanılarak, yapının düşey ve deprem etkileri altında elastik davranışını elde etmek amaçlanmıştır. Bütün

periyotlarda deprem yükü azaltma katsayısı R= 2 kullanılarak göz önüne alınmıştır. Modal çözümleme ile yapı sisteminin kütle ve rijitlik matrisleri kullanılarak, mod şekilleri ve periyotlar elde edilmektedir.

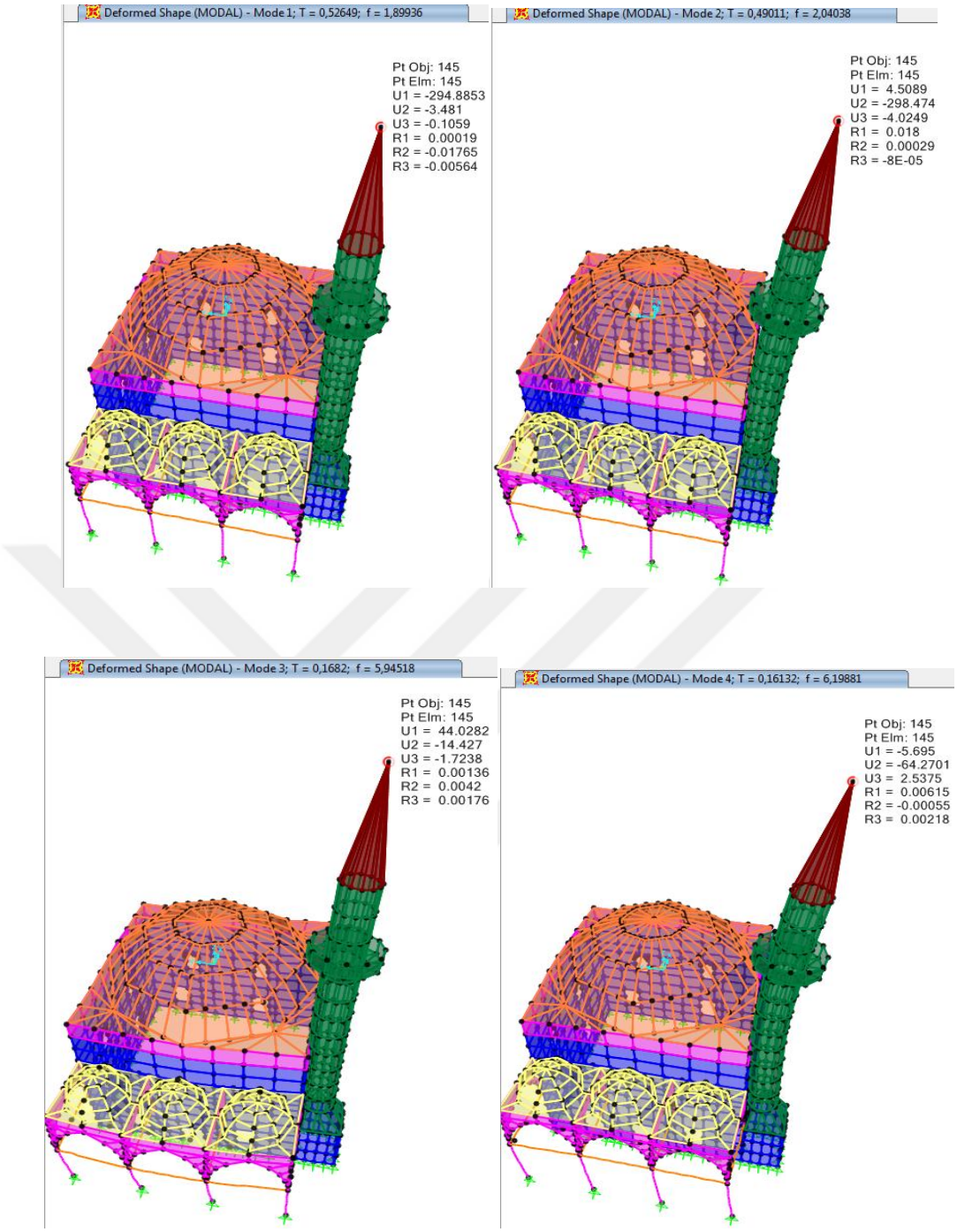
Depreme dayanıklı yapı tasarımı çerçevesinde DBYBHY 2007'ye göre yapıların dinamik analizi için hesaba katılacak yeterli titreşim mod sayısı, her bir mod için hesaplanan etkin kütlelerin toplamının bina toplam kütlesinin %90'ından daha az olmaması kuralına göre belirlenmektedir. Modların süperpozisyonu gerçekleştirilirken istatistiksel yöntemlerden olan Kareleri Toplamının Karekökü (SRSS) yöntemi kullanılmıştır.

Sitti Şah Sultan Cami sonlu eleman modelinin SAP 2000 V18 programında modal çözümlemesi yapılmıştır. Hesaplanan etkin kütlelerin toplamının, bina toplam kütlesinin %90'ından az olmamasının sağlanabilmesi için 50 tane mod şekli gerektiği görülmüştür. Ana kütlenin X doğrultusunda yanal yer değiştirme hareketini gösteren üçüncü modun kütle katılım oranı %70, Y doğrultusunda yanal yer değiştirme hareketini gösteren dördüncü modun kütle katılım oranı ise % 69 olarak hesaplanmıştır. Yapı simetrik olduğu için kütle katılım oranları hemen hemen aynı değeri vermektedir. Zaten elde edilen en yüksek doğal titreşim periyodu 0.52'dir ve bina oldukça rijittir. İlk 30 moda ait değerler Tablo 7.10.'de verilmiştir.

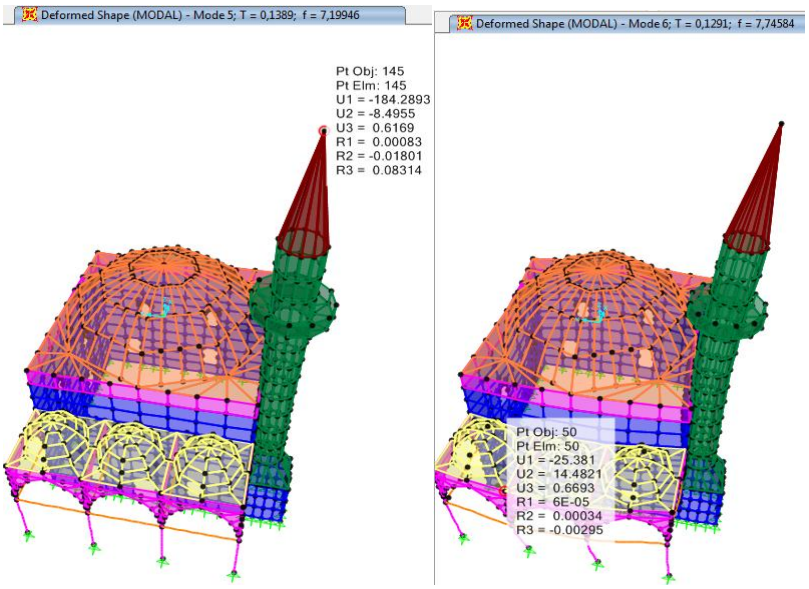
Şekil 7.88.'de yapının ilk 4 moduna ait x-y yönündeki yanal hareketi, şekil 7.88.'de ise yapının 5 ve 6. modundaki burkulma hareketi grafiklerde verilmiştir.

Tablo 7.10. Serbest Titreşim Peryotları ve Kütle Katılım Oranları (ilk 30 mod)

Serbest Titreşim Periyotları ve Kütle Dağılımı							
Mod	Period	Ux	Uy	Uz	Toplam Ux	Toplam Uy	Toplam Uz
MOD 1	0.526	0.028	0.000	0.000	0.028	0.000	0.000
MOD 2	0.490	0.000	0.030	0.000	0.028	0.030	0.000
MOD 3	0.168	0.700	0.007	0.000	0.730	0.037	0.000
MOD 4	0.161	0.005	0.690	0.000	0.740	0.730	0.000
MOD 5	0.139	0.001	0.000	0.000	0.740	0.730	0.000
MOD 6	0.129	0.003	0.006	0.000	0.740	0.740	0.001
MOD 7	0.124	0.000	0.001	0.000	0.740	0.740	0.001
MOD 8	0.112	0.003	0.001	0.000	0.740	0.740	0.001
MOD 9	0.099	0.001	0.000	0.015	0.740	0.740	0.016
MOD 10	0.096	0.000	0.002	0.000	0.740	0.740	0.016
MOD 11	0.092	0.001	0.000	0.006	0.740	0.740	0.022
MOD 12	0.088	0.000	0.000	0.007	0.750	0.740	0.029
MOD 13	0.084	0.002	0.007	0.000	0.750	0.750	0.029
MOD 14	0.081	0.003	0.004	0.005	0.750	0.750	0.035
MOD 15	0.076	0.009	0.006	0.150	0.760	0.760	0.180
MOD 16	0.075	0.070	0.001	0.027	0.830	0.760	0.210
MOD 17	0.074	0.000	0.074	0.002	0.830	0.830	0.210
MOD 18	0.069	0.001	0.000	0.042	0.830	0.830	0.250
MOD 19	0.068	0.003	0.000	0.031	0.830	0.830	0.280
MOD 20	0.063	0.000	0.000	0.002	0.830	0.830	0.290
MOD 21	0.061	0.000	0.000	0.000	0.830	0.830	0.290
MOD 22	0.057	0.000	0.002	0.008	0.830	0.830	0.290
MOD 23	0.056	0.001	0.001	0.009	0.830	0.840	0.300
MOD 24	0.056	0.000	0.000	0.002	0.830	0.840	0.310
MOD 25	0.055	0.013	0.001	0.000	0.850	0.840	0.310
MOD 26	0.055	0.002	0.001	0.024	0.850	0.840	0.330
MOD 27	0.054	0.001	0.001	0.093	0.850	0.840	0.420
MOD 28	0.053	0.000	0.007	0.035	0.850	0.850	0.460
MOD 29	0.052	0.000	0.008	0.008	0.850	0.850	0.470
MOD 30	0.051	0.002	0.000	0.008	0.850	0.860	0.470



Şekil 7.88. Sitti Şah Sultan Camii ilk dört moda ait grafikler (x-y yanal hareket)

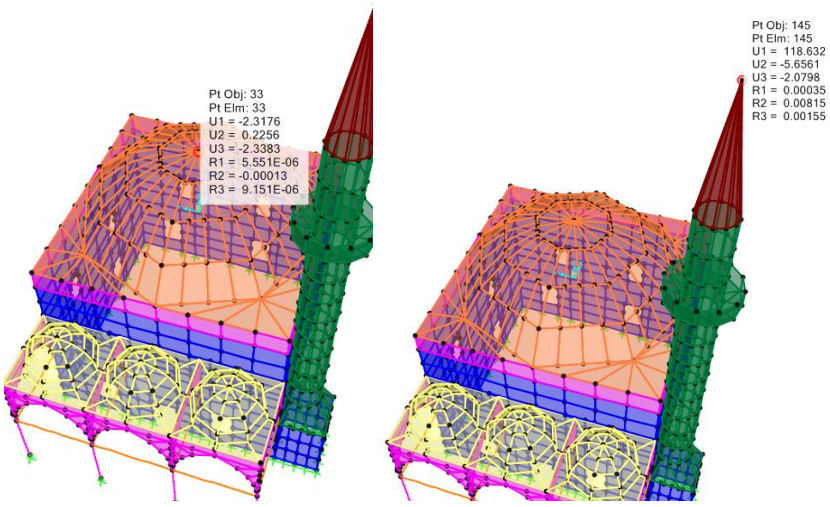


Şekil 7.89. Sitti Şah Sultan Camii 5. ve 6. moda ait grafikler (burulma hareket)

7.6.2.3. G+E_x ve G+E_y deprem yüklemeleri

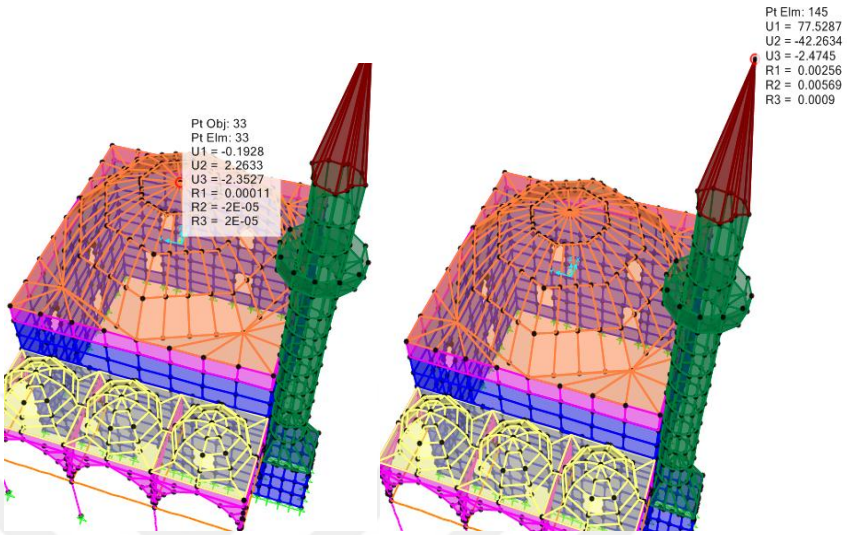
Ölü yükler ile X ve Y doğrultusunda etki eden, deprem yükü azaltma katsayısı (R=2) ile azaltılmış deprem yükleri altında modal spektral çözümleme sonucu yapıda oluşan şekil değiştirmeler Şekil 7.90.'da verilmiştir.

G+E_x deprem yüklemesi X yönünde minare 118.63 mm, Y yönünde 5.66 mm, Z yönünde 2.08 mm ve kubbede X yönünde 2.32 mm Y yönünde 0.22, Z yönünde 2.34 mm yanal ötelenme meydana getirmektedir. (Şekil 7.90.)



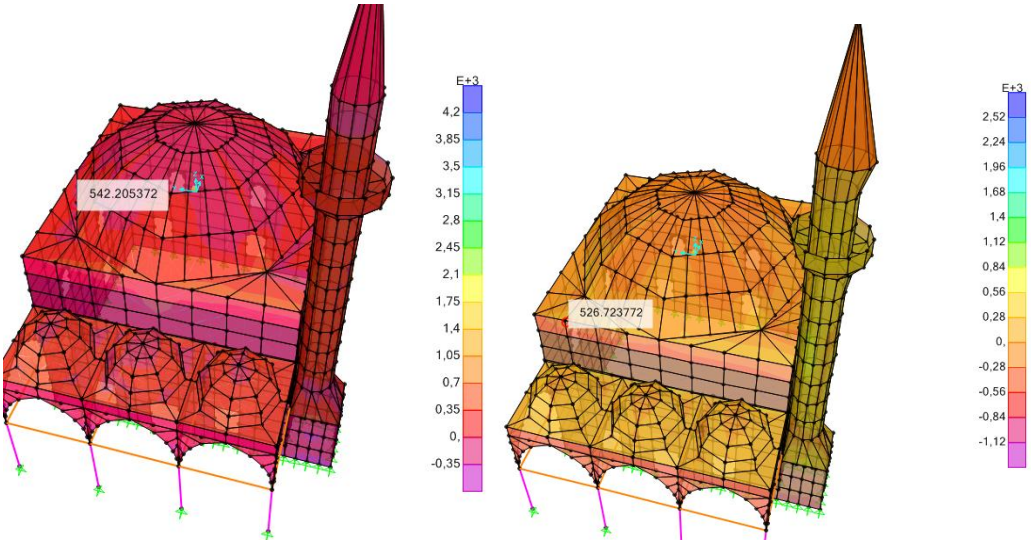
Şekil 7.90. Sitti Şah Sultan Cami G+Ex deprem yüklemeleri altındaki kubbenin ve minarenin yer değiştirmeleri(mm)

$G+E_y$ deprem yüklemesi. kubbede X yönünde 0.19 mm. Y yönünde 2.26 mm. Z yönünde 2.35 mm ve minarede X yönünde 77.53 mm Y yönünde 42.26. Z yönünde 2.47 mm yanal ötelenme meydana getirmektedir. (Şekil 7.90.)

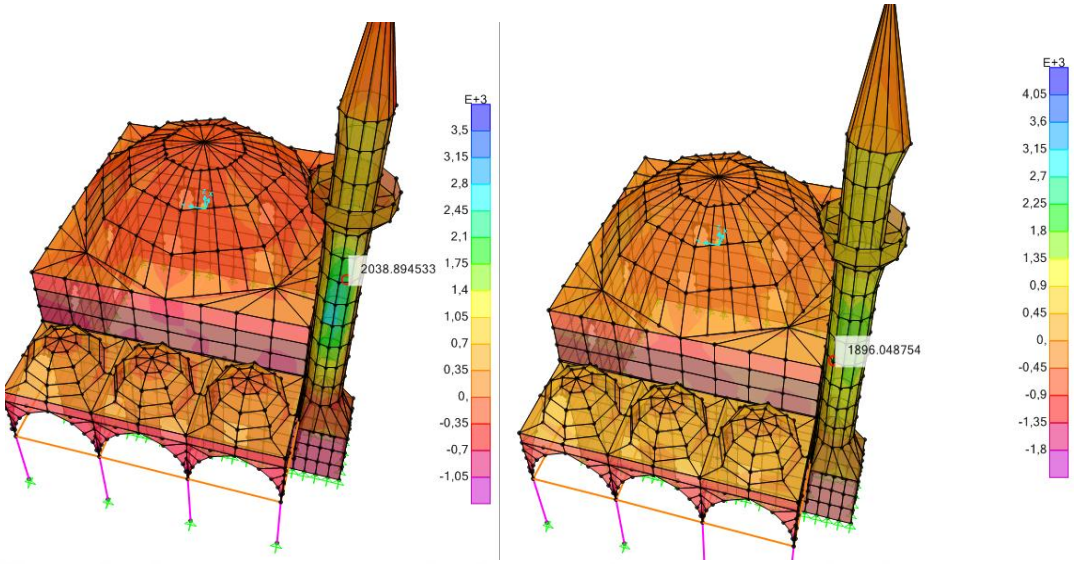


Şekil 7.91. Sitti Şah Sultan Cami G+Ey deprem yüklemeleri altındaki kubbenin ve Minarenin yer değiştirmeleri(mm)

Yapılan analizler sonucunda, yapının statik durumunda en çok zorlanan bölümlerinin üst pencere boşluklarının kenarları, kubbe ve kubbenin oturduğu beden duvarları, minarenin duvarla birleştiği noktalar ve minarenin duvarlarının olduğu tespit edilmiştir.



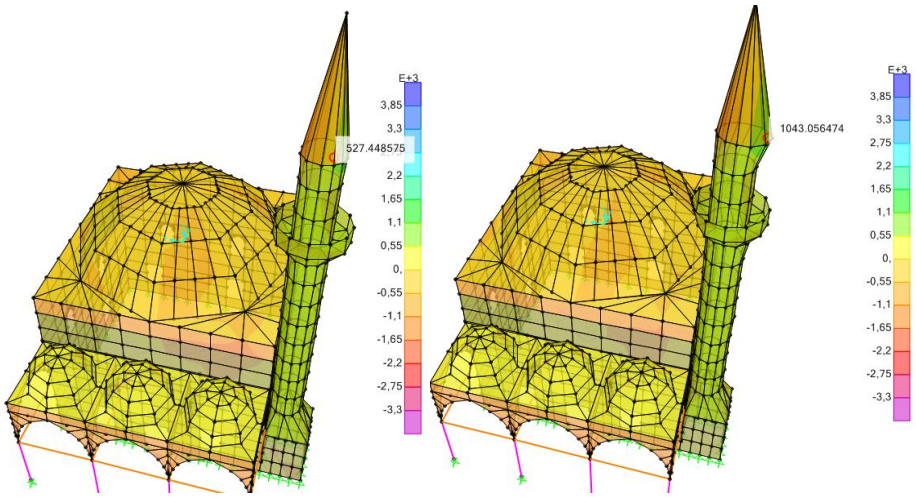
Şekil 7.92. Sitti Şah Sultan Cami G+Ex ve G+Ey deprem yüklemeleri altındaki S11 gerilmesi (kN/m^2)



Şekil 7.93. Sitti Şah Sultan Cami G+Ex ve G+Ey deprem yüklemeleri altındaki S22 gerilmesi (kN/m^2)

G+Ex ve G+E_y deprem yükleme durumunda yapıdaki S11 (Şekil 7.92.) ve S22 (Şekil 7.93.) gerilmelerinin elverişsiz olduğu bölgeler minare, kubbe ile duvar birleşim bölgeleri, pencere, kapı boşluklarının köşe noktaları ve minarenin duvarlarla birleştiği noktalarda olduğu görülmektedir. Yapıda oluşan en büyük basınç gerilmesi 1.8 MPa olarak hesaplanmıştır ve bu değer basınç emniyet gerilmesi olan 0.3 MPa değerine göre, oldukça fazla bir değer olduğu söylenebilir. Yapıda 4.2 MPa olarak tespit edilen çekme gerilmeleri, çekme emniyet gerilmesini aşmakta ve güçlendirme gerekmektedir.

Hesaplanan G+E_x ve G+E_y deprem yüklemeleri altındaki maksimum kayma gerilmesi 3.85 MPa olarak gerçekleşmiştir. (Şekil 7.94.) Bu değer 0.175 MPa olarak hesaplanan emniyetli kayma gerilmesi değerini aşmış durumdadır.



Şekil 7.94. Sitti Şah Sultan Cami G+Ex ve G+Ey deprem yüklemeleri altındaki S12 gerilmesi (kN/m^2)

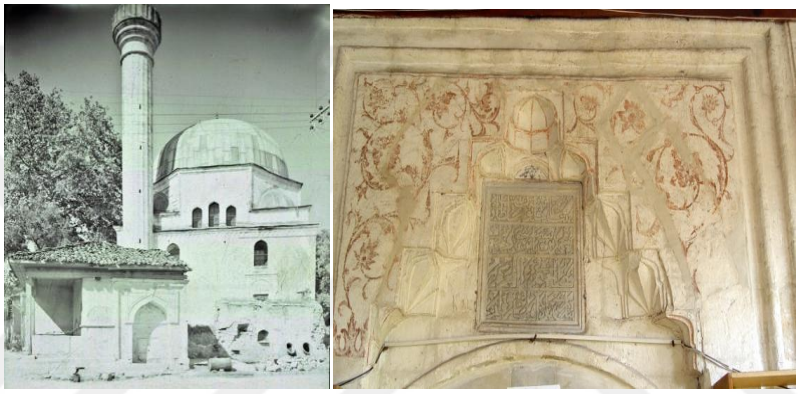
Yapının Ocak 2017 itibariyle mevcut durumu incelenmiş, özellikle yer yer beden duvarlarını oluşturan taşlarda dökülme ve ayrışmaların olduğu saptanmıştır. (Şekil 7.95.) Yapının sonlu elemanlar modelinde gerilmelerin emniyet gerilmesinden büyük çıktığı minare duvar birleşimlerinde, kubbenin beden duvarlarıyla birleştiği bölgelerde, pencere, kapı boşluklarında çatlaklar gözlenmiştir. Duvarlarda zemin oturmalarından kaynaklanan kılcal çatlaklar da mevcut. Tarihi caminin daha sonraki nesillere sağlam bir şekilde aktarılabilmesi için, binanın tetkiklerinin yapılması, çatlakların durumun incelenmesini tavsiye ederim. Bunun dışında, yıpranan taşlara bakım yapılması, boşalan derz aralarına uygun malzemeyle dolgu yapılması, binanın stabil durumunun devamı için olumlu olacaktır.



Şekil 7.95. Sitti Şah Sultan Cami Ocak 2017'ye ait güncel fotoğrafları

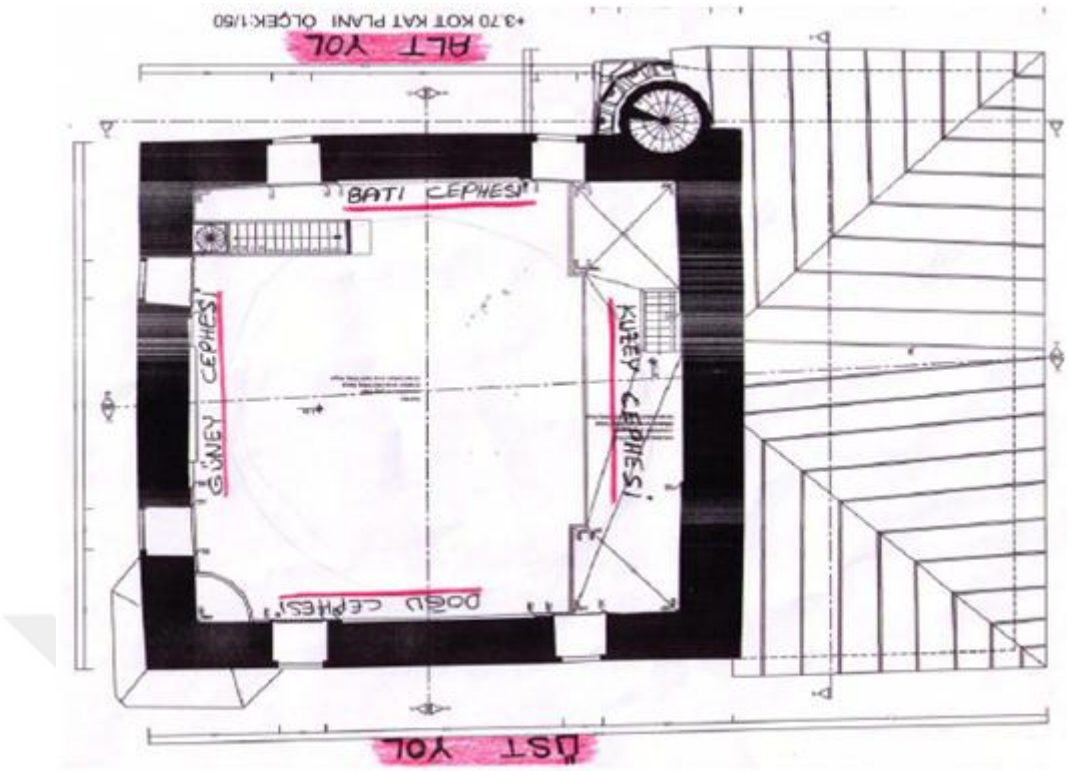
7.7. Ayşe Kadın Camii

Eski İstanbul yolu üzerinde, Düz kaldırım caddesinde yer alan cami doğudan batıya doğru eğimli bir arazi üzerindedir. Batı tarafı yola cephelidir. Cami küçük bir avlu tarafından çevrelenmiştir. Caminin batısında ve kuzey–batısında iki çeşme bulunmaktadır. Son cemaatten harime geçişi sağlayan, basık kemerin hemen üzerinde dört satırlık Arapça kitabenin Türkçe çevirisinde "873 yılı muharrem ayının başında tamamlanan (yapıyı) Şehinşah Bayezit Han oğlu Sultan Mehmet kızı Ayşe Hatun İnşa ettirdi." yazılıdır. Kitabesine göre yapı Çelebi Sultan Mehmed'in kızı Ayşe Hatun tarafından 1468 yılı temmuzunda inşa ettirilmiştir. (Şekil 7.96.)



Şekil 7.96. Ayşe Kadın Cami (1955)görünüşü ve kitabesi

Yapıda, kare planlı harimi örten kubbe, sekizgen planlı, oldukça yüksek bir kasnak üzerine oturmaktadır. Kubbeye geçiş tromplarla sağlanmıştır. Cami girişinin batı ucunda tek minaresi bulunmaktadır. Bu minare 1889 yılında, yıldırımdan etkilenmiş ve yarıya kadarı yıkıldığından yeniden yapılmıştır. 1751 yılında meydana gelen depremde yıkılan kubbe bugünkü şekliyle yenilenirken, girişin önüne kırma çatılı, ahşap son cemaat yeri eklenmiştir. Yapıda inşa malzemesi düzgün kesme taştır. Caminin kuzey cephesi hariç diğerleri aynı formda inşa edilmiş olup, bu üç cephede de, üç sıra halinde düzenlenen yedi pencere açılmıştır. Kıble duvarı, yukarı doğru daralan bodur bir payanda ile desteklenmiştir. Son cemaat kısmı kırma çatı ile örtülü camekânlı ve ahşaptır. Son cemaatın doğu duvarı düzgün kesme taştır. Kuzey duvarı ahşaptır. Dikdörtgen formlu büyük boyutlu dört pencere açıklığı bulunmaktadır. Pencereler giyotin pencere şeklindedir. Son cemaate giriş kapısı dikdörtgen formludur. Harimin kuzey cephesinde iki pencere, pencerelerin ortasında bir mihrabiye yer almaktadır. Şekil 7.97.'da yapının röleve planı verilmiştir.



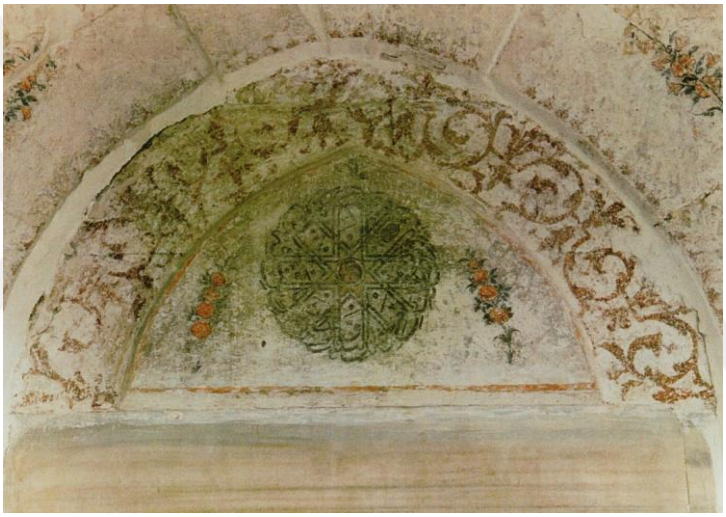
Şekil 7.97. Ayşe Kadın Cami planı

Kapı ise kuzey cephenin batı tarafındadır. Pencereler dikdörtgen formlu olup sivri kemerli alınlığa sahiptir. Alınlık kemeri lento üzerinde başlamaktadır. Alınlık kemeri üzerinde bir sıra taş ile oluşturulmuş sağır kemer izlenimi verilmiştir. Kemer aynalığında yıldız motifli geometrik geçmeli rozet şeklindeki hattın büyük bir kısmı yok olmuştur. Hattın iki yanında bir daldan çıkan dört adet gül resmedilmiştir.



Şekil 7.98. Ayşe Kadın Caminin son cemaat kısmı pencere kemer alınlığı (2005)

Kemerin dışında yer alan ince bir sıra kalem işi bulunmaktadır. Daha dışta ise kemerin her iki yanında yine bir kökten çıkan çiçek motifi resmedilmiştir. Kemer tepeliğine konan "Muhammed" yazılı levha çok geç bir döneme ait olup özelliksizdir.(Şekil 7.98.) Kemer ve pencere açıklığını içine alacak şekilde çerçeve oluşturan dikdörtgen silme içe doğru eğimlidir. Ancak bu silme oldukça özensiz olup kemerin üst kısmını kesmektedir. (Şekil 7.99.) İki pencere arasında yer alan mihrabiye altı köşeli bir nişe sahiptir. Niş kavsarası beş sıra mukarnaslıdır. Mukarnas üstünde ortası çiçekli iki rozet bulunmaktadır. Mihrap nişini ve rozetleri çevreleyen bordür birbirine dolanmış hancer yaprağı şeklindedir. Basit profilli iki silmeden sonra yer alan tepelik, hasır şeklinde geçerek birbirine bağlanan palmetlerden oluşmuştur.



Şekil 7.99. Ayşe Kadın Caminin son cemaat kısmı pencere üstü (2005)

Harime girişi sağlayan kapı basık kemerli olup kemer ve lentoları mermerdir. Kemerin üstünde inşa kitabesi yer alır. İnşa kitabesi basık ve çok nitelikli olmayan bir kavsara içindedir. Kapı kemerini ve kavsarasını çevreleyen basit profilli iki silme kuşak dikdörtgen bir form oluşturur. Dikdörtgen kuşak ve kavsara arasındaki köşeliklerde kıvrık dallar resmedilmiştir. Kare planlı harim kubbelidir. Kubbeye sivri kemerli tpomplarla geçilmiştir. Tromp kemerleri konsol izlenimi veren basit silmelerle nihayetlenir. Trompların alt ortasında duvar köşelerinde üç sıra mukarnas yer almaktadır. Tromplar birbirine sağır kemerlerle bağlanmıştır.

Güney cephenin ortasında yer alan taş mihrabın nişi dikdörtgen kesitlidir. Mihrap niş duvarında sivri kemerli ikinci bir nişle derinlik kazandırılmıştır. Mihrap nişi altı sıra mukarnas kavsaralıdır. Mihrap nişinin iki yanında yer alan sütünceler yarım silindir şeklindedir ve mukarnaslı başlıkları vardır. Mihrap nişini çevreleyen yuvarlak profilli silmenin üstünde yer alan metal levha sonradan konmuş olmalıdır. Bu levhayı da içine alacak şekilde mihrap nişini çevreleyen basit profiller zencirek motifli bordürle son bulur. Mihrap tepeliği iki sıra palmetden oluşan dendan şeklindedir. (Şekil 7.100)



Şekil 7.100. Ayşe Kadın Caminin son cemaat kısmı mihrabiyesi (2005)

Kuzeyde yer alan ahşap kadınlar mahfeli dört ahşap ayağa oturmaktadır. Tornalı ahşap korkulukları vardır. Minber ahşaptır. Üçgen aynalık çıkıntı yapmıştır. Sade korkulukludur. Minberin kapısı "S" kıvrımlarla taçlandırılmıştır. Minberin köşk kısmı sepet kulpu kemerli olup üst kısmı ise testere dişli saçaklı konik külahlıdır. Harimin güney-doğu batı cephesindeki pencere düzenlemesi aynıdır. Alt pencereler dikdörtgen formlu dıştan kemer alınlıklı ve dikdörtgen şeklinde taş silme çerçevelidir. Pencereler içten PVC'dir. Cephenin üstünde yer alan sivri kemerli pencereler alçı dışlıklıdır. Üstte yer alan üç pencerenin ortasındaki daha büyüktür. Bu pencerelerde alçı dışlıklıdır. Yapıda orta pencerelerin üst hizasında ve trompların bulunduğu üst kısımda ve kubbe eteğinde olmak üzere saçak yapılmıştır.

Şekil 7.101'de Ayşe Kadın Caminin restorasyon öncesi durumunu gösteren fotoğraflar verilmiştir.



Şekil 7.101. Ayşe Kadın Caminin onarım öncesi fotoğrafları (2005)

Alt saçak altında küçük kemerli bir bordür bulunmaktadır. Harimin kuzey cephesinde devam eden saçak, kalkan duvarı gibi hafif bir yükseltiden sonra yer almıştır. Kuzey-doğuda bu yükselti kadar köşede çokgen kesitli küçük bir konsol yer almaktadır. Kuzey batıda ise bu yükselti küçük lale başlıklı bir konsol şeklinde yapılmıştır. Bu cephede saçak altında dört adet demir kenet bulunmaktadır. Ayrıca mevcut çatının duvarla birleştiği yerin biraz üst seviyesinde bulunan iz daha önce yapılmış olan çatıya ait olmalıdır. (Bir dönem Edirne'de birçok caminin giriş kısmına sundurma yapılmıştır. Bu sundurmaların izleri birçoğunda halen mevcuttur.)

Kuzey-batıda yer alan minare taştır. Kaidesi yarım çokgen kesitli ve altı köşelidir. (Şekil 102.) Her bir yüzeyde dıştan dikdörtgen şekilli içte ise Bursa Kemerli iki yüzey kaideye derinlik kazandırmaktadır. Pabuç kısmının yukarıya doğru daralan paralel kenar şeklindeki yüzeylerinden her birinde sade bir rozet vardır. Yarım silindir profilli bilezikle son bulan pabuçluk üzerinde yer alan gövde içbükey yivlidir. Şerefe sade şebekelidir. Şerefe altı profilli iki sıra bileziklidir. Son cemaat kısmı ahşap duvarları kuzey-batıda minare kaide ve pabuçluğuna oturmaktadır. Minare girişi son cemaat kısmından sağlanmaktadır. Harimin güney cephesinin doğu köşesinde bulunan ve onarımda eklenen payanda yukarı doğru daralmaktadır



Şekil 7.102. Ayşe Kadın Caminin minare ve pencere hasar detayları (2005)

7.7.1. Yapının restorasyon öncesi mimari özellikleri

Bu bölümde verilen bilgiler, yapının onarımından önce, 2008 yılında Edirne Vakıflar Bölge Müdürlüğü Ayşe Kadın Cami için hazırlanan rölöve, restitüsyon, restorasyon raporlarından alınmıştır. Şekil 7.103.'de Ayşe Kadın Caminin 1955 ve 2011 yıllarına ait görünüşleri verilmiştir.



1955 2011

Şekil 7.103. Ayşe Kadın Caminin 1955 ve 2011 yıllarına ait görünüşleri

Ayşe Kadın Caminin harim kubbesi ile minaresinin 1752 yılındaki depremde yıkıldığını belirten kaynaklar bulunmaktadır. Yapı bu tarihten sonra onarılmıştır. Minarenin pabuçtan sonrasının 1307 (1889 M) yılında isabet eden bir yıldırım ile yarısından fazlasının yıkıldığı dört sene sonra boğumlu taş külah yapıldığı belirtilmektedir. Ayşe Kadın Cami Vakıflar Genel Müdürlüğü tarafından 1954-1958 yılları arasında onarılmıştır. (Şekil 7.104.) Bu onarımda minare eski haline

döndürülerek külahlı olarak yeniden yapılmıştır. Cami kare planlı olup kuzeyde kapalı bir son cemaat kısmı ile kuzey batıda bir minaresi bulunmaktadır. İnşa malzemesi, beden duvarları ve minarede kesme taştır. Son cemaat kısmı ahşaptır. Kubbe ve minare külahı kurşundur.



Şekil 7.104. Süleyman Paşa Cami 1954 yılı

Restitüsyon projesi hazırlanırken, yapının ilk inşa edildiği tarih olan ve Ayşe Kadın Caminin kitabesinde belirtilen 1468 tarihi göz önüne alınmış. Edirne'de bu dönem özelikleri (XV. Yüzyıl) incelenerek, tespit edilen ortak özelliklerden yararlanılmıştır. Bunun için de Edirne'deki tek mekânlı kubbeli camiler incelenmiştir. Şah melek Paşa Cami (1429) Saruca Paşa Cami (1434) Sitti Sultan Cami (1484) Kasım Paşa Cami (1478) Şehabettin Paşa Cami (1436- 1437) gibi yapılar araştırılmış yapıların mimari özeliklerinin benzerliği ortaya çıkmıştır. (Plan şemaları, örtü sistemleri, cephe düzenleri gibi) Caminin üst örtüsü ve cephe düzenlemesi dönem özelliklerinden yararlanarak yapılmıştır. Ayşe Kadın Caminin mevcut kasnağı ve kubbesinin bu dönem camilerine göre oldukça yüksek olması, geçirdiği depremler ve yapılan onarımlar ile değiştiği düşünüldüğü için yukarıda belirtilen camilerin üst örtüleri ile benzerlik teşkil edecek şekilde hazırlanmıştır.

Mevcut son cemaatin ahşap duvarlarının minare petek ve kaidesine oturmasının, bu kadar işçilikli bir minare kaidesinde uygun olmayacağını göstermektedir. Bir dönem Edirne'de birçok caminin giriş kısmına sundurma yapılmış ve ahşap çatı ile örtülmüştür. (Edirne Sitti Hatun Cami, Kasım Paşa Cami, Eski Cami yan girişi gibi) Bu uygulama

kuzey cephede yer alan çatı izinin de XV yüzyıla ait olamayacağını düşünmemize sebep olmuştur. Caminin beden duvarlarında, bahçede bulunan ağacın köklerinden ve Balkan Savaşı'ndaki tahribat nedeniyle derin çatlaklar ve bozulmalar meydana gelmiştir. (Şekil 7.105.)



Şekil 7.105. Ayşe Kadın Caminin bahçesinde bulunan ağacın köklerini temele kadar uzanıyor

Caminin özellikle doğu cephesinde çatlaklar mevcuttur. Bu kapsamda caminin projeleri 2006 yılında hazırlanmaya başlanmıştır. Ancak camideki statik problemlerin tespitine yönelik cami kubbesi askıya alınarak, içteki çatlaklara hassas ölçüm cihazları yerleştirilmiş, zemin sondajları yapılmış ve bu kapsamda 2 yıl yapıdaki hareketler izlenmiştir. (Şekil 7.106.) Bu ölçümlerden cami içinde bulunan çatlakların genelde zamanla az da olsa arttığı, bazılarında yalnızca mevsimsel değişikliklerin neden olabileceği küçük artışlar/azalmalar gözlenmiştir. Düzlem dışı yer değiştirmeler daha belirgin olup cami beden duvarlarının bina dışına doğru devam eden bir hareketinden söz etmek mümkündür. Yapılan ölçümlerde bu yer değiştirme farklarının 1 yıl süre içinde en çok 11 mm'ye ulaştığı anlaşılmıştır.



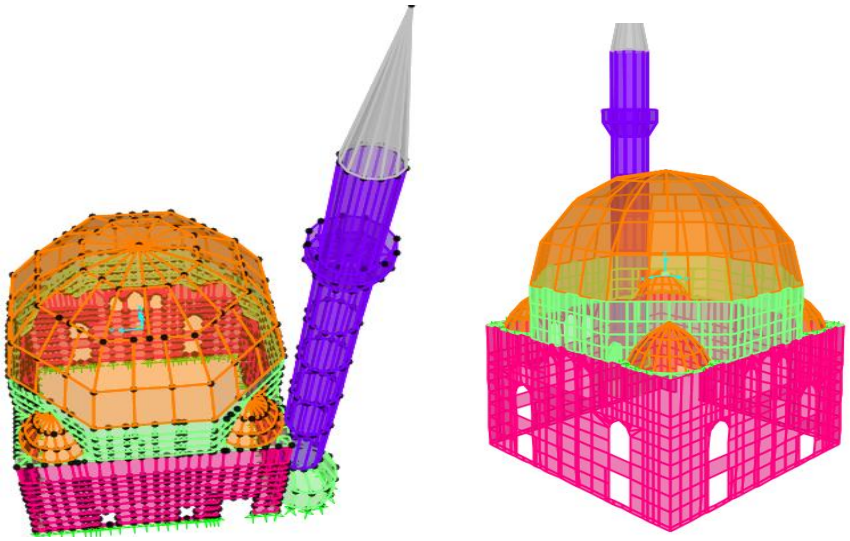
Şekil 7.106. Ayşe Kadın Camisinde çatlak ölçümleri

7.7.2. Yapısal model ve analizler

Modellenme amacıyla SAP 2000 V18 sonlu eleman programı kullanılmıştır. Yapının duvarları esas olarak en az üç ana malzemeden oluşmaktadır. Taş, tuğla, harç (sıva) ve çelik gergi. Ancak modellemede yapının genel davranışı söz konusu olduğu için taşıyıcı elemanların tek bir malzemeden oluştuğu kabul edilmiş ve ilgili birim hacim ağırlığı, elastisite modülü ve Poisson oranı kullanılmıştır.

Yapının röleve projesi esas alınarak, sayısal modelde duvar kalınlığı kubbenin bitiminden 3.1 m altına kadar 0.70 m, zemine kadar 1.25 m, ana kubbenin ve yarım kubbelerin kalınlığı 0.60 m, olarak tanımlanmıştır. Duvarın ve minarenin malzemesi taş, gergilerin malzemesi çelik ve kubbelerin malzemesi de tuğla olarak, malzeme özellikleri tanımlanmıştır. Yapının taşıyıcı elemanları shell olarak modellenmiştir. Hazırlanan yapı modelinde 1711 adet düğüm noktası kullanarak 1636 adet shell (alan) oluşturulmuştur. Zemine aktarılan noktalarda 111 adet sabit mesnet tanımlanmıştır. Şekil 7.107. Ayşe Kadın Caminin modeli verilmiştir.

Elde edilen analiz sonuçlarının, her bir düğüm noktasında ve her bir elemanda verilmesi oldukça zor olması nedeniyle elde edilen sonuçlar renkli gerilme dağılımları ve grafiklerle verilmiştir.



Şekil 7.107. Ayşe Kadın Camii yapısal model görünüşü

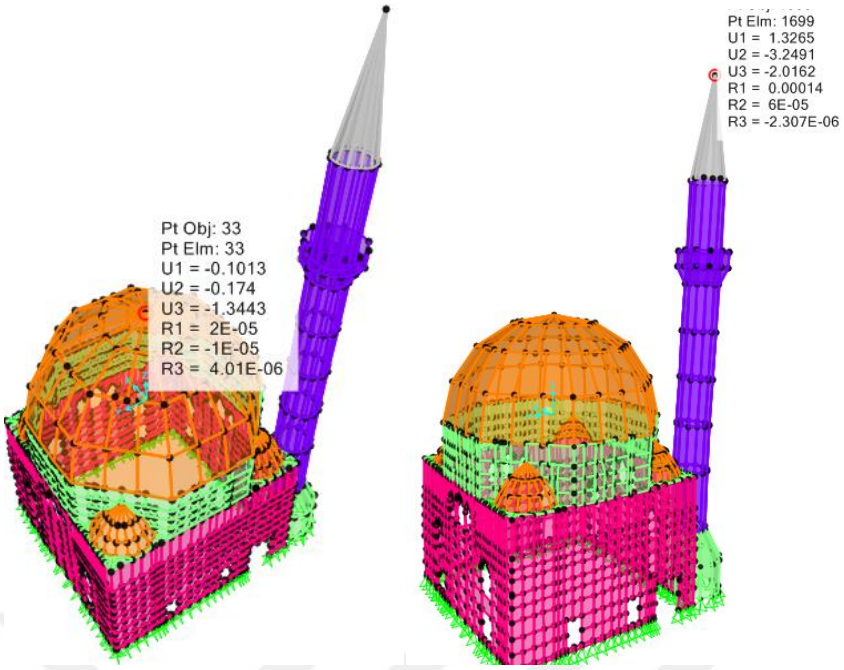
7.7.2.1. Ölü yükler altında yapının analizi

Yapı malzemelerinin birim hacim ağırlığı (γ), elastisite modülü (*E*) ve Poisson oranı (ν) Tablo 7.2.'de hesaplanan değerler kullanılarak, yapının ağırlık etkisi göz önüne alınmıştır.

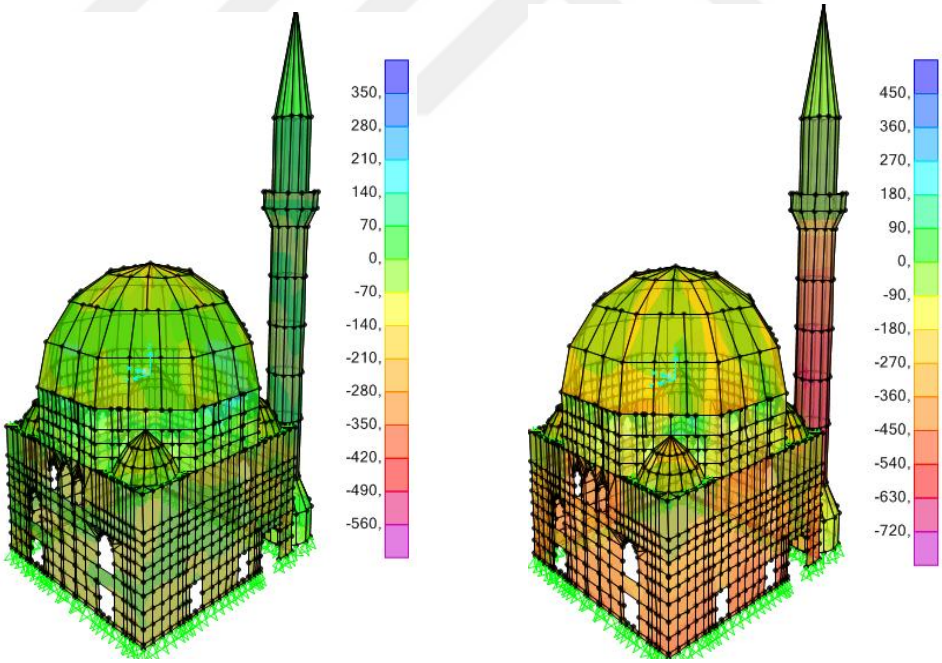
Yapının ağırlığı G= 15354.067 kN'dur.

Ayşe Kadın Cami'nin üç boyutlu sonlu eleman modelinin kendi ağırlığı altında yapılan statik analizi neticesinde yapıdaki muhtemel gerilme dağılımlarına, şekil değiştirme değerlerine ulaşılmış ve çatlak oluşabilecek kritik yerler tespit edilmiştir.

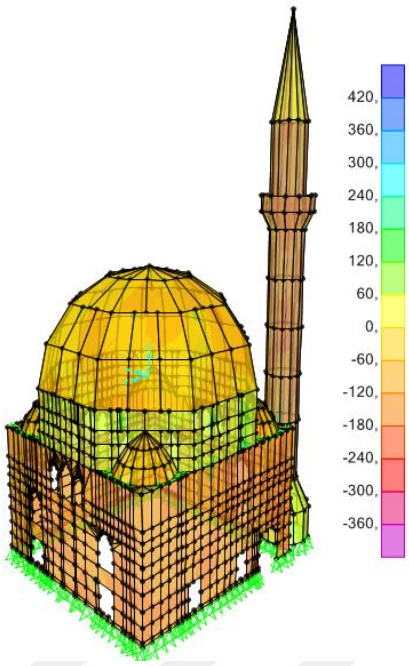
G yükü altında, yapıdaki en büyük yer değiştirme, kubbenin tepe noktasında düşey doğrultuda yaklaşık 1.3 mm olmaktadır. Bu analizde R=2 değeri kullanıldığı için elastik yer değiştirme 1.3 mm×2= 2.6 mm olarak hesaplanmalıdır. Minarenin tepe noktasında yanal deformasyon yaklaşık 2.02 mm olmaktadır. Bu analizde R=2 değeri kullanıldığı için elastik yer değiştirme 2.02 mm×2= 4.04 mm olarak hesaplanmalıdır. (Şekil 7.108.)



Şekil 7.108. Ayşe Kadın Camiinin G yüklemesi altında minare ve kubbede oluşan deformasyonlar



Şekil 7.109. Ayşe Kadın Camii G yüklemesi altında S11 ve S22 gerilmeleri (kN/m^2)



Şekil 7.110. Ayşe Kadın Camii G yüklemesi altında S12 gerilmeleri (kN/m^2)

Yapının davranışını, etki eden G yüküne göre ayrı ayrı hazırlanan S22 ve S11 (çekme ve basınç) gerilme değerleri grafiği (Şekil 7.109.) ile S12(kayma) gerilme değerleri grafiği (Şekil 7.110.) incelendiğinde, hesaplanan en elverişsiz basınç gerilmeleri 0.72 MPa ve en elverişsiz çekme gerilmeleri de 0.45 MPa olarak tespit edilmiştir. Her iki değerde Tablo 7.5'de verilen taş duvarların emniyet gerilme değerlerini aşmıştır. S12 grafiğinden tespit edilen maksimum kayma gerilmesi 0.420 MPa'dır. Bu değer de emniyetli kayma gerilmesi değerinin üzerindedir.

Sonuç olarak, G yüklemesi altında, yapısal analizlerde elde edilen etkiler incelendiğinde, yapının taşıyıcı duvarlarında, Türk Deprem Yönetmeliğinde yığma yapılar için önerilen basınç çekme ve kayma gerilmesi değerlerinin aşıldığı gözlenmiştir.

7.7.2.2. Modal çözümleme

Spekral sismik çözümde sabit spektral katsayı S(T)= 2.5 ve etkili deprem katsayısı Ao= 0.1 kabul edilmiştir. Deprem etkilerinin belirlenmesinde mod etkilerinin birleşimi yöntemi benimsenmiş ve tam karesel birleştirme yöntemi kullanılarak, yapının düşey ve deprem etkileri altında elastik davranışını elde etmek amaçlanmıştır. Bütün

periyotlarda deprem yükü azaltma katsayısı R= 2 kullanılarak göz önüne alınmıştır. Modal çözümleme ile yapı sisteminin kütle ve rijitlik matrisleri kullanılarak, mod şekilleri ve periyotlar elde edilmektedir.

Depreme dayanıklı yapı tasarımı çerçevesinde DBYBHY 2007'ye göre yapıların dinamik analizi için hesaba katılacak yeterli titreşim mod sayısı, her bir mod için hesaplanan etkin kütlelerin toplamının bina toplam kütlesinin %90'ından daha az olmaması kuralına göre belirlenmektedir. Modların süperpozisyonu gerçekleştirilirken istatistiksel yöntemlerden olan Kareleri Toplamının Karekökü (SRSS) yöntemi kullanılmıştır.

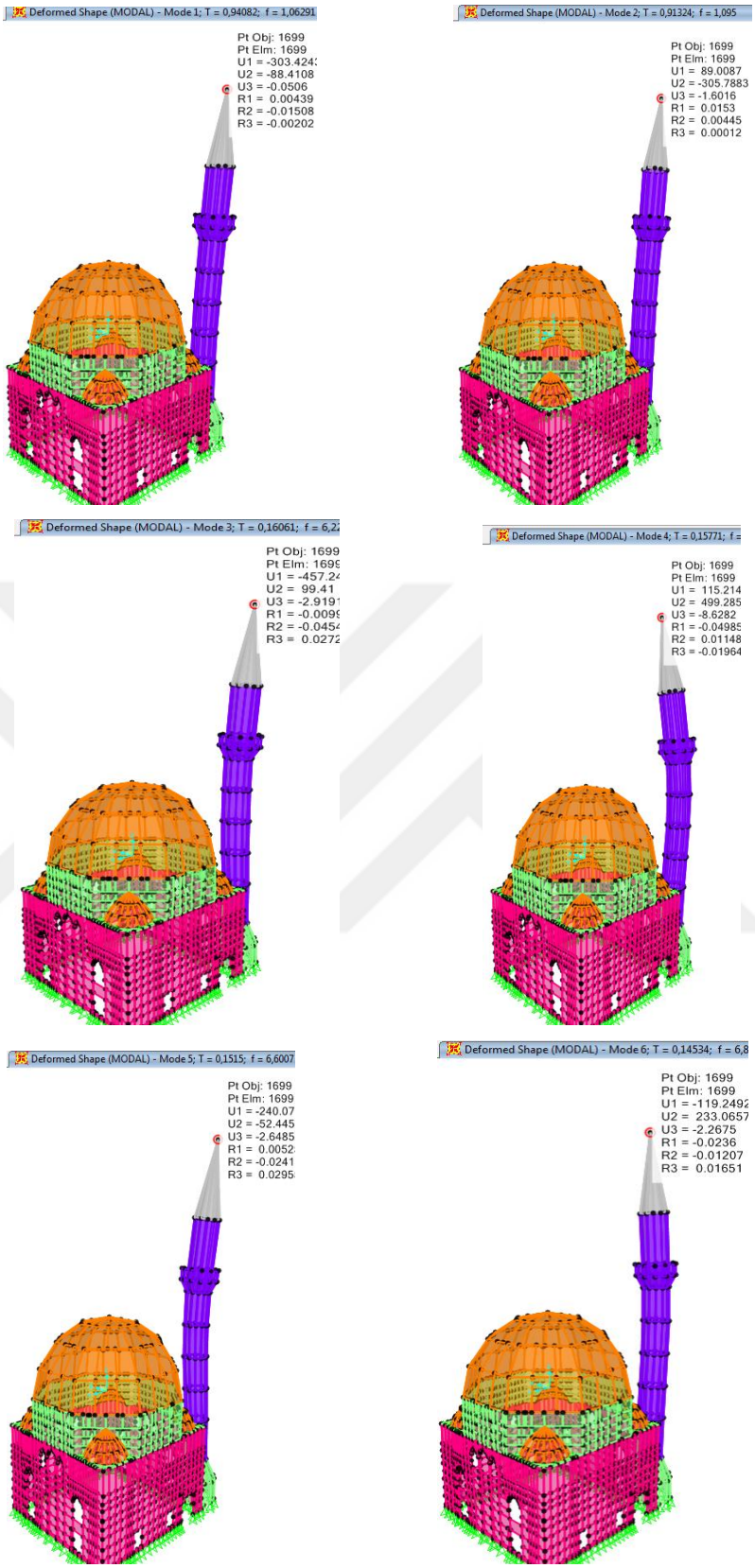
Ayşe Kadın Cami sonlu eleman modelinin SAP 2000 V18 programında modal çözümlemesi yapılmıştır. Hesaplanan etkin kütlelerin toplamının, bina toplam kütlesinin %90'ından az olmamasının sağlanabilmesi için 50 tane mod şekli gerektiği görülmüştür. Ana kütlenin X doğrultusunda yanal yer değiştirme hareketini gösteren beşinci modun kütle katılım oranı %37, Y doğrultusunda yanal yer değiştirme hareketini gösteren altıncı modun kütle katılım oranı ise %37 olarak hesaplanmıştır. Yapı simetrik olduğu için kütle katılım oranları hemen hemen aynı değeri vermektedir.

Zaten elde edilen en yüksek doğal titreşim periyodu 0.95'dir ve bina oldukça rijittir. İlk 30 moda ait değerler Tablo 7.11'de verilmiştir.

Şekil 7.111.'de Ayşe Kadın Caminin ilk 6 modu verilmiştir.

Tablo 7.11 Serbest Titreşim Peryotları ve Kütle Katılım Oranları (ilk 30 mod)

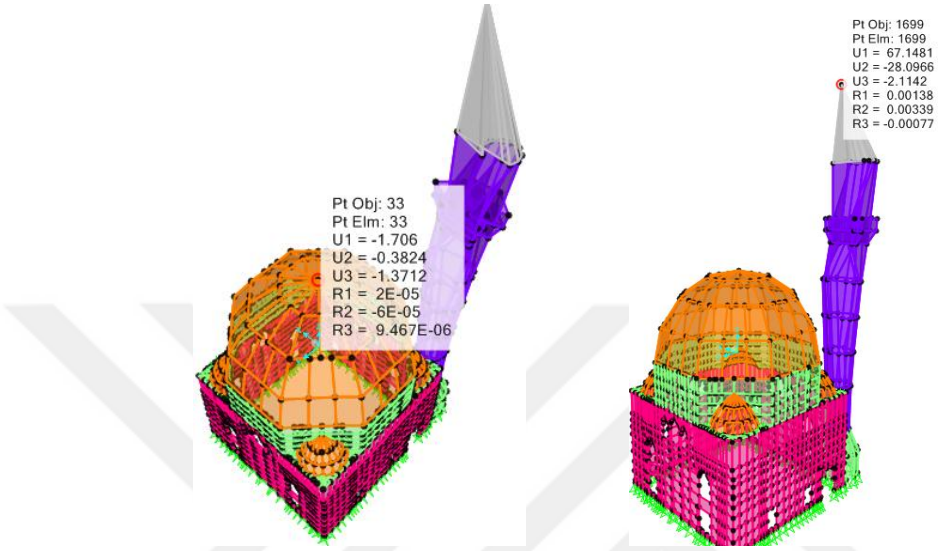
Serbest Titreşim Periyotları ve Kütle Katılım Oranı							
Mod	Periot	Ux	Uy	Uz	Toplam Ux	Toplam Uy	Toplam Uz
Mod 1	0.941	0.032	0.000	0.000	0.032	0.000	0.000
Mod 2	0.913	0.000	0.032	0.000	0.033	0.033	0.000
Mod 3	0.161	0.207	0.030	0.000	0.240	0.062	0.000
Mod 4	0.158	0.012	0.141	0.000	0.252	0.204	0.000
Mod 5	0.151	0.365	0.067	0.000	0.617	0.271	0.000
Mod 6	0.145	0.037	0.367	0.000	0.654	0.638	0.000
Mod 7	0.129	0.001	0.005	0.000	0.655	0.643	0.000
Mod 8	0.124	0.005	0.006	0.000	0.660	0.649	0.000
Mod 9	0.084	0.004	0.004	0.003	0.664	0.653	0.003
Mod 10	0.083	0.001	0.001	0.000	0.666	0.654	0.003
Mod 11	0.081	0.001	0.007	0.000	0.667	0.661	0.003
Mod 12	0.081	0.000	0.001	0.007	0.667	0.661	0.010
Mod 13	0.077	0.000	0.000	0.055	0.667	0.662	0.065
Mod 14	0.075	0.000	0.000	0.002	0.667	0.662	0.067
Mod 15	0.067	0.045	0.009	0.010	0.712	0.672	0.077
Mod 16	0.065	0.003	0.010	0.004	0.715	0.682	0.081
Mod 17	0.063	0.018	0.121	0.002	0.733	0.803	0.083
Mod 18	0.061	0.007	0.035	0.006	0.740	0.838	0.089
Mod 19	0.060	0.085	0.005	0.002	0.825	0.844	0.092
Mod 20	0.056	0.005	0.000	0.315	0.830	0.844	0.406
Mod 21	0.053	0.000	0.002	0.018	0.830	0.846	0.425
Mod 22	0.052	0.002	0.000	0.005	0.832	0.846	0.430
Mod 23	0.046	0.000	0.000	0.000	0.832	0.846	0.430
Mod 24	0.045	0.000	0.000	0.013	0.832	0.846	0.443
Mod 25	0.044	0.001	0.000	0.001	0.833	0.847	0.445
Mod 26	0.043	0.000	0.003	0.000	0.833	0.849	0.445
Mod 27	0.043	0.001	0.000	0.000	0.834	0.849	0.445
Mod 28	0.041	0.000	0.000	0.001	0.834	0.849	0.445
Mod 29	0.040	0.002	0.003	0.005	0.836	0.853	0.451
Mod 30	0.040	0.006	0.004	0.005	0.842	0.856	0.456



Şekil 7.111. Ayşe Kadın Camii ilk altı moda ait grafikler

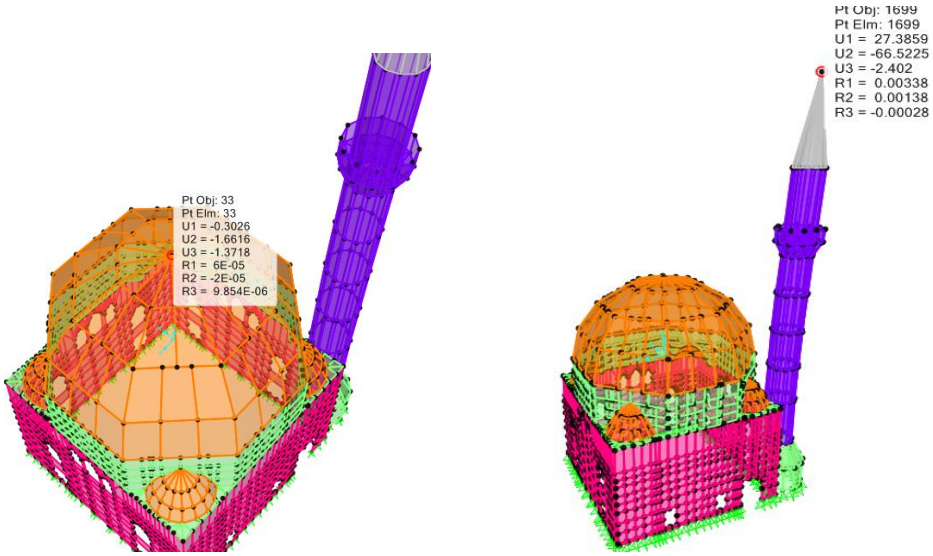
7.7.2.3. $G+E_x$ ve $G+E_y$ deprem yüklemeleri

Ölü yükler ile X ve Y doğrultusunda etki eden, deprem yükü azaltma katsayısı (R=2) ile azaltılmış deprem yükleri altında modal spektral çözümleme sonucu yapıda oluşan şekil değiştirmeler verilmiştir.



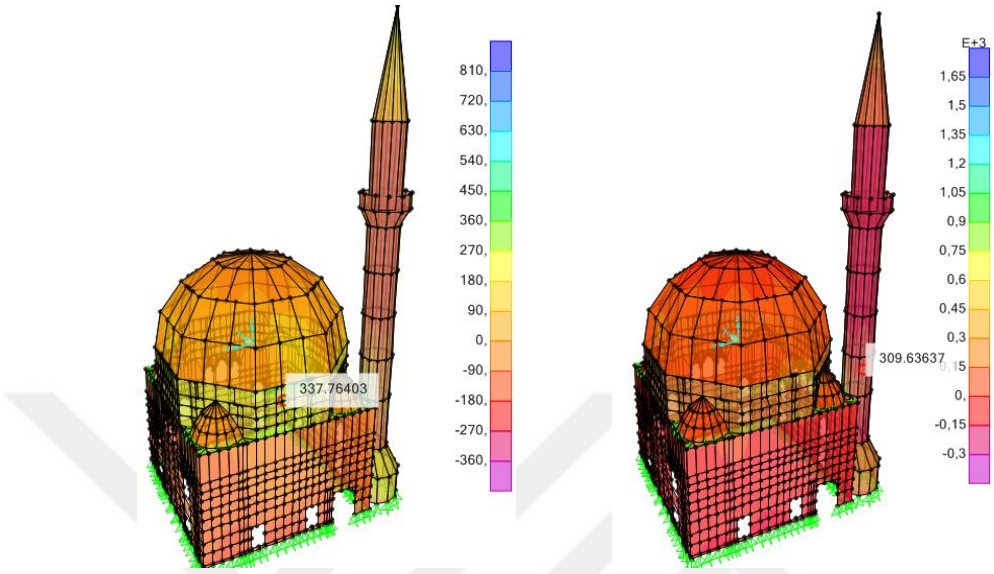
Şekil 7.112. Ayşe Kadın Camii $G+E_x$ deprem yüklemeleri altındaki kubbenin yer değiştirmeleri(mm)

$G+E_x$ deprem yüklemesi X yönünde kubbe 1.71 mm, Y yönünde 0.38 mm, Z yönünde 1.37 mm ve minarede X yönünde 67.15 mm Y yönünde 28.10, Z yönünde 2.12 mm yanal ötelenme meydana getirmektedir. (Şekil 7.112.)

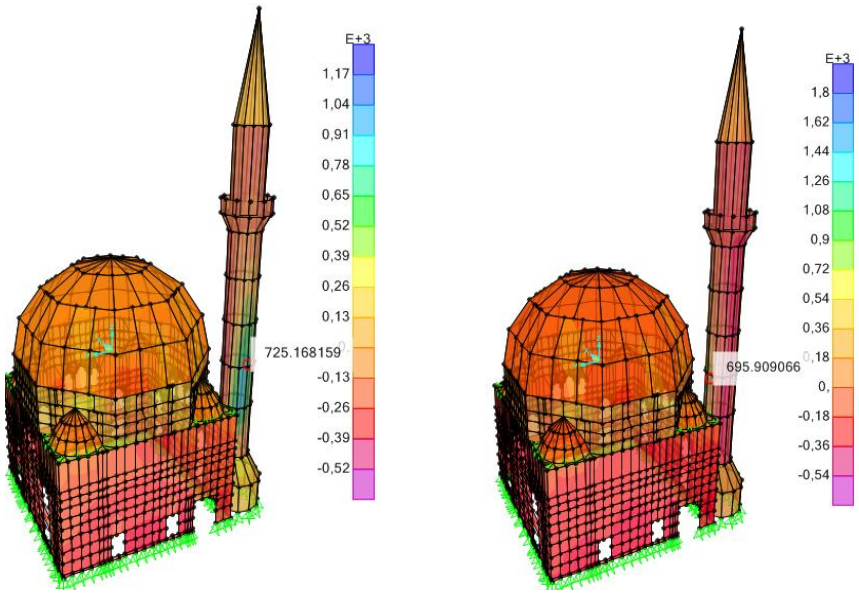


Şekil 7.113. Ayşe Kadın Cami $G+E_y$ deprem yüklemeleri altındaki kubbenin yer değiştirmeleri(mm)

$G+E_y$ yüklemesi X yönünde minare 27.39 mm, Y yönünde 66.52 mm, Z yönünde 2.402 mm ve kubbede X yönünde 0.30 mm, Y yönünde 1.66, Z yönünde 1.37 mm yanal ötelenme meydana getirmektedir. (Şekil 7.113.)



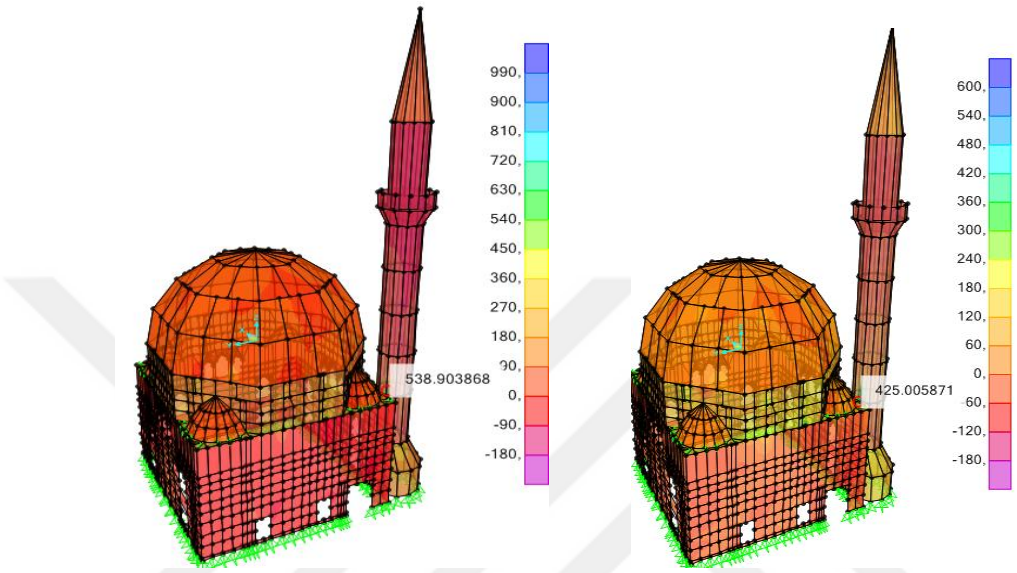
Şekil 7.114. Ayşe Kadın Cami $G+E_x$ ve $G+E_y$ deprem yüklemeleri altındaki S11 gerilmesi (kN/m^2)



Şekil 7.115. Ayşe Kadın Cami $G+E_x$ ve $G+E_y$ deprem yüklemeleri altındaki S22 gerilmesi (kN/m^2)

$G+Ex$ ve $G+E_y$ deprem yükleme durumunda yapıdaki S11 (Şekil 7.114.) ve S22 (Şekil 7.115.) gerilmelerinin elverişsiz olduğu bölgeler kubbe ile duvar birleşim

bölgeleri ve pencere, kapı boşluklarının köşe noktalarında olduğu görülmektedir. Yapıda oluşan en büyük basınç gerilmesi 0.520 MPa olarak hesaplanmıştır ve bu değer basınç emniyet gerilmesi olan 0.3 MPa değerini aşmaktadır. Yapıda 1.8 MPa olarak tespit edilen çekme gerilmeleri, çekme emniyet gerilmesini aşmakta ve güçlendirme gerekmektedir.



Şekil 7.116. Ayşe Kadın Cami G+E_x ve G+E_y deprem yüklemeleri altındaki S12 gerilmesi (kN/m^2)

Hesaplanan G+E_x ve G+E_y deprem yüklemesinde maksimum kayma gerilmesi 0.99 MPa olarak gerçekleşmiştir. Bu değer 0.175 MPa olarak hesaplanan emniyetli kayma gerilmesi değerini aşmış durumdadır. (Şekil 7.116.)

Yapılan analizler sonucunda, yapının statik durumunda en çok zorlanan bölümlerinin üst pencere boşluklarının kenarları, kubbe ve kubbenin oturduğu beden duvarları olduğu tespit edilmiştir.

7.7.2.4 . Modele güçlendirme uygulaması

Bu bölümde verilen bilgiler, yapının onarımından önce, Ani Anıtsal Yapıları Koruma Değerlendirme ve Yapım Mimarlık Restorasyon Ltd.Şti tarafından İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi Dekanlığı'na yapılan 04.01.2006 tarihli başvurusuyla. Edirne Ayşe Kadın Caminin yapı taşıyıcı sistemi yönünden mevcut durumunun saptanması ile restorasyon projesinin hazırlanması ve uygulanması aşamasında alınması gereken yapısal önlemlerin belirlenmesi amacıyla Prof. Dr. Feridun Çalı. Doç. Dr. Oğuz Cem

Çelik ve Dr. Haluk Sesigür tarafından hazırlanan “Beyler Beyi Türbesinin mevcut durumu, onarımı ve güçlendirme önerileri hakkında teknik rapor” belgesinden alınmıştır.

Edirne Ayşe Kadın Camisi’ne ait yapı malzemeleri çeşitli boyutlarda tahrip olmuş, olmaya da devam etmektedir. Bugün yapıyı birinci derecede tehdit eden ve tahribata yol açan unsurların başında iklimsel koşullar ile hava kirliliği gibi dış etkenler gelmektedir. Özellikle drenaj problemi nedeniyle zeminden, örtüden ya da doğrudan yüzeyden emilen suyun malzeme içindeki hareketi, bozulma sürecini hızlandırmaktadır. Bozulmayı durdurmak için gerekli önlemlerin alınması ve etkin koruyucu müdahalelerin yapılması gerekmektedir. Yapılacak müdahalelerin çağdaş koruma yöntemlerini esas alan uzman ekipler tarafından gerçekleştirilmesi, bilimsel kıstaslara uygun olması şarttır.



Şekil 7.117. Ayşe Kadın Cami onarım çalışmaları (2010)

Yapıya zarar verecek, gereksiz ve uygun olmayan uygulamalardan kaçınılmalı, özgün malzeme ve dokunun azami özenle korunması esas hedef olmalıdır. “Kısmen yıpranmış yapı malzemelerinin değiştirilmesi” yerine “sağlamlaştırılarak ömürlerinin uzatılması”, harç ve sıvalarda çimento kullanımı yerine “özgün malzeme”ye uygun

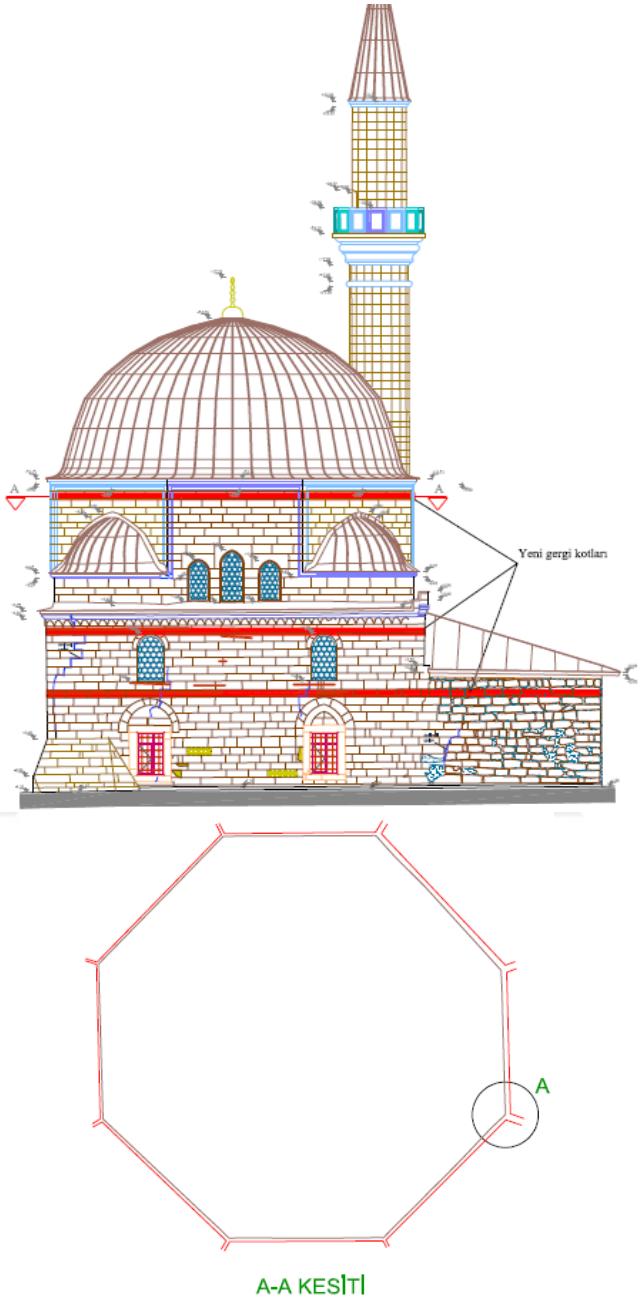
"kireç" harcı kullanımı tercih edilmelidir. Fiziksel ve işlevsel özelliğini büyük ölçüde yitirmiş durumda olan taşlar ise, benzer nitelikteki yeni taşlar ile değiştirilmeli, dış cephede uygun içerikli derzleme yapılmalı, uygun olmayan derzleme (çimento içerikli) raspa edilmelidir. Cephelerdeki siyah tabakalar önerilen yöntemlerle temizlenmelidir. Şekil 7.117. ve Şekil 7.118.'de Ayşe Kadın Caminde yapılan onarım çalışmalarından örnekler gösterilmektedir.



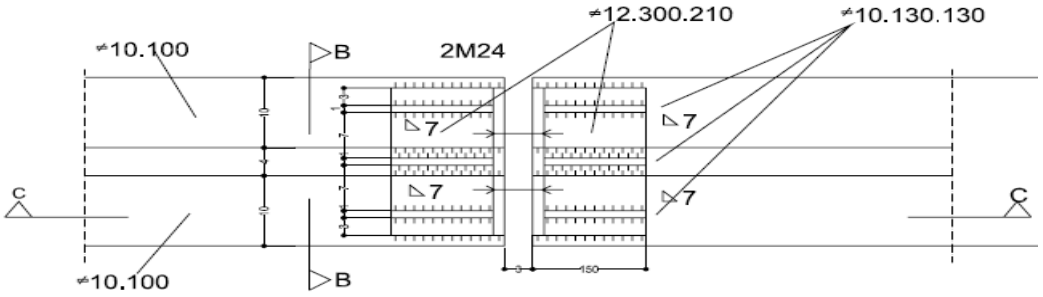
Şekil 7.118. Ayşe Kadın Cami onarım çalışmaları (2010)

Modelde kubbe etrafındaki gerilmeleri azaltmak amacıyla, çelik elemanlarla/gergilerle duvarların dıştan değişik kotlarda kuşaklanması yönteminin cami için uygun bir güçlendirme yöntemi olduğuna karar verilmiştir. Duvarlar açılmaya devam ettiğinden kubbeden gelen itkileri de sınırlamak amacıyla dışta kubbe eteğinde,

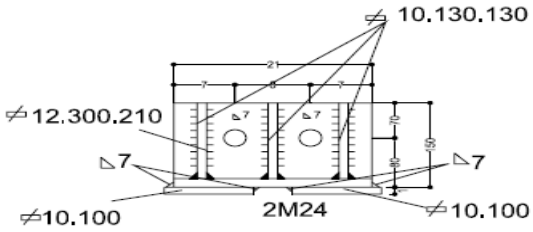
hafif öngerilme verilmiş iki sıra çekme çemberi oluşturulmuş.(Şekil 7.119. ve Şekil 7.120.)



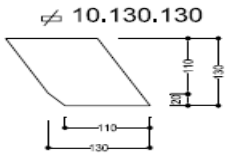
Şekil 7.119. Ayşe Kadın Camii gerginin cephe ve plandaki yeri

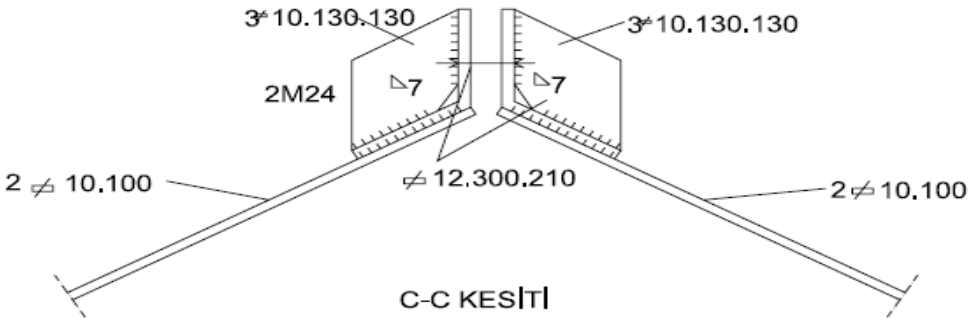


A DETAYI

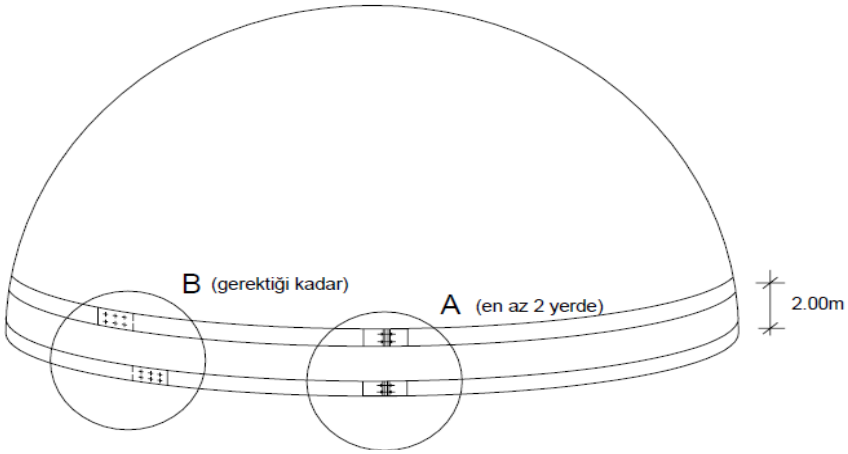


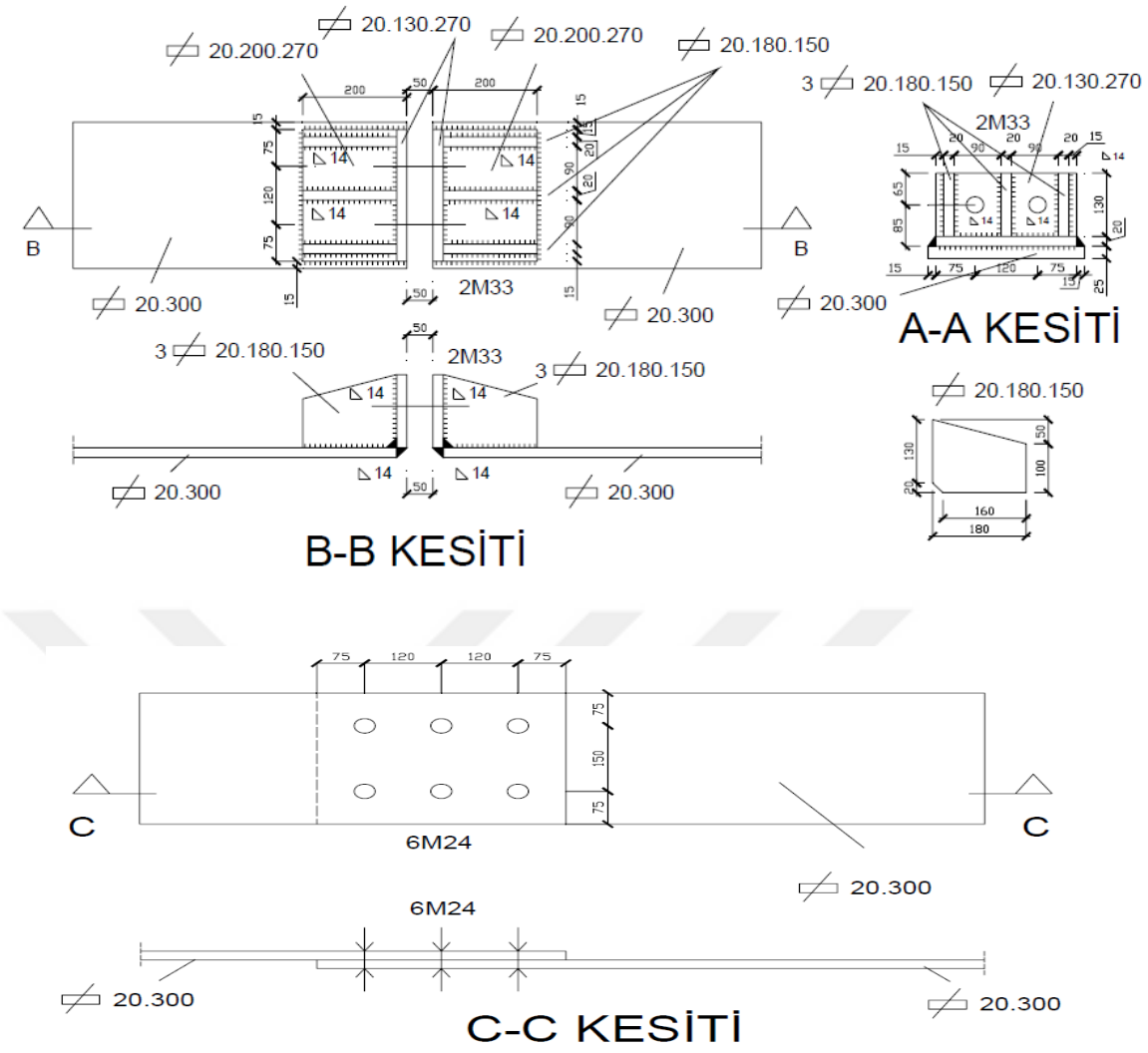
B-B KESİTİ





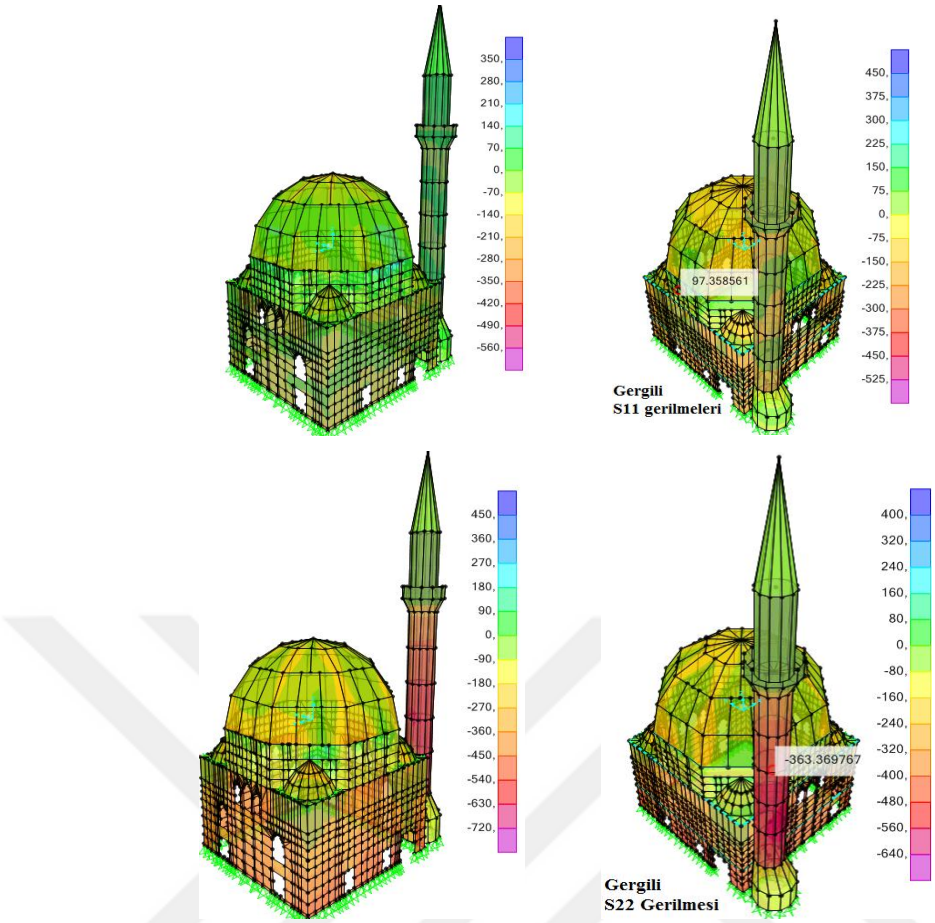
C-C KESİTİ



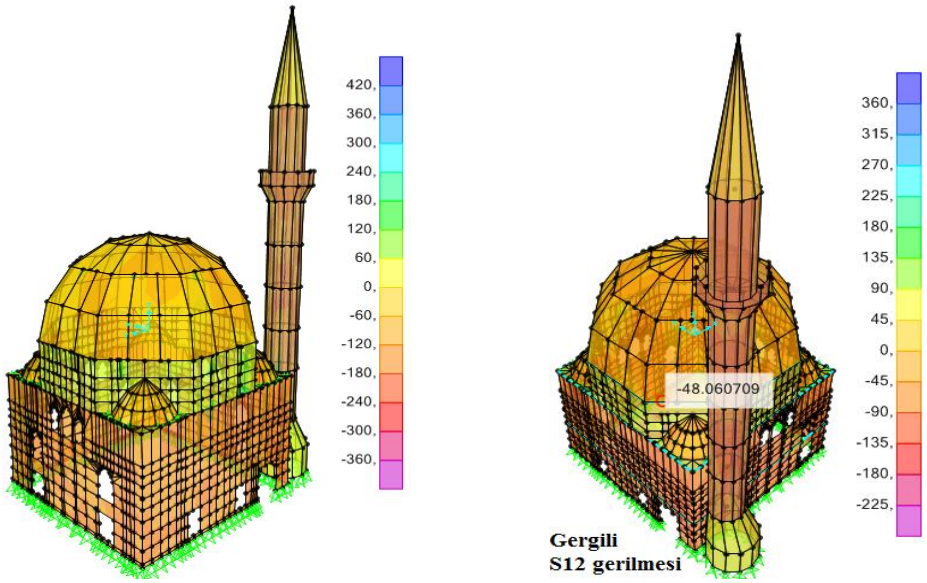


Şekil 7.120. Ayşe Kadın Camii güçlendirme eleman detayı

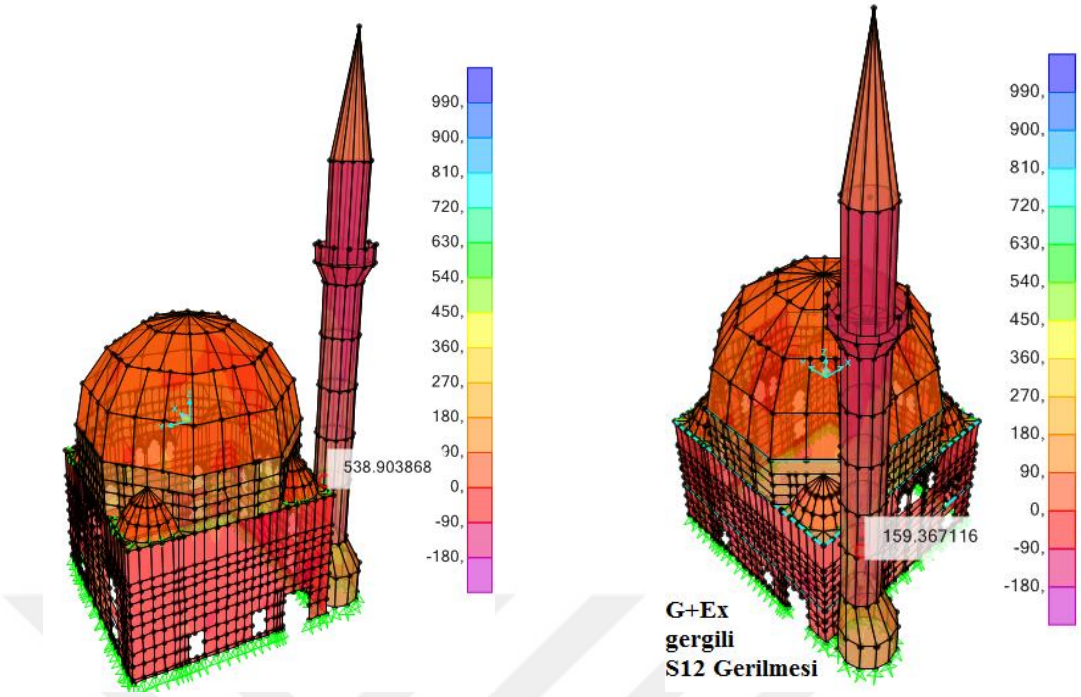
Güçlendirme sonucu elde edilen gerileme grafikleri, yapının güçlendirilmemiş halindeki gerilme grafikleriyle karşılaştırılacak ve gerilme değişimleri irdelenecektir.



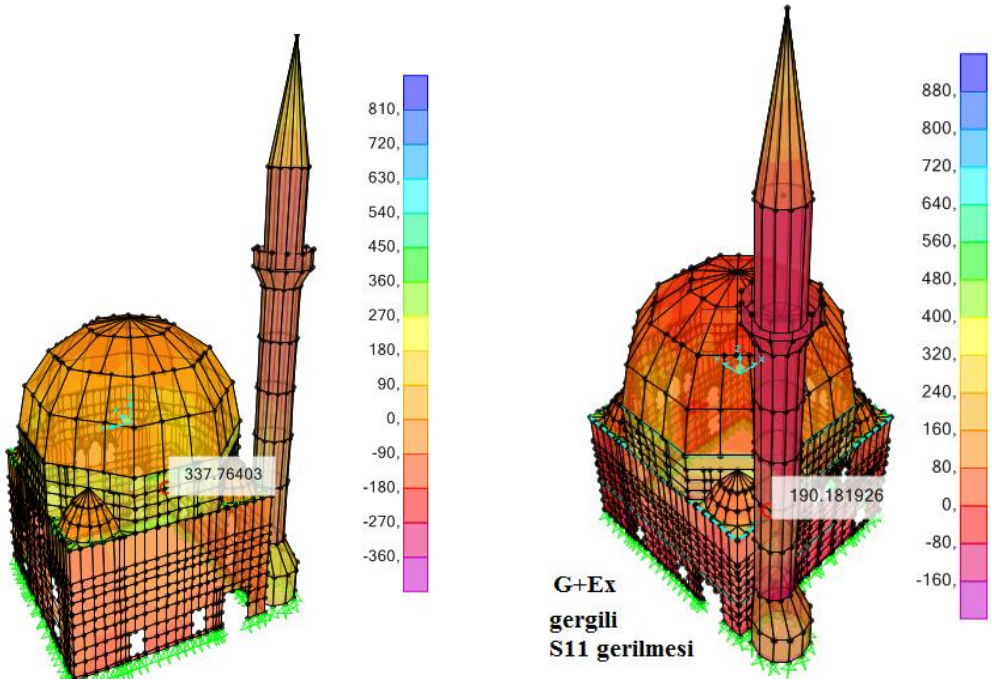
Şekil 7.121. Ayşe Kadın Cami G yüklemesi altında güçlendirme öncesi ve sonrası S11 ve S22 gerilmeleri karşılaştırma grafikleri

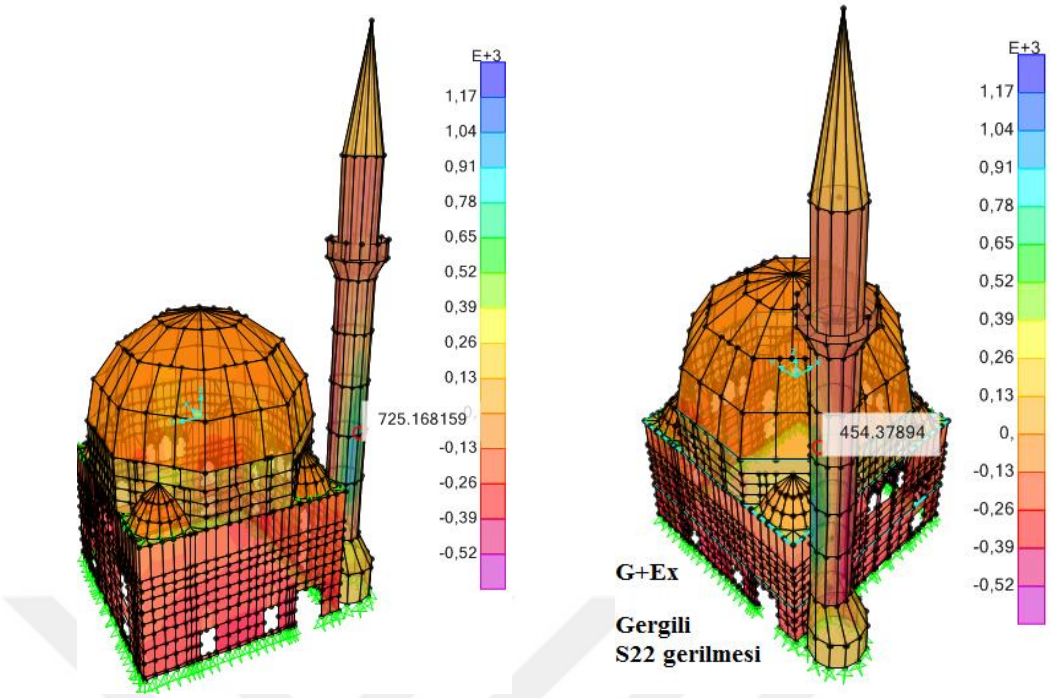


Şekil 7.122. Ayşe Kadını Cami Türbesi G yüklemesi altında güçlendirme öncesi ve sonrası S12 gerilmeleri karşılaştırma grafikleri

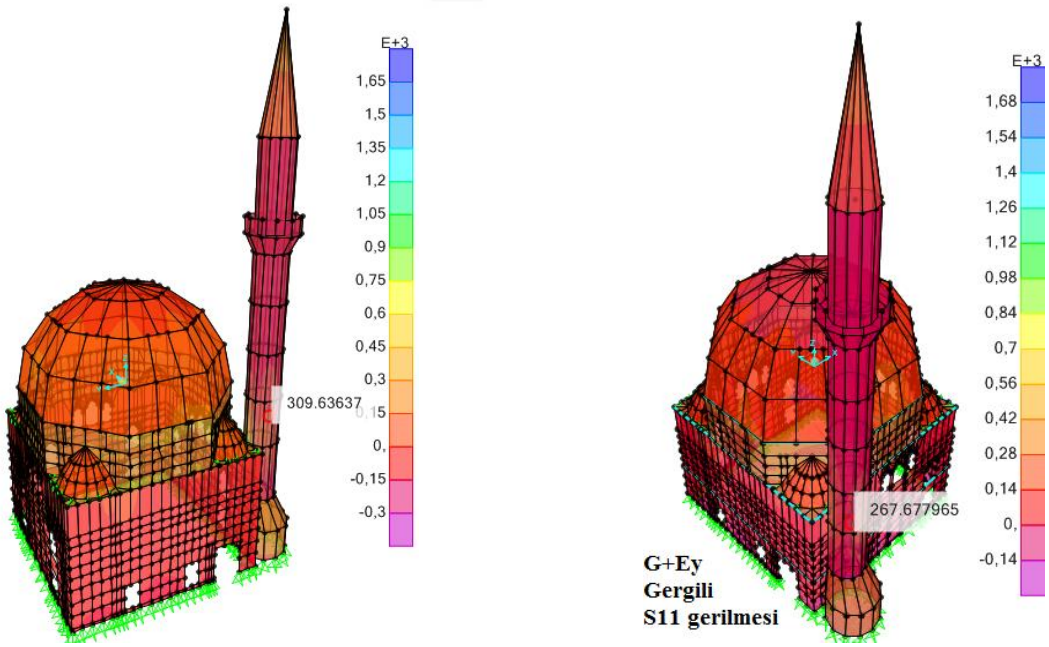


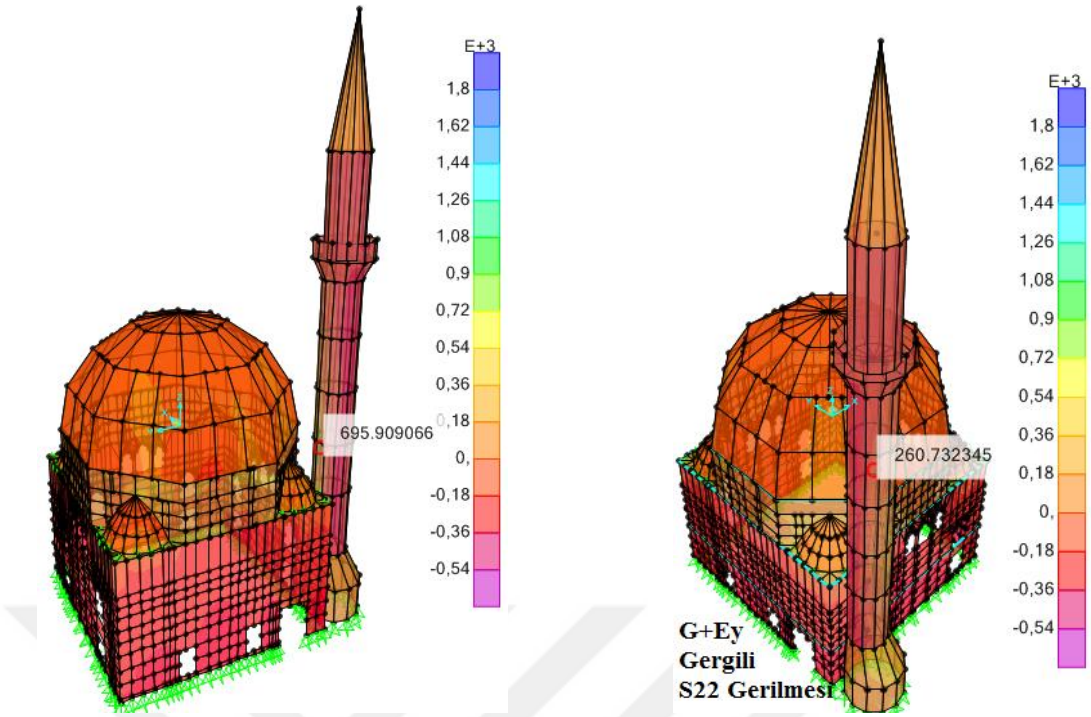
Şekil 7.123. Ayşe Kadını Cami Türbesi G+E_x deprem yüklemesi altında güçlendirme öncesi ve sonrası S12 gerilmeleri karşılaştırma grafikleri



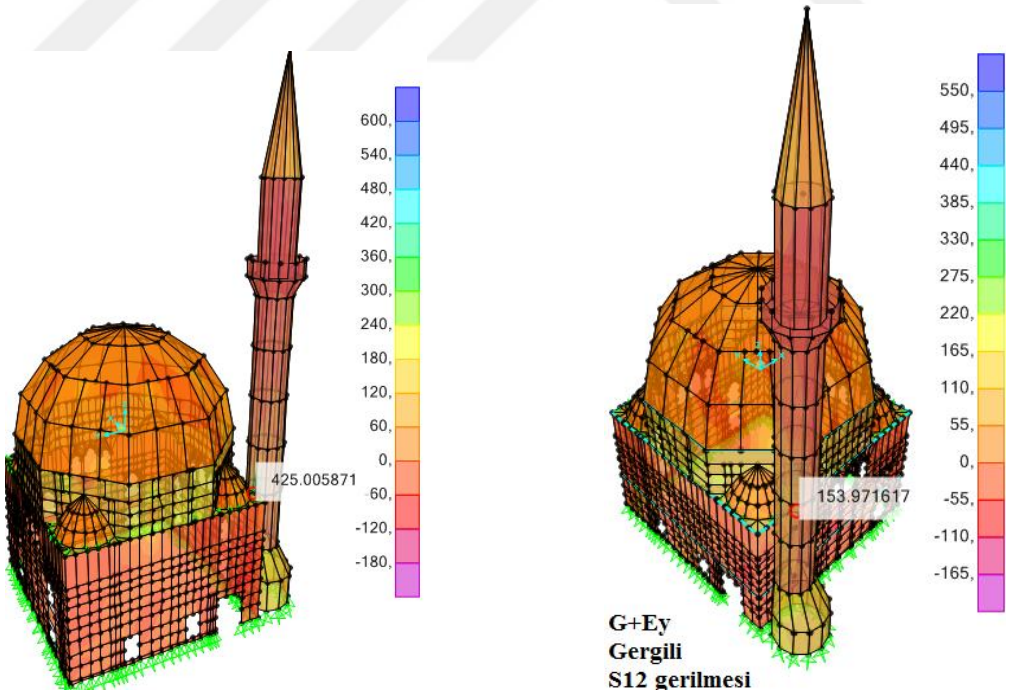


Şekil 7.124. Ayşe Kadın Cami G+E_x deprem yüklemesi altında güçlendirme öncesi ve sonrası S11 ve S22 gerilmeleri karşılaştırma grafikleri





Şekil 7.125. Ayşe Kadın Cami G+E_y deprem yüklemesi altında güçlendirme öncesi ve sonrası S11 ve S22 gerilmeleri karşılaştırma grafikleri



Şekil 7.126. Ayşe Kadın Cami G+E_y deprem yüklemesi altında güçlendirme öncesi ve sonrası S12 gerilmeleri karşılaştırma grafikleri

Yapıda oluşan en büyük gerilmeler çekme çemberi öncesi ve sonrası olmak üzere sırasıyla, maksimum basınç gerilmesi 0.72 MPa/0.64 MPa, maksimum çekme gerilmesi 1.8 MPa/1.8 MPa, maksimum kayma gerilmesi 0.99 MPa/0.99 MPa olarak hesaplanmıştır.

Yapı taşıyıcı sisteminde, çekme çemberli ve çekme çembersiz durumda hesaplanan en elverişsiz gerilmelerin büyüklüğü yaklaşık olarak aynı mertebededir. Başka bir deyişle çekme çemberi düzenlenmesi, yapıda oluşan en elverişsiz gerilmelerin büyüklüğü üzerinde yeterli derecede etkili olmadığı açık bir biçimde görülmektedir. Yapının Ocak 2017 itibariyle mevcut durumu gözlenmiş, yapıda gözle görülen bir takım hasarlar tespit edilmiştir. (Şekil 7.127.) Cami beden duvarlarının, düzlem dışı yer değiştirmeleri belirgin bir şekilde, bina dışına doğru devam ettiği gözlenmiştir. Bu durum kubbe ağırlığının beden duvarları üzerinde oluşturduğu basınç gerilmesiyle büyük ölçüde bağlantılıdır. Yığma yapının yıkılmasına yol açabilecek en büyük tehlike, duvarın düzlemi dışına doğru yer değiştirmeleridir. Bu deformasyon dikkate alınmalı ve miktarı mutlaka tespit edilmelidir.

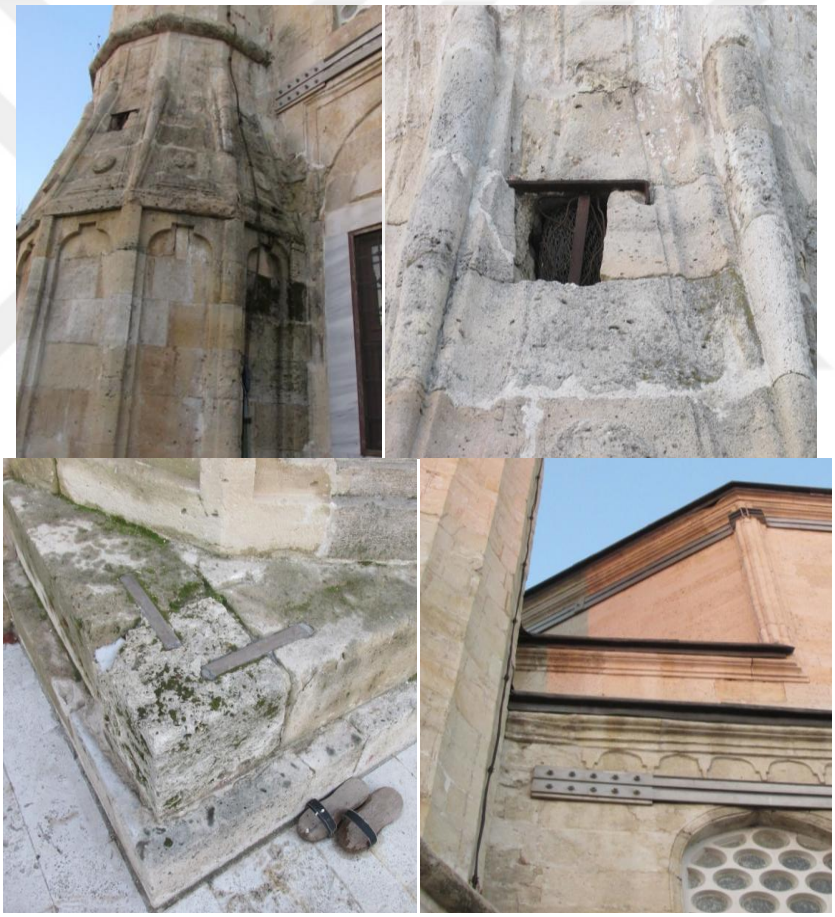


Şekil 7.127. Ayşe Kadın Caminin beden duvarlarının dışa doğru açıldığı gözlenmiştir (ocak 2017)

Yapının sonlu elemanlar modelinde, gerilmelerin emniyet gerilmesinden büyük çıktığı minare duvar birleşimlerinde, pencere, kapı boşluklarında, kubbenin beden duvarlarıyla birleştiği bölgelerde, yer yer beden duvarlarını oluşturan taşlarda dökülme ve ayrışmaların olduğu saptanmıştır, derin çatlaklar gözlenmiştir. (Şekil 7.128.)



Şekil 7.128. Ayşe Kadın Caminin beden duvarlarının dışa doğru açıldığı gözlenmiştir (ocak 2017)



Şekil 7.129. Ayşe Kadın Caminin minare duvar birleşimlerindeki bozulmalar (ocak 2017)

Atmosfer etkilerinden kaynaklanan bozulmalar, dış duvar ve cephelerinde kullanılan malzemeler üzerinde gözlemlenmiştir. Ayrıca suyun, kapilarite ile zeminden yükselen duvar yüzeyinde buharlaşması sonucu çiçeklenmelere, duvarın fiziksel ve

kimyasal yapısını bozucu etkilere neden olduğunu gösteren etkiler tespit edilmiştir. Ciddi hasarların başlangıcı olabilecek bu bozulmaların, sürekli bakımla giderilmesi gerekmektedir. (Şekil 7.129. ve Şekil 7.130.)



Şekil 7.130. Ayşe Kadın Caminin taş yüzeylerinde ya da derzlerinde meydana gelen yosun oluşumları

Tarihi caminin daha sonraki nesillere sağlam bir şekilde aktarılabilmesi için, binanın tetkiklerinin yapılması, çatlakların durumun incelenmesini tavsiye ederim.

8.SONUÇLAR

Çalışma kapsamında incelenen, Beyler Beyi Türbesi, Tütünsüz Baba Türbesi, Timurtaş (Demirtaş) Cami, Gazi Turhan Bey Cami, Sitti Şah Sultan Cami, Ayşe Kadın Cami. Osmanlı erken dönem mimari örneklerinden, kare planlı, üzeri tek hacimli kubbe ile örtülü tarihi yapılardandır. Yapılan analizler sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- ***Beyler Beyi Türbesi:*** Çekme çemberi ile kubbenin hemen altından güçlendirilen yapıda oluşan en büyük gerilmeler çekme çemberi öncesi ve sonrası olmak üzere sırasıyla, maksimum basınç gerilmesi 0.286 MPa/0.3 MPa, maksimum çekme gerilmesi 0.242 MPa/0.170 MPa, maksimum kayma gerilmesi de 0.110 MPa/0.110 MPa olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan değerlerden çekme gerilmelerinin, çekme emniyet gerilmesini aştığı saptanmıştır. Yapının Ocak 2017 itibariyle mevcut durumu gözlenmiş, yapıda gözle görülen her hangi bir hasara rastlanmamıştır.
- ***Tütünsüz Baba Türbesi:*** Çekme çemberi ile üç bölgeden güçlendirilen yapıda oluşan en büyük gerilmeler çekme çemberi öncesi ve sonrası olmak üzere sırasıyla, maksimum basınç gerilmesi 0.308 MPa/0.270 MPa, maksimum çekme gerilmesi 0.960 MPa/0.540 MPa, maksimum kayma gerilmesi 0.220 MPa/0.180 MPa olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan değerlerden çekme ve kayma gerilmelerinin, emniyet gerilmelerini aştığı saptanmıştır. Yapının Ocak 2017 itibariyle mevcut durumu incelenmiş, özellikle kuzey cephelerinde, zeminden yaklaşık 1-2 m yüksekliğe kadar rutubetlenmenin olduğu, yer yer beden duvarlarını oluşturan taşlarda dökülme ve ayrışmaların olduğu saptanmıştır. Bunun dışında kubbenin beden duvarlarıyla birleştiği bölgelerde ve pencere, kapı boşluklarında çatlaklara rastlanmamıştır. Bu durum, statik hesaplarda çıkan yüksek gerilme değerlerine rağmen, yapının hala stabilitesini koruduğu yönünde yorumlanabilir. Ancak zemin içerisindeki su yükselme hareketinin önüne geçilerek, bina etrafına drenaj yapılaması binanın stabil durumunun devamı için gerekli görülmektedir.
- ***Timurtaş (Demirtaş)Cami:*** Yapıda oluşan en büyük basınç gerilmesi 1.1 MPa olarak hesaplanmıştır ve bu değer basınç emniyet gerilmesi olan 0.3 MPa değerini aşmaktadır, 2.16 MPa olarak tespit edilen çekme gerilmeleri, çekme

emniyet gerilmesini aşmakta ve güçlendirme gerekmektedir. Gerilmelerinin elverişsiz olduğu bölgeler incelendiğinde, kubbe ile duvar birleşim bölgeleri ve pencere, kapı boşluklarının köşe noktalarında olduğu görülmektedir. Hesaplanan maksimum kayma gerilmesi 0.99 MPa olarak gerçekleşmiştir. Bu değer 0.175 MPa olarak hesaplanan emniyetli kayma gerilmesi değerini aşmış durumdadır. Yapının Ocak 2017 itibariyle mevcut durumu incelenmiş, özellikle yer yer beden duvarlarını oluşturan taşlarda dökülme ve ayrışmaların olduğu saptanmıştır. Yapının sonlu elemanlar modelinde çıkan yüksek gerilmelere rağmen, kubbenin beden duvarlarıyla birleştiği bölgelerde ve pencere, kapı boşluklarında büyük ve riskli çatlaklara rastlanmamıştır. Bu durum, yapının hala stabilitesini koruduğu yönünde yorumlanabilir. Ancak yıpranan taşlara bakım yapılması, boşalan derz aralarına uygun malzemeyle dolgu yapılması, binanın stabil durumunun devamı için olumlu olacaktır.

- ***Gazi Turhan Bey Cami:*** Yapıda oluşan en büyük basınç gerilmesi 0.420 MPa olarak hesaplanmıştır ve bu değer basınç emniyet gerilmesi olan 0.3 MPa değerine göre, binada karşılanmakta olduğu söylenebilir. Yapıda 1.2 MPa olarak tespit edilen çekme gerilmeleri, çekme emniyet gerilmesini aşmakta ve güçlendirme gerekmektedir. Gerilmelerinin elverişsiz olduğu bölgeler kubbe ile duvar birleşim bölgeleri, pencere, kapı boşluklarının köşe noktaları ve minarenin duvarlarla birleştiği noktalarda olduğu görülmektedir. Hesaplanan maksimum kayma gerilmesi 0.8 MPa olarak gerçekleşmiştir. Bu değer 0.175 MPa olarak hesaplanan emniyetli kayma gerilmesi değerini aşmış durumdadır. Yapının Ocak 2017 itibariyle mevcut durumu incelenmiş, özellikle yer yer beden duvarlarını oluşturan taşlarda dökülme ve ayrışmaların olduğu saptanmıştır. Yapının sonlu elemanlar modelinde çıkan yüksek gerilmelere rağmen, minare duvar birleşimlerinde, kubbenin beden duvarlarıyla birleştiği bölgelerde, pencere, kapı boşluklarında büyük ve riskli çatlaklara rastlanmamıştır. Bu durum, yapının hala stabilitesini koruduğu yönünde yorumlanabilir. Ancak yıpranan taşlara bakım yapılması, boşalan derz aralarına uygun malzemeyle dolgu yapılması, binanın stabil durumunun devamı için olumlu olacaktır.
- ***Sitti Şah Sultan Cami:*** Yapıda gerilmelerinin elverişsiz olduğu bölgeler minare, kubbe ile duvar birleşim bölgeleri, pencere, kapı boşluklarının köşe noktaları ve minarenin duvarlarla birleştiği noktalarda olduğu görülmektedir. Yapıda oluşan en büyük basınç gerilmesi 2.1 MPa olarak hesaplanmıştır ve bu değer basınç

emniyet gerilmesi olan 0.3 MPa değerine göre, oldukça fazla bir değer olduğu söylenebilir. Yapıda 4.2 MPa olarak tespit edilen çekme gerilmeleri, çekme emniyet gerilmesini aşmakta ve güçlendirme gerekmektedir. Hesaplanan maksimum kayma gerilmesi 3.85 MPa olarak gerçekleşmiştir. Bu değer 0.175 MPa olarak hesaplanan emniyetli kayma gerilmesi değerini aşmış durumdadır. Yapının Ocak 2017 itibariyle mevcut durumu incelenmiş, özellikle yer yer beden duvarlarını oluşturan taşlarda dökülme ve ayrışmaların olduğu saptanmıştır. Yapının sonlu elemanlar modelinde gerilmelerin emniyet gerilmesinden büyük çıktığı minare duvar birleşimlerinde, kubbenin beden duvarlarıyla birleştiği bölgelerde, pencere, kapı boşluklarında çatlaklar gözlenmiştir. Duvarlarda zemin oturmalarından kaynaklanan kılcal çatlaklar da mevcut. Tarihi caminin daha sonraki nesillere sağlam bir şekilde aktarılabilmesi için, binanın tetkiklerinin yapılması, çatlakların durumun incelenmesini tavsiye ederim. Bunun dışında, yıpranan taşlara bakım yapılması, boşalan derz aralarına uygun malzemeyle dolgu yapılması, binanın stabil durumunun devamı için olumlu olacaktır.

- ***Ayşe Kadın Cami:*** Yapıda oluşan en büyük gerilmeler çekme çemberi öncesi ve sonrası olmak üzere sırasıyla, maksimum basınç gerilmesi 0.72 MPa/0.64 MPa, maksimum çekme gerilmesi 1.8 MPa/1.8 MPa, maksimum kayma gerilmesi 0.99 MPa/0.99 MPa olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan değerlerden basınç, çekme ve kayma gerilmelerinin, emniyet gerilmelerini aştığı saptanmıştır Yapı taşıyıcı sisteminde, çekme çemberli ve çekme çembersiz durumda hesaplanan en elverişsiz gerilmelerin büyüklüğü yaklaşık olarak aynı mertebededir. Başka bir deyişle çekme çemberi düzenlenmesi, yapıda oluşan en elverişsiz gerilmelerin büyüklüğü üzerinde yeterli derecede etkili olmadığı açık bir biçimde görülmektedir. Yapının Ocak 2017 itibariyle mevcut durumu gözlenmiş, yapıda gözle görülen bir takım hasarlar tespit edilmiştir. Cami beden duvarlarının, düzlem dışı yer değiştirmeleri belirgin bir şekilde, bina dışına doğru devam ettiği gözlenmiştir. Bu durum kubbe ağırlığının beden duvarları üzerinde oluşturduğu basınç gerilmesiyle büyük ölçüde bağlantılıdır. Yığma yapının yıkılmasına yol açabilecek en büyük tehlike, duvarın düzlemi dışına doğru yer değiştirmeleridir. Bu deformasyon dikkate alınmalı ve miktarı mutlaka tespit edilmelidir.

Yapılan analiz sonuçları değerlendirildiğinde tarihi ana yapıyı oluşturan duvarlarda, kubbelerde, kapı, pencere boşluklarında ve minarede büyük gerilmeler oluştuğu gözlenmiştir. Özellikle çekme gerilmesi bakımından yetersiz olan malzemelerle inşa edilmiş tarihi yapılar için, yüksek çıkan bu gerilme değerleri oldukça büyük risk taşımaktadır. Çalışmada incelenen eserlerin bir çocuğunun, restorasyon öncesi kubbesiz ve kubbenin oturduğu üst beden duvarlarının yıkılmış olduğu düşünülürse, bu gerilmelerin iyileştirilmesi bir zorunluluktur. Tarihi yapıların aslına sadık kalarak, en az müdahaleyle çözülmesi gereken statik problemler, yeni yöntemlerin geliştirilmesini gerektirmektedir. Aksi halde sadece temizleme ve onarma çalışmaları ile tarihi binalar uzun süre ayakta tutulamaz.

Tarihi yığma yapıların deprem davranışı, yatay ve düşey yük taşıma düzenleri, temel sistemleri, duvarlarında oluşan yatay ve düşey gerilmelerin hesabı ve daha birçok konu, inşaat mühendisliği eğitiminde yeterince yer bulamamaktadır. Bu konuda mimarların ve mimarlık firmalarının daha aktif olarak görev alması, tarihi yığma yapıların deprem dayanımını değerlendirme ve kaderlerini belirleme konusunda statik kriterleri, mimari çalışmaların gölgesinde bırakmaktadır. Tarihi eser restorasyonu, tarihi yapının karakteristik bir davranış olarak ortaya net bir şekilde konulamıyor olması, bu konuda hazırlanan çalışmaların ortak noktada birleşip bir genelleme oluşturamama gibi askıda kalan sorunlar yüzünden sağlıklı bir şekilde yapılıyor denilemez. Anıtsal değeri olmayan yığma yapılarla hiç uğraşmayıp onları daha dayanıklı betonarme yapılarla yenilemek kolay ve daha güvenli görünen bir çözüm olabilir. Ancak, anıtsal değeri olan tarihi yapılar için bu yapıların davranışı ve güçlendirme yöntemlerini bilmek zorunluluğu inşaat mühendisinin yapıları daha iyi tanımasını ve çalışmasını gerektirmektedir. Tarihi eserler ile ilgili bir tüzük oluşturularak, ortaya kesin kriterler konulmalıdır. Bu konuda bilir kişiler, yapılan uygulamaları dikkate alarak, yıllara göre yıpranma sonuçlarını değerlendirmeli ve yapıları gelecek nesillere aktaracak en uygun koruma metotlarını ortaya koymalıdır.

Çalışma kapsamında yapılan analizler ve elde edilen analiz sonuçların ileride yapılacak çalışmalara ışık tutacağı ve değişik yapı malzemeleri ile değişik taşıyıcı sistem formlarına sahip tarihi yapılarda da benzer çalışmaların yapılmasının oldukça önemli ve gerekli olduğu düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

Akman, M. S. (2003). Yapı Malzemelerinin tarihsel gelişimi. *Türkiye Mühendislik Haberleri, 426*.

Aköz, A. H. (2008). DEPREM ETKİSİ ALTINDAKİ TARİHİ YIĞMA YAPILARIN ONARIM VE GÜÇLENDİRİLMESİ *Yüksek Lisans Tezi*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi.

Amman, B. (2012). Tarihi Yapıların Hasar Onarım Tespiti ve Restorasyon Çalışmaları Manisa: Celal Bayar Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi

Anonim. (2013). *Taş Bozulmalarını Teşhis Etme*. Ankara: MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞI.

Arun, G. (2005). *Yığma Kagir Yapı Davranışı* Paper presented at the Yığma Yapıların Deprem Güvenliğinin Arttırılması Çalıştayı, ODTÜ, Ankara

Bayülke, N. (2011). *YIĞMA YAPILARIN DEPREM DAVRANIŞI VE GÜVENLİĞİ*. Paper presented at the 1.Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, ODTÜ, Ankara.

Bilgin, H. (2005). MİMAR SİNAN YAPILARINDA KUBBELİ ÖRTÜ SİSTEMLERİNİN YAPISAL ANALİZİ. *S.Ü. Müh.-Mim. Fak. Dergi, 21*(Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, DENİZLİ), 119-128.

C.Dönmez, M. A. E. (2015). *TARİHİ YAPLARIN DEPREM DAVRANIŞININ İYİLEŞTİRİLMESİ ÜZERİNE BİR İRDELEME*. Paper presented at the Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, İzmir.

Çelik, P. D. O. C. (2016). Tarihi Yapı Onarım ve Güçlendirme Rehberi. *BASF'den Master Builders Solutions*. Retrieved from www.master-builders-solutions.basf.com.tr

Dabanlı, İ. M. M. Ö. (2008). TARİHİ YIĞMA YAPILARIN DEPREM PERFORMANSININ BELİRLENMESİ

Yüksek Lisans Tezi.

Erköseoğlu, G. (2012). KÜLTÜREL MİRASIN DEPREMDEN KORUNMASI VE TURİZME KAZANDIRILMASI AMACI İLE UYGULANABİLECEK GÜÇLENDİRME TEKNİKLERİ In K. v. T. B. Y. v. İ. g. Müdürlüğü (Ed.). Ankara.

Haluk SESİGÜR, O. C. Ç., Feridun ÇILI. (Şubat, 2007). Tarihi Yapılarda Taşıyıcı Bileşenler, Hasar Biçimleri, Onarım ve Güçlendirme. *İstanbul Bülten*, 10-21.

İlter, Ö. G. Y. M. T. (2012). Restorasyonda Horasan harcı makbul. Kocaeli Üniversitesi Mimarlık ve Tasarım Fakültesi. Retrieved from http://www.haber7.com/mimari/haber/865836-restorasyonda-horasan-harci-makbul

Kara, H. G. (2009). TARİHİ YIĞMA YAPILARIN TAŞIYICI SİSTEMLERİ, GÜVENLİĞİNİN İNCELENMESİ, ONARIMI VE GÜÇLENDİRİLMESİ *Yüksek Lisans Tezi*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi.

Mahrebel, İ. M. H. A. (2006). TARİHİ YAPILARDA TAŞIYICI SİSTEM ÖZELLİKLERİ, HASARLAR, ONARIM VE GÜÇLENDİRME TEKNİKLERİ *Yüksek Lisans Tezi*: İstanbul Teknik Üniversitesi.

Şahin, M. (2015). Eski yapıların korunmasında 'ICOMOS' ilkeleri. *Uludağ Üniversitesi*.

TSE. (2016). TÜRKİYE BİNA DEPREM YÖNETMELİĞİ. Türkiye: Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.

Uğuz, S. (2016). TARİHİ YIĞMA BİR BİNANIN DEPREM GÜVENLİK ANALİZİ: TARİHİ KONYA-GAZİ LİSESİ (DARÜ'L MUALLİM) ÖRNEĞ Yüksek Lisans Tezi. Konya Selçuk Üniversitesi.

Ülker, A. (2016). YIĞMA YAPILARIN DÜZLEM DIŞI DINAMIK DAVRANIŞINI ETKILEYEN FAKTÖRLER TezsizYüksek Lisans Proje Ödevi. Denizli.

Ünay, P. D. A. (2002). Tarihi Yapıların Depreme Dayanımı (Vol. 1). Türkiye: YEM.

Venedik Tüzüğü (1964).

Yavuz, U. C. (2012). TARİHİ YAPILARDA STATİK GÜÇLENDİRME TEKNİKLERİ. Ankara: Kültür ve Turizm Bakanlığı Kültür Varlıkları ve Müzeler Genel Müdürlüğü

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Özlem Şişik
Uyruğu : T.C
Doğum Yeri ve Tarihi : Afyonkarahisar / 14.07.1982
Telefon : 533 815 87 03
e-mail : ozlemsisik@gmail.com

EĞİTİM

Derece		Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	:	Fatih Süper Lisesi , Merkez,Afyonkarahisar	2000
Üniversite	:	Selçuk Üniversitesi	2004
Yüksek Lisans	:	Selçuk Üniversitesi	2017

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2006-2009	Metal Yapı ve Sistemleri A.Ş / İstanbul	Üretim Pojelendirme Sorumlusu
2015-	Estanbul Yapı Denetim A.Ş/İstanbul	Kontrol Mühendisi

UZMANLIK ALANI

Giydirme cephe üretim projelendirme, İmalat resmi hazırlama, Tekla Structures proje tasarımları, sap2000 proje statik analizleri, tarihi eser güçlendirme

YABANCI DİLLER

İngilizce

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALINDAKİ TEZ KONUSU

Ö. ŞİŞİK, 2017, "Edirne'de Bulunan 15.YY Ve 16.YY'da İnşaa Edilmiş Tarihi Cami Ve Türbelerin Taşıyıcı Sistem Analizi Ve Çözüm Önerileri"
Danışman: *Doç. Dr. Sami Döndüren (Selçuk Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü*

YAYINLAR

Döndüren M.S., Şişik Ö., "Geri Dönüştürülmüş Agregalarla Üretilen Betonların Özellikleri", Selçuk-Teknik Dergisi, Cilt 15, Sayı 2 , Konya/Turkey, 2016.