



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



TARİHİ YAPILARIN SONLU ELEMANLAR
ANALİZİ YÖNTEMİYLE DEPREM
DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ:
KONYA DURSUNOĞLU (TAHİR PAŞA)
CAMİİ ÖRNEĞİ

Murat ERDEMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mimarlık Anabilim Dalı

Nisan-2022
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Murat ERDEMİR tarafından hazırlanan “Tarihi Yapıların Sonlu Elemanlar Analizi Yöntemiyle Deprem Davranışlarının İncelenmesi: Konya Dursunoğlu (Tahir Paşa) Camii Örneği” adlı tez çalışması 06/04/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Dr. Öğr. Üyesi İlhan KOÇ

Danışman

Prof. Dr. Mehmet Emin BAŞAR

Üye

Doç. Dr. Mehmet Ergün HATIR

İmza

.....

.....

.....

Yukarıdaki sonucu onaylıyorum.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

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

DECLARATION PAGE

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

Murat ERDEMİR

Tarih: 06/04/2022

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TARİHİ YAPILARIN SONLU ELEMANLAR ANALİZİ YÖNTEMİYLE DEPREM DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ: KONYA DURSUNOĞLU (TAHİR PAŞA) CAMİİ ÖRNEĞİ

Murat ERDEMİR

**Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Mimarlık Anabilim Dalı**

Danışman: Prof.Dr. Mehmet Emin BAŞAR

2022, 87 Sayfa

Jüri

**Prof.Dr. Mehmet Emin BAŞAR
Doç.Dr. Mehmet Ergün HATIR
Dr.Öğr.Üyesi İlhan KOÇ**

Tarihi yapılar yapıldıkları dönemin kültürünü, mimarisini, yapım tekniklerini ve malzeme özelliklerini bugüne aktaran ve toplumlar için son derece önemli olan kültürel miraslardır. Bu sebeplerden dolayı tarihi yapılar korunmalı ve gelecek nesillere aktarılmalıdır. Tarihi yapılarda hasara sebep olan en önemli etkenlerden bir tanesi hiç şüphesiz depremlerdir. Gelişen teknolojiyle birlikte depremin tarihi yapılar üzerindeki etkisi çeşitli bilgisayar programları vasıtasıyla önceden tahmin edilebilmektedir.

Bu çalışmada, Konya merkezde bulunan ve Karamanoğulları dönemine inşa edilen Dursunoğlu (Tahir Paşa) Camisi'nin modellenmesi ve analizi üzerinde durulmuştur. Öncelikle sonlu elemanlar analizi hakkında genel bilgilerden bahsedilmiştir. Daha sonra Dursunoğlu (Tahir Paşa) Camisi'nin konumu, tarihçesi, mimari özellikleri, taşıyıcı sistem ve malzeme özellikleri, tarihi süreçte geçirdiği değişiklikleri ve onarımları, mevcut güçlendirmeleri anlatılarak yapı detaylı bir şekilde anlatılmaya çalışılmıştır. Yapının sonlu elemanlar modelinin oluşturulmasında ve analizinde SAP2000 programı kullanılmıştır. Model üzerine Konya'ya ait deprem spektrumu ve sabit yükler tanımlanarak yapının; modal ve deprem analizi yapılmıştır. Yapı malzemelerinin kesme, basınç ve çekme dayanımlarının yapının hangi kısımlarında aşıldığı incelenmiştir.

Analiz sonuçlarına göre yapının muhtemel hasar oluşabilecek kısımları tespit edilmiştir. Ayrıca yapıdaki mevcut güçlendirmelerin işlevsel olup olmadığı değerlendirilmiştir. Son olarak yapı analizine ait diğer sonuçlardan bahsedilerek, çeşitli önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Deprem, Dursunoğlu (Tahir Paşa) Camii, Sonlu Elemanlar Yöntemi, Tarihi Yapı.

ABSTRACT

MS THESIS

INVESTIGATION OF EARTHQUAKE BEHAVIOR OF HISTORICAL BUILDINGS THROUGH FINITE ELEMENT ANALYSIS METHOD: KONYA DURSUNOĞLU (TAHİR PAŞA) MOSQUE EXAMPLE

Murat ERDEMİR

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Architecture**

Advisor: Prof.Dr. Mehmet Emin BAŞAR

2022, 87 Pages

Jury

**Prof.Dr. Mehmet Emin BAŞAR
Assoc.Prof.Dr. Mehmet Ergün HATIR
Asst.Prof.Dr. İlhan KOÇ**

Historical buildings are cultural heritages that transfer the culture, architecture, construction techniques and material properties of the period which they were built and are extremely important for societies. For these reasons, historical buildings should be preserved and transferred to future generations. Undoubtedly, one of the most important factor causing damage to historical buildings is earthquakes. With the developing technology, the impact of the earthquake on historical buildings can be predicted by various computer programs.

In this study, the creation and analysis of the finite element model of the Dursunoğlu (Tahir Paşa) Mosque, located in the center of Konya and built during the Karamanoğulları period, using the SAP2000 program is emphasized. First of all, general information is mentioned about finite element analysis. Then, the location of the Dursunoğlu (Tahir Paşa) Mosque, its history, architectural features, structural system and material properties, the changes and repairs it underwent in the historical process, and the existing reinforcements were explained and the structure was tried to be explained in detail. The SAP2000 program was used in the creation and analysis of the finite element model of the structure. By defining the earthquake spectrum and constant loads belonging to Konya on the model, modal and earthquake analysis of the building were made. It was investigated in which parts of the structure the shear, compressive and tensile strengths of the building materials were exceeded.

According to the results of the analysis, the parts of the building that could potentially be damaged were determined. In addition, it was evaluated whether the existing reinforcements in the building were functional or not. Finally, other results of the structural analysis were mentioned and various suggestions were made.

Keywords: Earthquake, Dursunoğlu (Tahir Paşa) Mosque, Finite Element Method, Historical Building.

ÖNSÖZ

Yüksek lisans çalışmalarım sürecinde daima yardımcı olan, ilgisini esirgemeyen, tez danışmanlığımı yürüten, tezin ortaya çıkmasında önemli teşvik ve desteklerde bulunan, değerli hocam, Sayın Prof. Dr. Mehmet Emin BAŞAR'a,

Yapıya yönelik rölöve, restorasyon ve fotoğrafların elde edilmesinde yardımcı olan Art ve Dem Mimarlık'a, Mimar Emine Nur SELÇUK'a ve Sanat Tarihçi Halil İbrahim YİĞİTER'e,

Her türlü destek ve anlayışlarından dolayı Yüksek Mimar Seyit Ahmet BİÇER'e ve Mostar Mimarlık çalışanlarına

Süreçte teknik desteklerinden dolayı Yüksek Mimar Mehmet Ali SÜNDÜS'e,

Her daim yanımda olan ve maddi manevi desteğini esirgemeyen anneme, aileme ve Arş. Gör. Mustafa Furkan GÜNDÜZ'e,

Süreçte yanımda olan, adını saymadığım tüm arkadaşlarıma ve hocalarıma teşekkürlerimi arz ederim.

Murat ERDEMİR
KONYA-2022

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı	1
1.2. Tezin Önemi	3
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	6
4. YIĞMA CAMİLERİN YAPISAL DAVRANIŞLARININ BELİRLENMESİNDE SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ	7
4.1. Tarihi Camilerin Yapısal Davranışlarının Belirlenmesinde Sonlu Eleman Analiz Aşamaları	10
4.1.1. Sonlu elemanlar modelinin hazırlanması.....	11
4.1.2. Sonlu elemanlar örüntüleri.....	14
4.1.3. Analiz sınır şartları.....	16
4.1.4. Yapı malzemelerinin özellikleri.....	16
4.1.5. Analiz yükleri	18
4.1.6. Analiz yöntemleri	18
4.1.7. Modal analiz	19
4.1.8. Statik analiz.....	19
4.1.9. Deprem analizi.....	19
4.1.10. Analiz sonuçlarının değerlendirilmesi	20
5. DURSUNOĞLU (TAHİR PAŞA) CAMİ.....	21
5.1. Yapının Konumu.....	21
5.2. Dursunoğlu (Tahir Paşa) Camisi'nin Tarihçesi	21
5.3. Dursunoğlu (Tahir Paşa) Camisi'nin Mimari Özellikleri	23
5.4. Caminin Taşıyıcı Sistem ve Malzeme Özellikleri	27
5.5. Caminin Tarihi Süreçte Geçirdiği Değişiklikler ve Onarımlar.....	32
5.6. Yapıdaki Mevcut Güçlendirmeler	49
5.7. Yapının Cephelerindeki Doluluk Boşluk Durumu	51
6. DURSUNOĞLU (TAHİR PAŞA) CAMİSİ'NDE SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİNİN UYGULANMASI.....	56

6.1. Dursunoğlu (Tahir Paşa) Camisi'nin Sonlu Elamanlar Modeli İçin Modelleme Yönteminin Belirlenmesi	56
6.2. Dursunoğlu (Tahir Paşa) Camisi'nin Sonlu Elamanlar Modelinin Oluşturulması	57
6.3. Dursunoğlu (Tahir Paşa) Camisi'nin Sonlu Elamanlar Modelinin ve Hesaplamanın Ana Parametreleri	59
6.4. Dursunoğlu (Tahir Paşa) Camisi'nin Sonlu Elamanlar Modeline Tanımlanacak Malzemelerin Fiziksel Özellikleri	61
6.5. Modele Etki Edecek Deprem Kuvvetinin Belirlenmesi ve Model Üzerine Tanımlanması.....	63
6.6. Dursunoğlu (Tahir Paşa) Camisi'nin Sonlu Elamanlar Analizinin Yapılması	65
6.6.1. Dursunoğlu (Tahir Paşa) Camisi'nin modal analizi	66
6.6.2. Dursunoğlu (Tahir Paşa) Camisi'nin deprem analizi	69
6.7. Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi	79
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	82
7.1. Sonuçlar	82
7.2. Öneriler	83
KAYNAKLAR	85

SİMGELER VE KISALTMALAR

Δx	: X Yönündeki En Büyük Yer Değişirme
Δy	: Y Yönündeki En Büyük Yer Değişirme
EQ_x	: X Eksenini Doğrultusundaki Deprem Yükleme
EQ_y	: Y Eksenini Doğrultusundaki Deprem Yükleme
G	: Sabit Yükleme
$G+EQ_x$: Sabit Yükleme + X Eksenini Doğrultusundaki Deprem Yükleme
$G+EQ_y$: Sabit Yükleme + Y Eksenini Doğrultusundaki Deprem Yükleme
kN	: Kilonewton
MPa	: Mega Pascal
$S(g)$: İvme
$T(s)$: Süre



1. GİRİŞ

1.1. Tezin Amacı

Tarihi yapılar toplumlar için oldukça önemli ve vazgeçilmez birer kültür temsilcileridir. Bu yapıların korunması ve gelecek nesillere aktarılması, gelecek neslin geçmişini tanınması ve bilmesi anlamına gelmektedir. Tarihi yapıların çoğu, özellikle de taş, tuğla gibi daha uzun ömürlü malzemeler kullanılarak yapılanlar, günümüze kadar ulaşmıştır. Tarihi yapıların bir çoğu da bilinçsizlik, koruma yetersizliği, insanların sebep olduğu zararlar, çevresel etkenler ve depremler gibi etkilerden dolayı süreç içerisinde yok olup gitmiştir.

Tarihi yapıları koruma ve gelecek nesillere aktarma konusundaki yetersizliklerin en büyük sebebi ise, tarihi yapıları koruma konusunda birçok meslek alanının sürece dahil olup ortak bir çalışma yapılması gerekirken, birkaç meslek grubunun bu işi yapmasıdır. Tarihi yapıların rölöve restorasyon projelerinin hazırlanması işi genellikle mimarlar ve restoratörler tarafından yapılmaktadır. Fakat bu süreçte alınan restorasyon kararlarında yapının statik ve mekanik durumu genellikle çok fazla göz önünde bulundurulmamaktadır. Mimarlar ve restoratörlerden sonra, statik durumu inşaat mühendisleri tarafından, mekanik ve elektrik işleri ise makine ve elektrik mühendisleri tarafından ayrı ayrı yapılmaktadır. Yapılan çalışmalarda ilgili meslek grupları projelere genellikle bireysel bakıp, meslek grupları arasında ortak bir çalışma ortamı oluşmamaktadır. Bu doğrultuda, tarihi yapıları daha uzun süreli ve ekonomik şekilde korumak için ilgili bütün meslek gruplarının birleşip, etkileşim içerisinde bu işi yapmaları gerekmektedir.

Gelişen teknolojiyle birlikte tarihi yapıların statik ve dinamik analizleri bilgisayar ortamında yapılabilmektedir. Tarihi yapıların deprem performansının belirlenmesinde ilk ve en önemli aşamalardan birisi yapının modellenmesi aşamasıdır. Model yapıyı en iyi temsil edecek şekilde hazırlanmalıdır. Fakat tarihi yapıların günümüz yapılarından farklı özellikler barındırmaları strüktürel analizi zorlaştırmaktadır. Tuğla, taş, harç, ahşap ve diğer malzemelerden oluşan yapı elemanları birbirlerinden farklı fiziksel ve mekanik özellikler içermektedirler. Bunun yanında yığma olarak inşa edilmiş olan tarihi yapılar seçilirken belirli bir şartname bulunmamasından dolayı aynı yapının benzer elemanları birbirinden farklı malzeme özelliklerine sahip olabilmektedir. Bunun için yapılan analizlerde kullanılacak modelde

gerçek malzeme özelliklerinin bire bir tanımlanması oldukça zordur (Ünay,2002; Akan ve Özen, 2005).

Tarihi yapılara müdahalede bulunabilmek için öncelikle yapının strüktürel davranışlarının tam olarak öğrenilmesi gerekmektedir. Yapıların davranış biçimleri gelişmiş hesaplama yöntemleriyle detaylı şekilde analiz edilebilmektedir. Kagir sistemli tarihi yapılar genellikle eğrisel geometrik forma sahiptirler. Bu yapıların yük taşıyan ve aktaran elemanları üç boyutlu yapısal davranış göstermektedir. Bu da tarihi yapıların davranışlarının analizinde en uygun hesap yönteminin, sonlu elemanlar analizi yöntemi olmasını sağlamaktadır (Toker ve Ünay, 2004).

Yapılan analizlerde kesinlik olmadığından dolayı genellikle doğrusal (linear) analiz yapılmaktadır. Kesin bir yapısal analizde; çatlak deseni, kırılma olayı ve kesin dayanım gücü hesabı dikkate alınmalıdır. Ayrıca doğrusal olmayan (non-linear) gerilme-deformasyon ilişkilerini içeren malzemelerin gerçek özellikleri uygulanmalıdır. Bu oldukça zor ve zaman alıcı bir iştir. Yapısal analiz temelde elastik alanda uygulanır. Doğrusal olmayan (non-linear) analiz ise genelde sonlu elemanlar analizi yönteminden sonra adım adım yapılır (Crocì, 1998).

Tarihi yapıları koruma çalışmalarında asıl üzerinde durulması gereken konu, tarihi yapıların taşıyıcı sistemleri ve bu sistemleri oluşturan elemanlardır. Bu strüktürel elemanlar yapıdaki yükleri aktarmayı ve taşımayı sağlar. Taşıyıcı sistemi korumak için öncelikle tarihi yapının strüktürel elemanlarını ve taşıyıcı sistemini doğru bir şekilde anlamak gereklidir. Daha sonra binanın yapısal özelliklerinin doğru bir şekilde ve uygun bir yöntemle analitik modelinin hazırlanması ve uygun bir yöntemle analizinin yapılması gerekmektedir. Bu analizlerin amacı yapı hakkında bilgiler edinmektir.

Tez kapsamında, Beylikler Dönemi yapılarından olan kagir cami ve minaresinin yapısal analizleri yapılarak incelenecektir. Çalışmada hedeflenen temel amaçlar şu şekildedir:

1. Yapının tarihi süreç içerisindeki değişimlerinin belirlenmesi,
2. Yapının yapım tekniğinin, malzeme özelliklerinin, model ve hesaplamanın ana hatlarının belirlenmesi,
3. Yapının sabit yükler ve deprem yükleri altında deprem davranışlarının incelenmesi, problemlili kısımların yapının hangi bölgelerinde olduğunun tespit edilmesi,
4. Yapıdaki mevcut güçlendirme yerlerinin analiz sonuçlarıyla karşılaştırılması ve sonuçların değerlendirilmesi,

5. Dursunoğlu (Tahir Paşa) Camisi'nin ileride yapılacak restorasyonlarında güçlendirme projelerine altlık oluşturması amaçlanmıştır.

Bu çalışma kapsamında Dursunoğlu (Tahir Paşa) Camisi'nin oluşturulan sonlu elemanlar modeline, Konya'ya özđü deprem spektrumu tanımlanmış ve analizler buna göre yapılmıştır. Yapının minaresi hakkında yeterli verilerin olmaması ve minarenin modelleme ve analizinin farklı ve karmaşık olmasından dolayı, yapının minaresinin analizleri yapılmamıştır. Yapı minare hariç olacak şekilde değerlendirilmiştir.

1.2. Tezin Önemi

Tarihi yapıların büyük çoğunluğu yığma yapım tekniğiyle inşa edilmişlerdir ve genelinde taş ve tuğla ayrı ayrı yada bir arada kullanılmıştır. Taş ve tuğla malzemelerin basınca karşı dayanımı oldukça iyi olmasına rağmen, çekme ve kesmeye karşı dayanımları düşüktür. Bundan dolayı taş ve tuğla yığma yapılarda çekme gerilmesinin olduğu bölgeler daha önemlidir. Tarihi yapılar, yapıldıkları dönemden günümüze kadar geçen süreç içerisinde birçok tahribata uğramalarına rağmen, deprem ve zemin oturmaları, tarihi yapılara en çok hasarı veren iki temel nedendir (Korkmaz ve ark., 2014).

Tarihi yapılardan günümüze ulaşanlar yüzyıllardır ayaktadır. Bu sebeple yapıların genelinde zemin-yapı etkileşimi belirli bir seviyeye ulaşmıştır. Bu yapılara dışarıdan bir müdahale olmadığı sürece daha fazla bir zemin hareketi beklenmez. Buna rağmen deprem, geçmişte birçok tarihi yapıya ciddi hasarlar verdiği veya yok ettiği için, ağır kütleyle sahip taş ve tuğla yapılar için de oldukça büyük tehdit oluşurmaktadır (Ünay, 2002).

Bundan dolayı, tarihi yapının strüktürel davranışlarının önceden belirlenmesi ve bu doğrultuda bakım, onarım ve güçlendirme kararları alınarak restorasyon çalışmalarının daha sağlıklı ilerleyecek olması bu çalışmanın önemini göstermektedir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Tarihi yapılarda sonlu elemanlar analizi yöntemiyle ilgili doktora, yüksek lisans tezleri, makaleler ve bildiriler incelenerek genel bir literatür taraması yapılmıştır. Bunun sonucunda çalışmaya katkısı olan kaynaklardan bazılarında ve bu kaynakların genel anlamda içeriklerinden aşağıda bahsedilmiştir

Akan (2010) çalışmasında, Anadolu'daki ahşap sütunlu camilerin mimari ve taşıyıcı sistem özellikleri hakkında bilgi verdikten sonra, Ankara Ahi Elvan Camisi'nin matematiksel modelini ve analizini yapmıştır. Ahşabın maruz kaldığı yükler karşısında önemli bir zayıflığının olmadığı sonucuna varılmıştır.

Can ve Ark. (2012) yaptıkları çalışmada, Küçük Mustafa Paşa Hamamı'nın analizini sonlu elemanlar analizi yöntemiyle yapmışlardır. Hesap modeli üzerinde sabit yükler ve deprem spektrumu olmak üzere iki ayrı yükleme durumu uygulanmıştır. Yapının sonlu elemanlar modeli ve hesaplanan ana hatları verilerek yapı malzemelerinin basınç, çekme ve kayma emniyet gerilmeleri hesap edilmiştir. Yapıda kayma ve basınç emniyet gerilmelerinin aşılmadığı, çekme emniyet gerilmelerinin ise boşluk köşelerinde ve duvar alt köşe bölgelerinde küçük alanlarda aşıldığı sonucuna varılmıştır.

Can ve Ünay (2012) yaptıkları çalışmada, tarihi yapılar için sayısal modellemenin nasıl olması gerektiğinden, modelleme yaparken nelere dikkat edilmesi gerektiğinden, sayısal modellemenin temel prensiplerinden ve tarihi yapıların analizinde hangi yolların izlenmesi gerektiğinden bahsederek, Hekimoğlu Alipaşa Camisi'nin sonlu elemanlar analizini yapmışlardır. Çalışmadaki amaçları; yapı mühendisleri tarafından yapılan sayısal modellerin ve hesapların mimarlar, restorasyon uzmanları ve mimarlık tarihçileri tarafından anlaşılmasını sağlamaktır.

Çavuş (2013) yayınlamış olduğu makalesinde, tarihi Niksar Kulak Kümbeti'nin deprem altındaki sismik davranışını SAP 2000 programını kullanarak değerlendirmiştir. Kümbetin bulunduğu konuma ait spektrum eğrisini tanımlayarak, yapının sonlu elemanlar analizini yapmıştır.

Dabanlı (2008) yüksek lisans çalışmasında, tarihi yapıların korunması ile ilgili ilke ve yöntemlerden bahsederek, tarihi yığma yapıların değerlendirilmesi için yapılan hazırlık çalışmalarını ve modelleme yöntemlerini anlatmıştır. Daha sonra Hırka-i Şerif Camisi'ni örnek göstererek, yapının sonlu elemanlar modeli ve analizi yapılmıştır. Analizde 2007 deprem yönetmeliği göz önünde bulundurularak, davranış spektrum

analizi yapılmıştır. Analiz sonuçları değerlendirildikten sonra yapı ile ilgili güçlendirme önerileri verilmiştir.

Erdoğan (2018) doktora çalışmasında, yedi tane Türk minaresini sonlu elemanlar yöntemiyle, 1999 Kocaeli Depremi kayıtlarını kullanarak, zaman tanım alanında analiz etmiştir. Çalışmasının son bölümünde yığma yapıların güçlendirilmesinde kullanılan yöntemleri inceleyerek bunlardan hangilerinin minareler için uygun olabileceğini değerlendirmiştir. Daha sonra Konya İnce Minare için bir güçlendirme önerisi yapılmıştır. Analizlerde ABAQUS programı kullanılmıştır.

Koçak (1999) doktora çalışmasında, tarihi yapıların korunması, tarihi yapılar üzerinde yapılan deneyler ve sonlu elemanlar yöntemlerinden genel olarak bahsederek, Küçük Ayasofya Camii üzerinde, yapının statik ve dinamik davranışlarını lineer ve non-lineer analiz yöntemleriyle incelemiştir. Çalışmanın amacı; tarihi anıt ve yapıların korunması, takviyesi ve kuvvetlendirilmesi amacıyla yapılması gereken çalışmalar ve yapısal modellemeler ile analizlerin belirlenmesi olarak ifade edilmiştir.

Oğuzmert (2002) yüksek lisans çalışmasında, ilk olarak yapı malzemelerinin mekanik özellikleri ve analizler hakkında genel bilgilere değinmiştir. Daha sonra yığma yapılar hakkında bilgisayarla yapılan çalışmalar incelenmiştir. Yığma minareler ve bunların yapımında kullanılan teknikler anlatıldıktan sonra tarihi depremlerin minareler üzerindeki etkisinden bahsedilmiştir. Örnek çalışma olarak Dolmabahçe Camisi'nin minareleri incelenerek, SAP2000 programında analizleri yapılmıştır.

Sözen ve Ark. (2018) yayınladıkları makalelerinde, Tokat ilinde bulunan Garipler Camisi'nin statik, modal ve dinamik analizini sonlu elemanlar analizi yöntemi ile yapmışlardır. Dinamik analizde, 1999 Kocaeli deprem kayıtlarını göz önüne alarak, zaman tanım analizini kullanmışlardır. Analizler sonucunda en çok hasarın tonoz-minare ve tonoz-kubbe birleşimlerinde olduğunu tespit etmişlerdir.

Toker (2000) yüksek lisans çalışmasında, kemer formunun gelişimi ve kemerin mimari yönden karakteristik özelliklerini anlatmıştır. Taş kemerlerin ve kemerli köprülerin davranışları sonlu elemanlar analiz yöntemiyle açıklanmıştır. Örnek çalışma olarak Malabadi köprüsü ele alınmıştır. Köprü'nün kendi ağırlığı ve deprem kuvvetleri altındaki davranışları sonlu elemanlar analizi yöntemiyle incelenmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Tarihi yapıların modellenmesi ve analizlerinin yapılması oldukça karmaşık ve zor bir iştir. Yapının doğru modellenmesi, yapının durumu ve yapı malzemesinin özelliklerinin bilinmesi yapılacak olan analizlerde en önemli noktalardır.

Yapılan çalışmalar incelendiği zaman tarihi yapıların analizinde en çok tercih edilen ve en kullanışlı yöntem sonlu elemanlar analizi yöntemidir. Sonlu elemanlar analizi yöntemi yapıda deprem analizlerinin yanı sıra, çeşitli dayanım hesapları, akışkanlar mekaniği gibi hesaplarda da kullanılmaktadır. Sonlu elemanlar analizi yöntemi, analizi yapılacak olan yapının uygun boyutta ve belirli sayıda sonlu elemana bölünerek her bir elemanda hesabın yapılmasıyla, yapının tamamı hakkında bilgi edinmemizi sağlayan analiz yöntemidir.

Yapının analizi yapılırken izlenen yollar şu şekildedir:

1. Yapının çizilmiş olan en güncel ve detaylı rölöve projelerinin elde edilmesi,
2. Yapının günümüzdeki haliyle dayanımını etkileyecek etkilerin belirlenmesi,
3. Yapıda kullanılan malzemelerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin literatürdeki benzer çalışmalardan elde edilmesi,
4. Yapının sonlu elemanlar modeli için doğru bir modelleme yönteminin belirlenmesi ve en uygun modelin hazırlanması,
5. Yapının bulunduğu bölgeye ait güncel deprem spektrum eğrisinin hesaplanması ve programa tanımlanması sonucunda analizlerin yapılması,
6. Analiz sonucu elde edilen verilerin değerlendirilmesi

4. YIĞMA CAMİLERİN YAPISAL DAVRANIŞLARININ BELİRLENMESİNDE SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ

Geçmişten günümüze yığma yapılarımız incelendiğinde, yığma yapılar üzerinde depremlerin son derece tahrip edici etkilerinin olduğu görülür. Tarihi camilere baktığımızda depremin tahrip edici etkilerinin en çok yapının kubbe, sütun, ayak gibi yapı elemanları ve bunların birleşim noktaları, yapı-zemin birleşim noktaları ve minarelerde etkili olduğu görülür (Oğuzmert, 2002; Erdoğan, 2018).

Tarihi yapılarda, günümüz yapılarındaki gibi belirli bir kolon kiriş sistemi görmek neredeyse imkansızdır. Bu yapılarda duvarlar aynı zamanda taşıyıcı sistem görevi de görür. Bunda dolayı tarihi yapıları analiz ederken genellikle basit yaklaşımlar uygulanamaz.

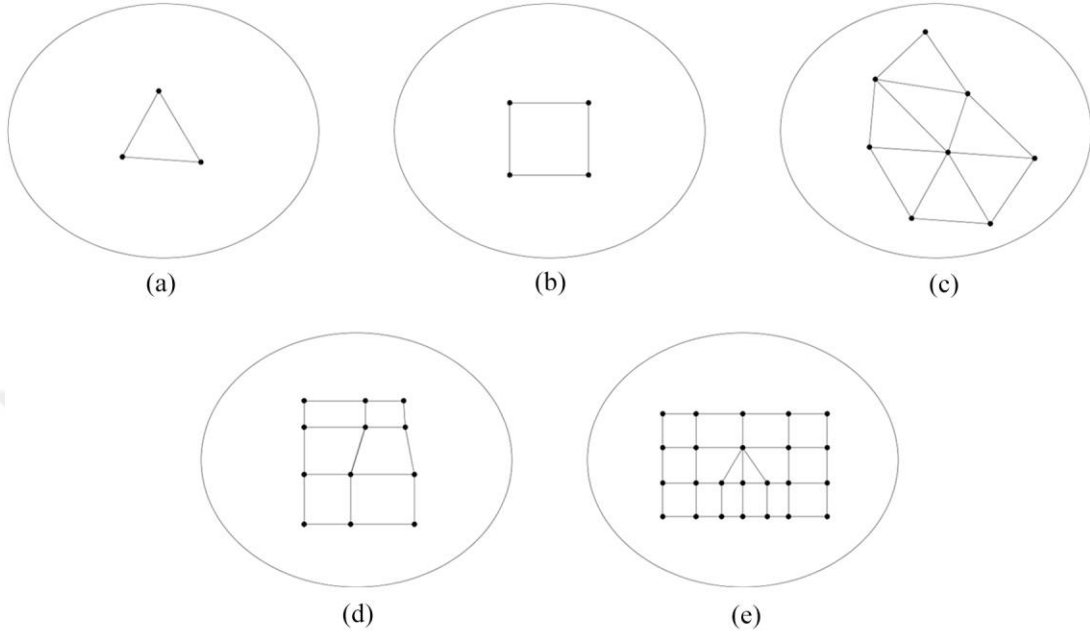
Günümüzde tarihi yapıların analizinde çeşitli yöntemler ve teknikler kullanılmaktadır. Bunlardan en bilindik ve en etkin kullanılan yöntem sonlu elemanlar analizi yöntemidir. Bu yöntem fizik ve mühendislik alanında bir çok denklem kurularak çözülebilecek karmaşık ve zor hesaplamaların, analizlerin doğru bir modelleme yapılarak çözümlenmesi yöntemidir. Başlangıçta gerilme analizi problemlerinde uygulanan bir metot olmasına rağmen günümüzde akışkanlar mekaniği, zemin mekaniği, ısı transferi, titreşim analizi, dinamik hesaplarda dayanım ve benzeri analizlerde kullanılmaktadır. Analizi yapılacak model uygun sayı ve boyuttaki sonlu elemanlara bölünüp her bir elemanda hesap yapılır. Bu şekilde analiz edilen yapının bütününe ait sonuçlara daha kolay, hızlı ve doğru bir şekilde ulaşılır (Koçak, 1999; Erdoğan, 2018).

Yapı sonlu sayıda elemana bölünürken elemanları oluşturan düğüm noktalarının diğer elemanlarla bağlantılı ve bir bütün olarak hareket edebilecek şekilde tasarlanmasına dikkat edilmelidir. Aksi takdirde yapılan sayısal modelden yanlış sonuçlara ulaşılabilir veya yapılan analizden sonuç alınamayabilir.

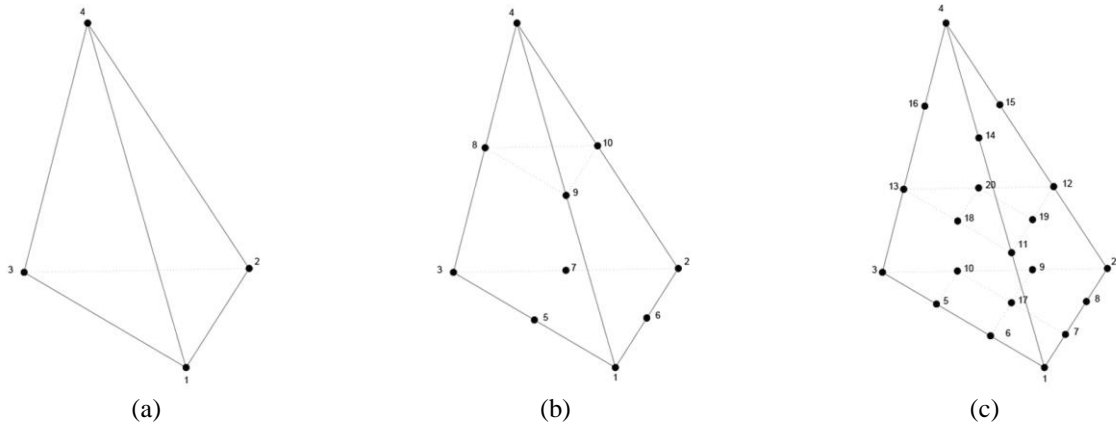
Sonlu elemanlar metodunda çözümü yapılacak olan sistem bir ağ yardımıyla idealleştirilerek belirtilir. Oluşturulan sonlu elemanlar ağına ait çizgilerin kesiştiği noktalar düğüm noktaları olarak bilinir. Sonlu elemanlar ağını belirleyen çizgiler arasındaki iki veya üç boyutlu elemanlar, sonlu elemanlar olarak adlandırılır. Bu elemanlar birbirlerine düğüm noktalarından bağlanır (Koçak, 1999; Dabanlı, 2008).

Sonlu elemanlar örüntüleri, farklı yöntemlerle ve şekillerle oluşturulabilir. Örüntü, solid elemanlarla oluşturulabileceği gibi shell elemanlarla da oluşturulabilir.

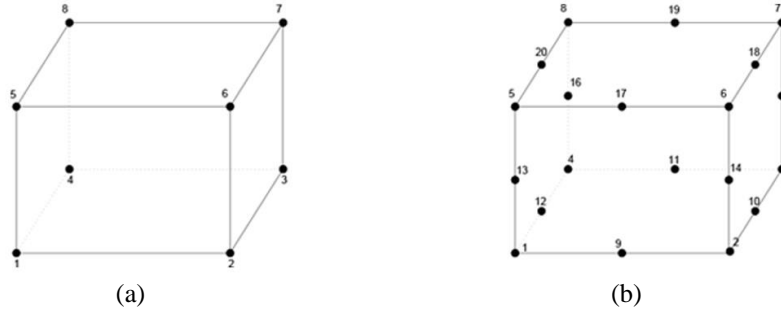
Ayrıca elemanlar üçgen veya dörtgen şekillerde olabilir. Şekil 4.1’de Shell elemanlara ait örüntüler gösterilmiştir. Şekil 4.2 ve 4.3’de ise solid elemanlara ait şekiller gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Sonlu Eleman Şekilleri : a) Üçgen Sonlu Eleman b) Dörtgen Sonlu Eleman c) Üçgen Sonlu Eleman Ağı d) Dörtgen Sonlu Eleman Ağı e) Üçgen ve Dörtgen Elemanların Birlikte Kullanıldığı Sonlu Eleman Ağı

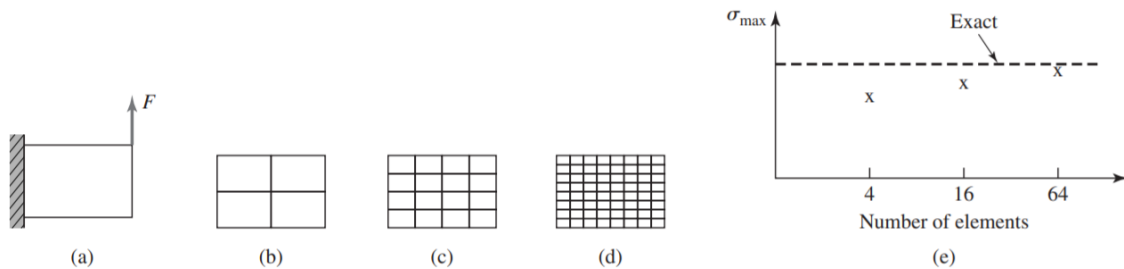


Şekil 4.2. Dörtüzlü Elemanlar : a) Dört Düğümlü b) On Düğümlü c) Yirmi Düğümlü



Şekil 4.3. Altı Yüzlü Elemanlar a) Sekiz Dügümlü b) Yirmi Dügümlü

Sonlu elemanların her biri için gerekli olan denklemlere ulaşıldıktan sonra tüm sonlu elemanların denklemleri problemin tanım bölgesini oluşturacak biçimde birleştirilir. Bunun sonucunda problemin bütününe ifade eden denklem sistemleri elde edilir. Sonuç olarak sonsuz sayıda küçük elemanın oluşturduğu sürekli ortam, sonlu sayıda ve büyüklükte elemanlardan meydana gelen yarı sürekli bir ortama dönüştürülebilir. Sonlu elemanlara ayrılan problemin tanım bölgesi, sonlu eleman ağını meydana getirir. Sonlu elemanların birbirleriyle ilişkileri göz önünde bulundurularak birleştirilen bu model, matematiksel model olarak adlandırılır. Matematiksel modelin doğruluğu ve kesinliği, seçilen eleman tipine, eleman sayısına, eleman davranışına yönelik yapılan kabullere bağlıdır. Eleman sayısının artması bilinmeyen sayısını arttırmasının yanında sonuçların doğruluğunu da arttırır (Koçak, 1999). Fakat eleman sayısındaki artış belirli bir noktadan sonra modeli ağırlaştırması, analiz süresini uzatması ve analiz esnasında karışıklık oluşturmasından dolayı gereksizdir. Bu sebeple oluşturulan sonlu elemanlar modeli uygun sayı ve boyutta elemandan oluşmalıdır.



Şekil 4.4. Eleman Sayısına Göre Yaklaşık Sonuçların Yakınsama Bağlantısı (Hutton, 2004)

Birçok alanda farklı elemanların, yapıların tasarımında ve analiz edilmesinde kullanılan sonlu elemanlar metodu, yığma yapıların analiz edilmesinde de çok büyük faydalar sağlamaktadır.

Sonlu elemanlar yönteminin faydalarından bazıları şunlardır:

- Yapıların deprem, rüzgar, dalga ve benzeri dış kuvvetler karşısında davranışları önceden tahmin edilerek, gelecekte olması muhtemel hasarlara karşı önlem alınmasına imkan tanır.
- Yapının ve yapıyı oluşturan bütün elemanların modellenmesi ve analizi yapılabilir.
- Elemanlar istenilen boyutta bölünebilir ve istenilen hassasiyette sonuçlar alınabilir.
- Farklı özellikteki yapı malzemelerinin ve yapı elemanlarının bir araya getirilmesine imkan tanır.
- Malzemelere ait özellikleri ve sınır şartlarını tanımlamak kolaydır.
- Yapı bir bütün olarak analiz edilebileceği gibi yapının belli kısımları da daha ayrıntılı bir biçimde analiz edilebilir (Dabanlı, 2008).

Sonlu elemanlar yönteminin sağladığı kolaylıkların ve faydalarının yanında bazı riskleri de vardır. Bunlar şu şekilde sıralanabilir:

- Analizi yapılacak olan yapıda kullanılan malzemelerin özelliklerinin tam olarak bilinmemesi sebebiyle kesin sonuçlar elde etmek çok zordur.
- Yapıdaki zemin oturmaları, yapı malzemelerindeki bozulmalar, çatlama ve deformasyonların hesaba katılması gerektiği durumlarda yapının detaylı bir şekilde incelenmesi gerekir ve buda uzun zaman alabilir. Ayrıca bu şekilde bir analiz için ileri düzeyde mühendislik bilgisi gerekebilir (Crocı, 1998).
- Yapının birebir modellenmesi oldukça zordur.

4.1. Tarihi Camilerin Yapısal Davranışlarının Belirlenmesinde Sonlu Eleman Analiz Aşamaları

Bir yapının sonlu elemanlar analizi yapılırken bazı adımların takip edilmesi gerekmektedir. Bu adımlar sırasıyla aşağıdaki şekildedir:

- 1- Modelleme yönteminin belirlenmesi
- 2- Analizi yapılacak yapının modelinin oluşturulması
- 3- Yapıda kullanılan malzemelerin özelliklerinin tanımlanması
- 4- Yapı elemanlarının türlerinin, malzeme kalınlıklarının belirlenmesi ve model üzerinde tanımlanması
- 5- Yapıyı oluşturan elemanların modelde uygun boyutlarda bölünmesi

- 6- Yapının mesnet özelliklerinin tanımlanması
- 7- Yapılacak analize göre (deprem,rügar,dalga ve benzeri) yapıya etki edecek yüklerin tanımlanması
- 8- Yük kombinasyonlarının tanımlanması
- 9- Analizin yapılması ve sonuçların listelenmesi.

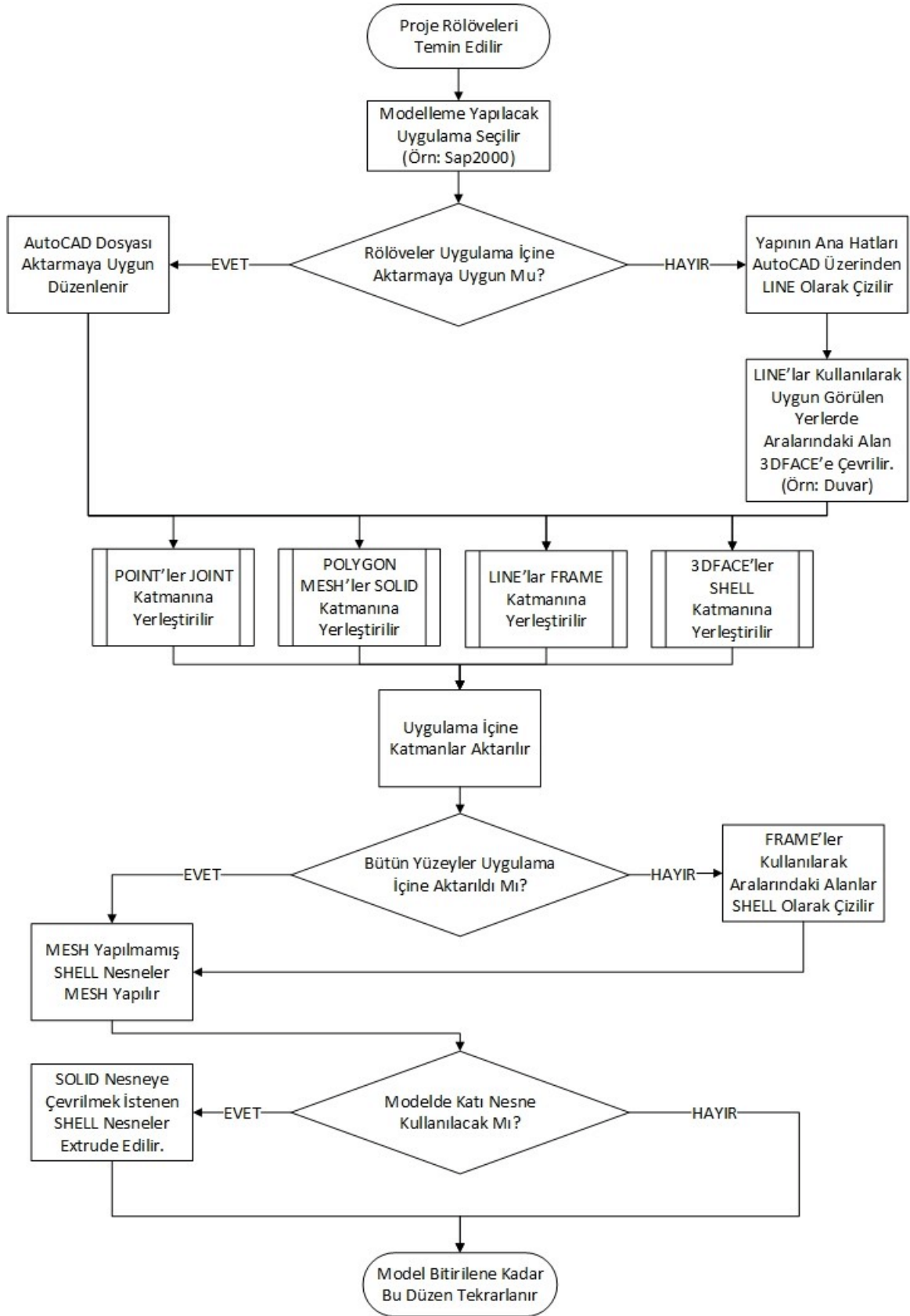
Analiz için bu aşamalar oldukça önemlidir. Bu aşamalardaki tanımlamaların yanlış veya hatalı yapılması durumunda çözülen problem yanlış sonuçlar verecektir.

4.1.1. Sonlu elemanlar modelinin hazırlanması

Tarihi yapılar karmaşık geometriye sahip olduklarından ve yapıdaki yükler bir bütün olarak zemine aktarıldıklarından dolayı bu yapıların bilgisayar programlarında oluşturulmaları zordur. Bundan dolayı kullanımı kolay, analiz için uygun olan programlar tercih edilmelidir.

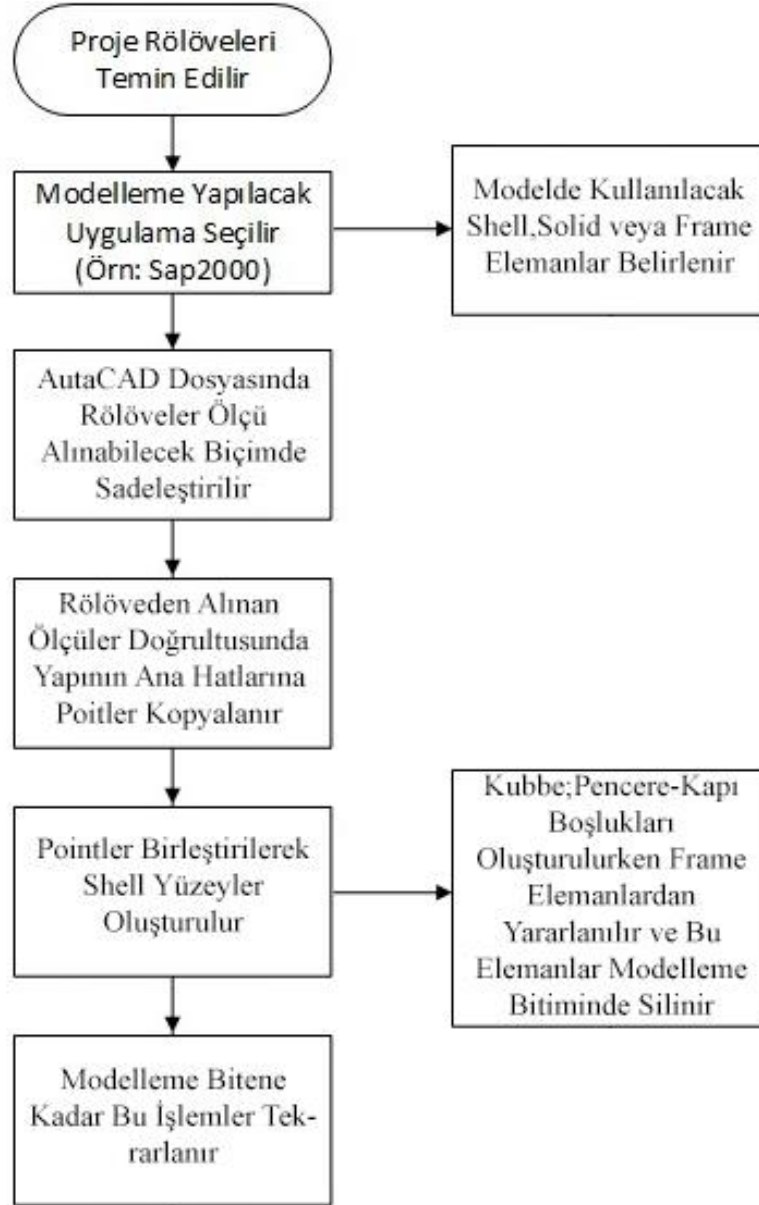
Bir yapının sonlu elemanlar modeli oluşturulurken kullanılan analiz programına ve yapılacak olan analiz türüne göre çeşitli metotlar uygulanabilir.

Bu yöntemlerden ilki, rölövesi elde edilen yapı AutoCAD (Autodesk, 2012) programında modellenir. Daha sonra analiz yapılacak olan program seçilir. Genellikle analiz aşamasında SAP2000 (SAP2000, 2000) programı tercih edilmektedir. Bazı çalışmalarda ise ABAQUS programı da kullanılmıştır. AutoCAD programında oluşturulan geometrik model, modellerken kullanılan elemanlar hangi türden seçilmişse analiz programında da aynı elemanlar tanımlanarak aktarılır. Analiz programına aktarılan model üzerine gerekli malzeme, yapı elemanına ait kesit özellikleri ve yük tanımlamaları yapılır. Analiz kombinasyonları belirlendikten sonra yapının analizi yapılır. Fakat bu metotta programlar arası aktarım esnasında dikkatli olunmalıdır. Aksi takdirde analiz programı AutoCAD programından gelen verileri tanımlamaz veya yanlış tanımlayabilir. Buda yapılan analizin sonuçlarının hatalı olmasına sebebiyet verir. Bu yöntem şematik olarak Şekil 4.5’de gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Yapıların modellenmesinde izlenecek yol (Aslan ve Şahin, 2016)

İkinci yöntem ise yapının mevcut rölövelerini sadece ölçü almada kullanarak modelleme işleminin tamamının analiz programında yapılmasıdır. Yani AutoCAD programında herhangi bir modelleme yapılmaz, tüm modellemeler SAP2000 programında yapılır. Bu çalışmada, karışıklıkları ve olası hataları en aza indirmek için ikinci bahsedilen yöntem tercih edilmiştir. Bu yöntem şematik olarak Şekil 4.6'de gösterilmiştir.

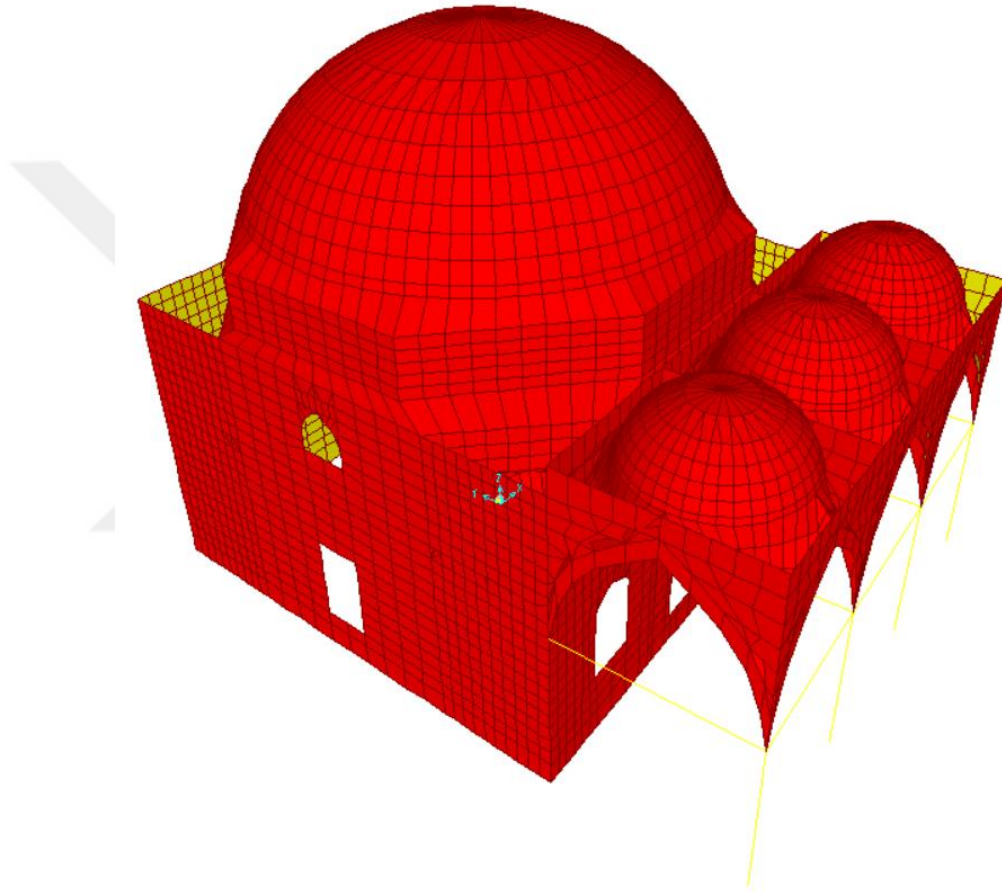


Şekil 4.6. Dursunoğlu (Tahir Paşa) Camisi'nin modellenmesinde izlenen yol

Model hazırlanırken yapının hazırlanmış olan rölöve çizimleri kullanılarak, yük aktarım prensibi gerçeğe en yakın model oluşturulmaya çalışılmıştır. Bu kapsamda

Dursunoğlu (Tahir Paşa) Camisi'nin proje müellifi Art&Dem Mimarlık Ofisi ile görüşülerek projeye ait rölöve çizimleri ve yapının son durumu yerinde incelenerek oluşturulacak model için gerekli veriler elde edilmiştir. Modelde kubbeler ve kubbe geçiş elemanları yükü doğru aktarabilecek biçimde modellenmeye çalışılmıştır. Modelin sade olmasına, fakat doğruluktan taviz verilmeden hazırlanmasına önem verilmiştir.

Modelde, kubbeler, tromplar, kemerler, duvarlar, gergi elemanları, sütunlar, pandantifler ayrı ayrı guruplar halinde oluşturulmuştur.



Şekil 4.7. Dursunoğlu (Tahir Paşa) Camisi'nin sonlu elemanlar modeli

4.1.2. Sonlu elemanlar örüntüleri

Dursunoğlu (Tahir Paşa) Camisi'nin sonlu elemanlar yöntemiyle statik, dinamik ve deprem analizlerinin yapılmasında SAP2000 programı kullanılmıştır. SAP2000'in uzun yıllardır tarihi yapıların analizinde kullanılması, yapı analizlerinde en çok tercih edilen programlardan birisi olması ve güvenilir sonuçlar vermesi bu programı tercih edilme sebeplerindedir.

Tarihi yapıların modellenmesinde katı veya kabuk elemanlar kullanılabilir. Bu elemanlar birlikte kullanıldıklarında, çerçeve ve kabuk elemanlarla oluşturulan sistemden katı elemanlarla oluşturulan sisteme moment aktarımında sorunlar yaşanması, kararsız sistemler oluşturabilir (Erdoğan, 2018). Kabuk sistemler gerilme dağılımını anlaşılır ve kolay bir şekilde gösterdiğinden, modellemede kabuk elemanlar kullanılmıştır. Sütun ve gergi elemanları ise çerçeve elemanlar kullanılarak modellenmiştir. Kubbe yükü duvarlara aktarılırken, analiz sonucunu etkileyebileceği varsayılarak tromplar da modellenmiştir. Ayrıca üç adet küçük kubbeden oluşan son cemaat mahfilini caminin kuzey cephesine bağlayan ve son cemaat mahfilinin yapıdan ayrılmasını engelleyen ahşap güçlendirme elemanları da modele dahil edilmiştir.

Yığma yapıların modellenmesinde temelde iki yaklaşım görülür. Bunlardan ilki yapının birimlerinin ve birimleri birbirine bağlayan derzlerdeki harcın ayrı ayrı modellendiği, detaylı olan mikro modelleme yöntemidir. İkinci yöntem ise yapıyı oluşturan birimler ve bunları bağlayan harcın bir bütün olarak homojen davranış gösterdiğini kabul eden, ilkinde göre daha basit olan makro modelleme yöntemidir (Lourenço, 2013). Mikro modelleme yöntemi analiz süresini uzatacağından ve süreci zorlaştıracağından dolayı genellikle makro modelleme yöntemi tercih edilmektedir (Aslan ve Şahin, 2016). Tez kapsamında makro modelleme yöntemi tercih edilmiştir.

Sonlu elemanlar modelinde yapıyı oluşturan elemanlar ne kadar çok sonlu elemana ayrılırsa hesaplanacak olan gerilme değerlerindeki doğruluk da buna göre artar. Fakat yapının çok fazla sayıda elemana bölünmesi bir noktadan sonra modelin gereksiz ağırlaşmasına ve karmaşıklaşmasına sebebiyet verir. Ayrıca bir noktadan sonra eleman sayısının artırılması gerilme hassasiyetini etkilemez. Çünkü eleman sayısı ile doğruluk arasındaki ilişki doğrusal değildir (Erdoğan, 2018). Bundan dolayı yapının ölçeğine göre uygun sayıda sonlu elemana bölünmesi daha doğru bir yaklaşım olacaktır. Bu çalışmada da gerekli görüşler ve öneriler doğrultusunda eleman sayısı optimum tutulmaya çalışılmıştır.

Sonlu elemanlar modeli oluşturulurken kabuk (Shell) elemanlar genellikle dörtgen formda oluşturulmuştur. Analizin daha sağlıklı olması için mümkün oldukça üçgen elemanlar kullanılmamaya çalışılmıştır. Shell elemanlar soldan başlanarak saat yönünün tersine doğru oluşturulmuştur.

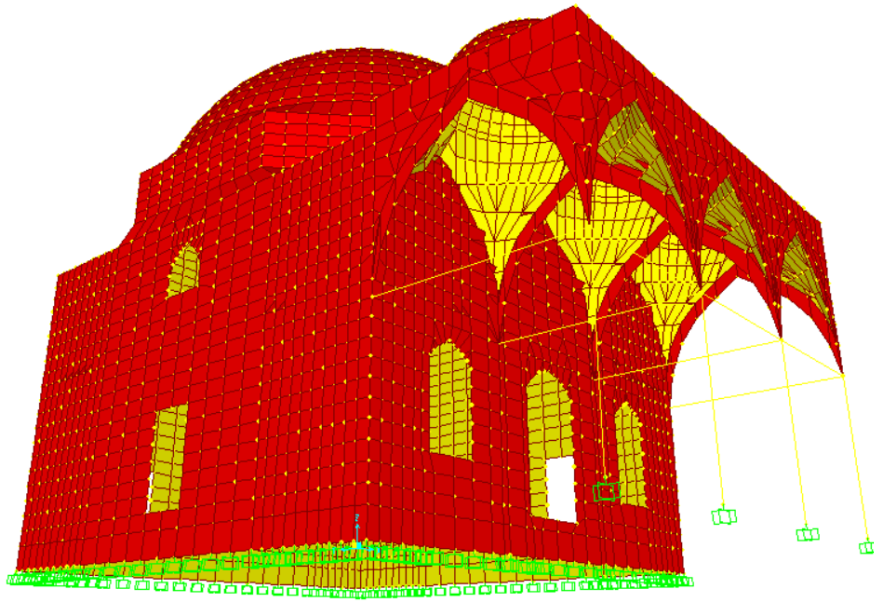
Oluşturulan sonlu elemanların her bir düğümünde X,Y,Z eksenlerindeki deplasmanlar olmak üzere üç serbestlik derecesi mevcuttur. Bu sebeple yapının analizi

sırasında düğüm noktalarının sayısının üç katı kadar bilinmeyen serbestlik derecesi olacaktır (Erdoğan, 2018).

4.1.3. Analiz sınır şartları

Caminin analizi yapılırken, caminin zemin ile bağlantısı ankastre mesnet olarak tanımlanmıştır. Minareye ait detaylı rölövelere ulaşılabilmesi ve minarenin ayrıca özel ve karmaşık bir modelleme gerektirmesi sebebiyle minare modellenmemiştir. Bundan dolayı yapının minare ile olan mesnet özellikleri dikkate alınmamıştır. Yapının temel sisteminin bilinmemesi sebebiyle temel ve zemin modellemesi yapılmamıştır.

Dursunoğlu (Tahir Paşa) Camisi'nin taban mesnetleme durumu Şekil 4.8'de gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Dursunoğlu (Tahir Paşa) Camisi'nin mesnet noktaları

4.1.4. Yapı malzemelerinin özellikleri

Sonlu elemanlar analizi yapılacak olan yapıda kullanılan malzemelerin mekanik özelliklerinin bilinmesi yapılan analizin daha doğru ve gerçekçi sonuçlar vermesini sağlayacaktır.

Tarihi camilerin duvarları genellikle taş malzeme ve bağlayıcı harçtan, kubbeleri ise genellikle tuğla ile bağlayıcı harçtan oluşmaktadır. Gergi çubukları ve güçlendirme

elemanları ise genellikle Osmanlı'da demir, Selçuklu'da ise ahşap elemanlar kullanılarak imal edilmektedir. Yapıya etki eden yükler neticesinde oluşan gerilme kuvvetlerinin belirlenen sınır değerinden az olması, malzemeler açısından kabul edilebilir sonuçlar olarak düşünülmektedir.

Yapıyı oluşturan malzemeler yeterli mukavemet ve sertliğe sahip olmalıdır. Malzemenin yoğunluğu ve yapıda kullanıldıktan sonra geçen sürede eskime durumu mukavemeti ve sertliği etkiler. Yapı malzemelerinin diğer önemli özelliği esnekliktir (elastiklik). Elastiklik, malzemeye etki eden yüklerden kaynaklanan deformasyonun yükler ortadan kalkınca ortadan kalkması demektir. Yani yükler ortadan kalkınca malzeme eski haline geri döner (Toker, 2000).

Yığma yapım tekniğiyle inşa edilen Dursunoğlu (Tahir Paşa) Camisi'nin duvarlarının alt kısımlarında ve kemerlerinde taş malzeme kullanılmıştır. Duvarların üst kısımlarında, kubbe geçiş elemanlarında, tromplarda ve kubbelerde tuğla malzeme kullanılmıştır.

Tarihi yapıyı oluşturan taş ve tuğla malzemeler arasında bağlayıcı olarak, farklı özelliklere sahip harç kullanılmaktadır. Bilgisayar programında yapının modellenmesi sırasında harç malzemesi için ayrı bir modelleme ve malzeme tanımlaması yapmak oldukça zordur. Taş veya tuğla malzemelerle harç malzemenin homojen bir malzeme olarak kabul edilmesi ile gerçek taş ve tuğlanın göstereceğine benzer bir davranış elde edebilmek için, duvar homojenleştirilmesi yapılmaktadır (Erdoğan, 2018).

Malzemelere ait fiziksel özellikler birbirlerinden farklıdır ve malzemelerin dayanımları, türlerine ve geçirdikleri süreçlere göre farklılıklar gösterebilir.

Tuğla malzemenin fiziksel özellikleri; bileşenlerine, kurutma işlemine, fırınlanma sıcaklığına, geçirdiği süreye ve süreç içerisindeki bozulma durumlarına bağlıdır. İyi pişirilmiş tuğlaların basınç dayanımı 15-30 MPa arasında iken, çekme dayanımları basınç dayanımlarının %5 ila %8'i kadardır. Elastisite modülü sertlik ile artar ve 5,000 ila 10,000 MPa arasında değişir (1MPa = 10 kg/cm²). Yanal ve eksenel şekil değiştirmelerin oranı olarak ifade edilen Poisson oranı 0,15-0,20 civarındadır (Crocì, 1998; Korkut, 2017).

Taş malzemenin mekanik özellikleri, taşın türüne, taş ocaklarının yapısına, aynı taş ocağından çıkarılsalar bile taş işçiliğine göre farklılıklar gösterir. Taşın mukavemeti, kumtaşı için 30-100 MPa, kalker için 20-200 MPa ve volkanik tüf için 3-10 MPa arasında olabilir (Crocì, 1998).

Yaygın olarak kireç ve kumdan oluşan tarihi harçların basınç dayanımı yaklaşık 2,5 MPa olduğu varsayılabilir. Fakat bu dayanım harcın eskime süresinden ciddi şekilde etkilenir (Crocì, 1998).

4.1.5. Analiz yükleri

Analizde yapıya etki eden üç tür yük vardır. Bunlar yapının kendi ağırlığından kaynaklanan ve değişmeyen zati yükler, hareketli yükler ve dinamik yüklerdir. Hareketli yükler yapının zati ağırlığına göre çok küçük olduğundan ihmal edilebilirler. Hareketli yüklere caminin üzerinde gezinen insan veya hayvanlar örnek olarak verilebilir. Dinamik yükler ise rüzgar, dalga, deprem gibi hareketlerin sonucunda oluşan titreşim yükleridir. Bu tür yükler yapılarda oluşabilecek hasarların asıl kaynağını oluşturduğundan yapı için önemlidir (Erdoğan, 2018).

Yapıdaki deprem analizleri için yapının bulunduğu yere özgü spektrum eğrisi kullanılmıştır. Spektrum eğrisi oluşturulurken AFAD'ın resmi internet sitesinden Konya'ya özgü yer ivmesi değerleri alınmıştır.

4.1.6. Analiz yöntemleri

Dursunoğlu (Tahir Paşa) Camisi'nin dinamik ve statik analizleri yapılmıştır. Dinamik analiz kapsamında deprem (yerin spektrum özellikleri tanımlanarak) analizi ve modal analiz yapılmıştır.

Analizler yapılırken malzemeler doğrusal (lineer) ve elastik olarak kabul edilmiştir. Yani malzemelerin kalıcı deformasyon yapmadığı ve malzeme rijitliğinin analiz süresince sabit olduğu varsayılmıştır. Bu çalışma kapsamında doğrusal olmayan (nonlinear) analiz yapılmamıştır. Malzemenin doğrusal olması demek (gerilme-birim deformasyon arasındaki ilişkinin doğrusal olması), malzemenin sadece bir tane elastisite modülü ile ifade edilebilmesidir (Erdoğan, 2018).

“Doğrusal Olmayan (non-lineer) Analiz” geometrik olarak; elemanın deformasyon ve iç kuvvet ilişkisinin veya eleman düğümleri ve iç kuvvetleri arasındaki ilişkinin (kuvvet dengesinin), malzemenin deforme olmuş halini baz alarak oluşturulduğu ve böylece ikinci derece etkilerin göz önünde bulundurulduğu analizdir (Erdoğan, 2018).

4.1.7. Modal analiz

Yapılara statik denge konumundayken titreşim (hareket) etki ettirildiğinde, yapılar yoğunluklarına ve rijitliklerine göre belirli frekansta titreşirler. Yapıların serbestlik derecesi sayısınca olan bu frekanslar yapıların doğal frekanslarıdır. Yapıların belirli bir frekansta titreşirken aldıkları şekil, mod şekli olarak adlandırılır. Yapının doğal titreşim frekansı ile dış etkilerden kaynaklanan titreşim frekansları örtüşürse rezonans meydana gelir. Bu da zamana göre yıkıcı etkilere uzanan hasarlara sebep olmaktadır (Erdoğan, 2018).

Modal analiz, öz değer analizi veya Eigenvalue olarak da bilinmektedir. Bu analiz, yapıların doğal frekanslarını, titreşim periyotlarını, iç sönümlerini, titreşim biçimlerini (mod şekli) ve kütle katılım oranlarını belirlemede kullanılır (Erdoğan, 2018).

Bu çalışma kapsamında, analiz sonucunda, yapının mod şekilleri ve titreşim periyotları gösterilmiştir.

4.1.8. Statik analiz

Yapının sabit yüklerine ve yapıya etki eden hareketli yükler dikkate alınarak yapılan analizdir.

Bu çalışmada yapıya etki eden hareketli yükler dikkate alınmamıştır. Yapının sabit yükler altındaki davranışı incelenmiştir. Yapının zati yükler altında göçmesi ve yapıda ciddi bir hasar oluşması çok düşük bir ihtimaldir. Bu sebepten bu durum üzerinde çok durulmamıştır.

4.1.9. Deprem analizi

Yapıların deprem analizi iki şekilde yapılabilmektedir. Bunlardan ilki yapıya, bulunduğu konuma göre bir deprem spektrumu tanımlayarak yapılmaktadır. Diğer yöntem ise, daha önceden meydana gelen bir depremin verileri yapıya uygulanarak, Zaman Tanım Alanında Analiz (Time History Analysis) yapılmaktadır.

Çalışma kapsamında daha sağlıklı veriler elde edebilmek amacıyla yapıya deprem spektrumu tanımlanmıştır. Analiz sonucundaki basınç ve çekme gerilmeleri, yer değiştirmeler, mod şekilleri ve diğer sonuçlar buna göre elde edilmiştir.

4.1.10. Analiz sonuçlarının değerlendirilmesi

Yapıya tanımlanan deprem spektrumuna göre elde edilen sonuçlar üç aşamada incelenmiştir.

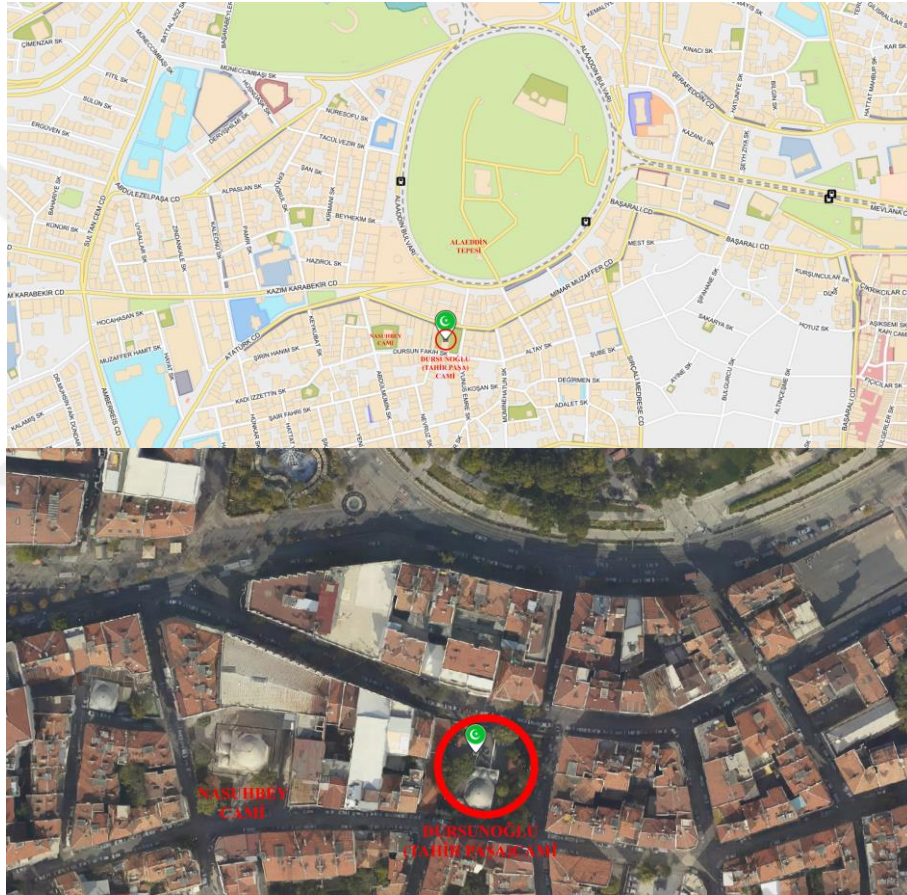
Bunlardan ilki; deplasman değerlerinin, yapının hangi kısımlarında ve hangi doğrultuda en fazla değerlere ulaştığıdır. İkinci olarak, yapıda deprem sonucunda meydana gelecek gerilmelerin en büyük ve en küçük değerlerinin saptanması ve gerilme dağılımlarının incelenmesidir. Üçüncü aşama ise, deprem etkisi altında yapının mod şekillerinin ve periyotlarının incelenmesidir.



5. DURSUNOĞLU (TAHİR PAŞA) CAMİ

5.1. Yapının Konumu

Dursunoğlu (Tahir Paşa) Cami, Konya'nın Meram İlçesi, Sahibata Mahallesi, Mimar Muzaffer Caddesi No:39'da, 571 ada 51 parsel üzerinde yer almaktadır. Cami Alaeddin Tepesi'nin yaklaşık 300 metre güneyinde bulunur (Aygör ve ark., 2010; Konya Kent Bilgi Sistemi, 2019).



Şekil 5.1. Dursunoğlu (Tahir Paşa) Camisi'nin Konumu (Konya Kent Bilgi Sistemi, 2019)

5.2. Dursunoğlu (Tahir Paşa) Camisi'nin Tarihçesi

Camiyi yapan ve yaptıran tam olarak bilinmemekle birlikte, bazı kaynaklarda Konya'nın ileri gelenlerinden Dursunoğlu Mehmet Bey tarafından yaptırıldığı söylenmektedir. Caminin adına yapıldığı kişinin yaşadığı döneme ve yapım tekniğine

bakılarak Karamanoğulları döneminde, 14. yüzyılın sonları veya 15. yüzyılın başlarında yapıldığı söylenmektedir (Karpuz,2009; Aygör ve ark., 2010).

Caminin kuzey cephesinde yer alan kitabede, 1888-1889 (H. 1306) Mecidiye oğullarından Tahir Paşa ile kardeşi Ali Bey tarafından onarıldığı söylenmektedir. Caminin son cemaat mahfili ve minaresi bu onarım sırasında ilave edilmiştir. Cami minaresinin tamiri ve idamesi için bir vakıf tesis edilmiştir (Karpuz, 2009; Aygör ve ark., 2010; Gezdiyar, 2017).

Ayrıca ilk Osmanlı hutbesinin burada okunduğu ve Fatih Sultan Mehmet Han'ın bu camide Cuma namazı kıldığı söylenmektedir. Fatih Sultan Mehmet zamanında 1476 yılında yaptırılan Karaman ili tahrir defterinde caminin adı Vakf-ı Mescid-i Mahalle-i Dursun Fakih şeklinde ve 3. Murat zamanında 1584 yılındaki Karaman ili tahrir defterlerinde caminin adı Mescid-i Mahalle-i Dursun Fakih şeklinde yer almaktadır. Ayrıca bu yapı, Mecidiyeler Cami, Dursun Fakih Cami gibi farklı adlarla da bilinmektedir. Caminin restorasyonu son olarak 2013 yılında Konya Büyükşehir Belediyesi tarafından yapılmıştır (Konyalı, 1997; Gezdiyar, 2017).

Cami Gayrimenkul Eski Eserler ve Anıtlar Yüksek Kurulu'nun 13.11.1982 gün ve 3861 sayılı kararıyla tescil edilmiş olup, günümüzde Vakıflar Genel Müdürlüğü'nün mülkiyetinde cami olarak kullanılmaktadır (Karpuz, 2009).



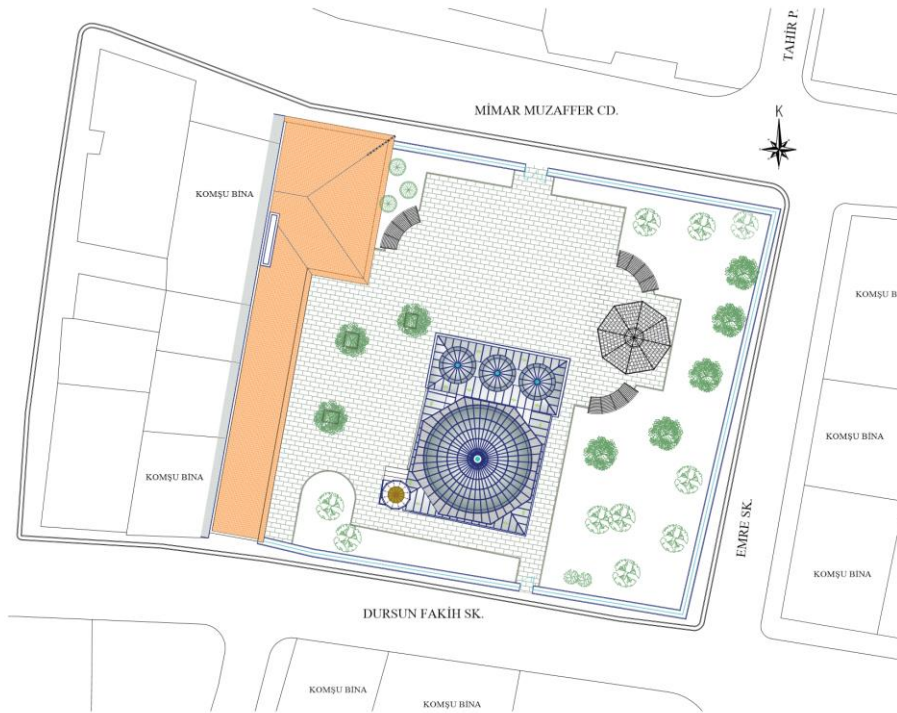
Şekil 5.2. İlk Osmanlı hutbesinin Dursunoğlu (Tahir Paşa) Camisi'nde okunduğunu belirten mermer kitabe (wowTURKEY, 2007)



Şekil 5.3. Caminin giriş kapısı üzerinde bulunan kitabesi

5.3. Dursunoğlu (Tahir Paşa) Camisi'nin Mimari Özellikleri

Cami, sade bir harim, kuzeyde son cemaat mahfili ve güney batı köşesinde bulunan minareden oluşur. Çevresinde, giriş aksında eski havuzlu bir şadırvan, kuzey doğuda açık kütüphane, batısında ise imam odası, müştemilatlar, abdest alma yerleri ve tuvaletlerin yer aldığı, alçak duvarla çevrili bir bahçenin içerisinde yer almaktadır.



Şekil 5.4. Dursunoğlu (Tahir Paşa) Cami vaziyet planı (Art & Dem Mimarlık, 2012a)

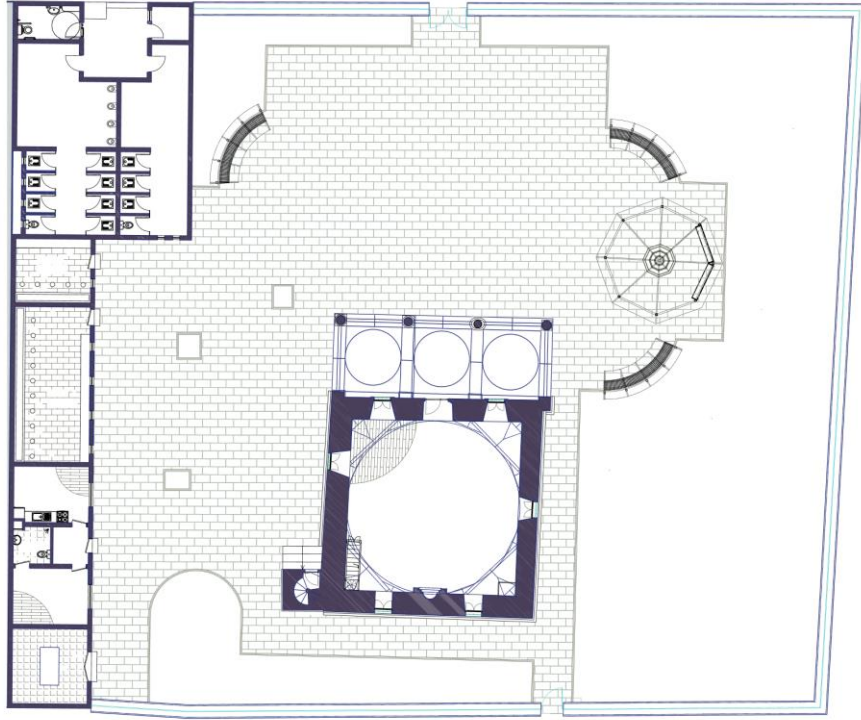
Caminin harim kısmı 9.02x9.07 m ölçülerinde olup kare planlıdır. Harimin üzeri 9.02 m çapında bir kubbe ile örtülüdür. Kubbeye geçiş tonoz bingilerle sağlanmıştır. Köşelerde birer adet büyük tonoz bingi ve büyük tonoz bingilerin içerisinde birer adet küçük tonoz bingi kademeli olarak yapılmıştır. Ayrıca büyük tonoz binginin iki tarafında üst kısımda iki küçük tonoz bingi daha yer almaktadır. Böylece kubbe kasnağı içeride önce büyük tonoz bingilerle sekizgene daha sonra küçük tonoz bingilerle on altıgene dönüştürülerek kubbeye geçiş sağlanır. Kubbe kasnağına dışardan bakıldığında sekiz köşelidir. Harime kuzey cephede yer alan çift kanatlı ahşap kapıdan girilir. Harimde kadınlar mahfili yer almamaktadır. Kadınlar için namaz kılacakları yer müştemilatlarla birlikte caminin batısında yer alır. Harim, doğu ve batı cephede yer alan birer adet, kuzey ve güney cephede yer alan ikişer adet alt pencereyle aydınlatılmaktadır. Aynı zamanda doğu, batı ve güney cephede kubbe kasnağında yer alan birer adet tepe penceresi de harimin aydınlatılmasına katkı sağlamaktadır. Güneyde muhdes mihrap ve minber yer almaktadır.



Şekil 5.5. Kubbeye geçişi sağlayan tonoz bingiler

Caminin kuzey cephesinde bulunan son cemaat revakı giriş aksının doğusunda ve batısında sekilerle 0.32m kadar yükseltilmiştir. Kuzeyinde dört adet devşirme sütunun bulunduğu son cemaat revakı üç yönde de sivri kemerlidir. Kemerler üzerine oturan toplam üç adet kubbe yer alır. Bu kubbeler yaklaşık 2.95 m çapındadır.

Kubbelere geçişte pandantiflerden yararlanılmıştır. Son cemaat revakı doğu cephede cami duvarı hizasından biraz dışa taşmıştır (Karpuz, 2009).



Şekil 5.6. Dursunoğlu (Tahir Paşa) Cami zemin planı (Art & Dem Mimarlık, 2012a)

Camin güney batı köşesinde bulunan minare tek şerefeli olup muhdestir. Minarenin kare prizma şeklindeki kürsüsü üçgen geçişlerle onikigen gövdeye bağlanır. Gövdeden iç bükey çokgenlerle genişletilen şerefe taş korkulukludur. Şerefe üzerinde yer alan petek onikigen şeklinde olup üzerinde basık bir külah bulunur. Minareye kuzeyde yer alan metal bir kapıdan girilmektedir. Minarenin ortalarında ve doğuda yer alan bir kapı ile caminin üst kısmına çıkılabilmektedir. Şerefede yer alan kapı ise güneydoğu yönüne bakmaktadır.



Şekil 5.7. Dursunoğlu (Tahir Paşa) Cami minaresi

Caminin kuzeydoğu tarafında yer alan kütüphane sekizgen planlı olup ahşap taşıyıcılıdır. Üst örtüsünde ise alaturka kiremit kullanılmıştır.



Şekil 5.8. Caminin kuzeydoğu cephesinde yer alan açık kütüphane

Caminin taban alanı yaklaşık 184 m²'dir. Harimin üstünü örten ana kubbenin zeminden yüksekliği yaklaşık 12 m, son cemaat mahfilinde bulunan kubbelerin yüksekliği yaklaşık 8.31 m, minarelerin zeminden yüksekliği yaklaşık 17.28 m olarak hesaplanmıştır. Ana kubbenin kalınlığı 0.46-0.80 m arasında değişmektedir. Son cemaat mahfilindeki küçük kubbelerin kalınlığı ise 0.20-0.40 m arasındadır. Kubbe kasnağının kalınlığı 0.84-0.94 m arasında değerler almaktadır. Duvar kalınlıkları ise kuzey cephede 1.17 m, doğu cephede 0.98-1.06m arasında, batı cephede 1.16-1.25 m arasında, güney cephede 1.15-1.17 m arasında olup mihrap kısmında 0.80 m'ye kadar düşmektedir.



Şekil 5.9. Dursunoğlu (Tahir Paşa) Cami A-A kesiti (Art & Dem Mimarlık, 2012a)



Şekil 5.10. Kubbenin içten ve dıştan görünüşü (Art & Dem Mimarlık, 2012b)

5.4. Caminin Taşıyıcı Sistem ve Malzeme Özellikleri

Bir yapının deprem performansını etkileyen iki ana unsur; taşıyıcı sistem ve malzeme özellikleridir. Bu özellikler bilgisayar ortamında da bir yapıyı analiz etmek için oldukça önemlidir. Bu sebepten taşıyıcı sistemin ve malzeme özelliklerinin dikkatli

bir şekilde incelenmesi, anlaşılması ve analiz aşamalarında doğru bir şekilde tanımlanması gerekmektedir.

Caminin taşıyıcı sistemine bakıldığında harim kısmında herhangi bir sütun veya ayak görülmemektedir, ana taşıyıcıları duvarlar oluşturmaktadır. Yani cami kâgir taşıyıcı sistem ile inşa edilmiştir. Duvarlar, tonoz bingiler, kemerler, mermer sütunlar ve kubbeler taşıyıcı sistemi oluşturan elemanlardır. Kubbeden gelen yükler tonoz bingiler vasıtasıyla duvarlara, taşıyıcı duvarlar ile de zemine aktarılır. Son cemaat mahfilinde kubbe yükleri, kuzeyde pandantifler ve kemerler vasıtasıyla mermer sütunlara, güneyde ise caminin duvarına aktarılmaktadır. Sütunların kaideleri son cemaat mahfilinde zeminden yaklaşık 0.32 m yükseltilmiş şekillere oturur.



Şekil 5.11. Son cemaat mahfilinde ortada bulunan kubbe, pandantif ve kemerler

Camide kullanılan malzemelere bakıldığında, yapının kesme taş, moloz taş, tuğla, harç, mermer ve ahşap malzemelerden inşa edildiği görülmektedir.

Konya'nın tarihî yapılarına bakıldığında kullanılan malzemelerin genellikle yakın çevrelerden sağlandığı, hatta civarda yıkılmış vaziyette bir yapı bulunuyorsa o yapının malzemelerinin kullanıldığı görülmektedir. Selçuklu ve Beylikler döneminde Konya'daki yapılarda genellikle kalsiyum bileşikleri olan kireç taşı ile, birleştiricisi kalkerli veya silisli olan kum taşlarının kullanıldığı görülmektedir. Bu taşlar Konya'daki ocaklardan temin edilmiştir. Konya yapılarında en sık kullanılan malzeme Sille taşı,

diğer adıyla Kentaşı'dır. Sille taşının en çok tercih edilen malzeme olması; kolay işlenebilir olması ve civarda bol miktarda bulunmasındandır. Bu taş Konya'nın 8 km kadar kuzeybatısında bulunan Sille civarından çıkartılır. Kullanılan diğer bir taş çeşidi ise Gödene taşıdır. Bu taş da Konya'nın yaklaşık 20 km güneybatısında bulunan Gödene köyünden çıkartılır. Yine yoğun olarak kullanılan taşlardan birisi de Kiçi Muhsine olarak adlandırılmıştır. Bu taş da Konya'nın kuzeybatısında, Horozlu Han civarındaki ocaklardan çıkartılır. Moloz taş örgülerde bu taşlardan en sık kullanılan Sille taşıdır (Muşmal ve Çetinaslan, 2009; Aktaş Yasa, 2016).

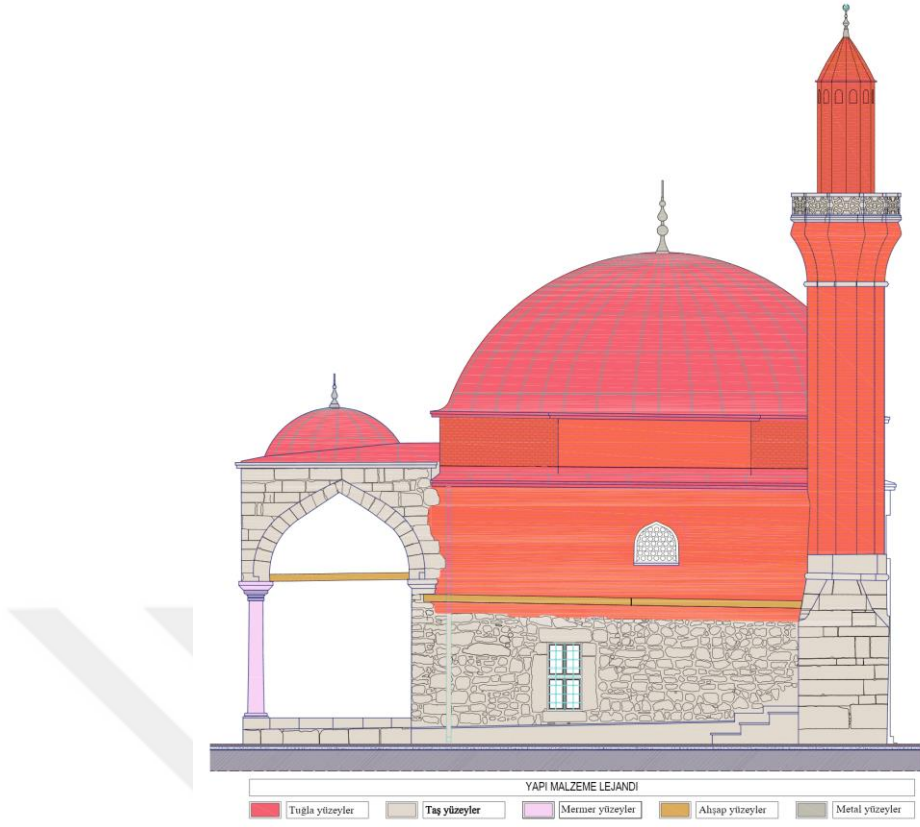
Dursunoğlu (Tahir Paşa) Camisi'nde de kullanılan kesme ve moloz taşların türünün de Sille taşı olduğu düşünülmektedir. Fakat bu taşların başka bir yapıdan ya da taş ocağından mı getirildiği, ne ile getirildiği, maliyetinin ne olduğu hakkında herhangi bir bilgiye ulaşılamamıştır. Caminin minaresinin kürsüsünde, minarenin gövdesine kadar, zeminden yaklaşık 4.64 m yüksekliğe kadar olan kısmında, son cemaat mahfili duvarlarının dış kısmında, kapı ve pencere boşluklarının kenarlarında kesme taş kullanılmıştır. Caminin batı ve kuzey cephesinde zeminden yaklaşık 3.10 m, doğu cephesinde zeminden yaklaşık 2.80 m ve güney cephesinde zeminden yaklaşık 2.94 m yüksekliğe kadar moloz taş kullanıldığı görülmektedir.

Tuğla malzeme; cephelerde moloz taşın bittiği yerlerden itibaren duvarlarda, kubbe kasmağında, kubbelerde, pandantifte, tonoz bingilerde, son cemaat mahfilinde giriş aksının doğusunda ve batısında bulunan iki kemerde ve minarenin gövde, şerefe, petek kısımlarında kullanılmıştır.

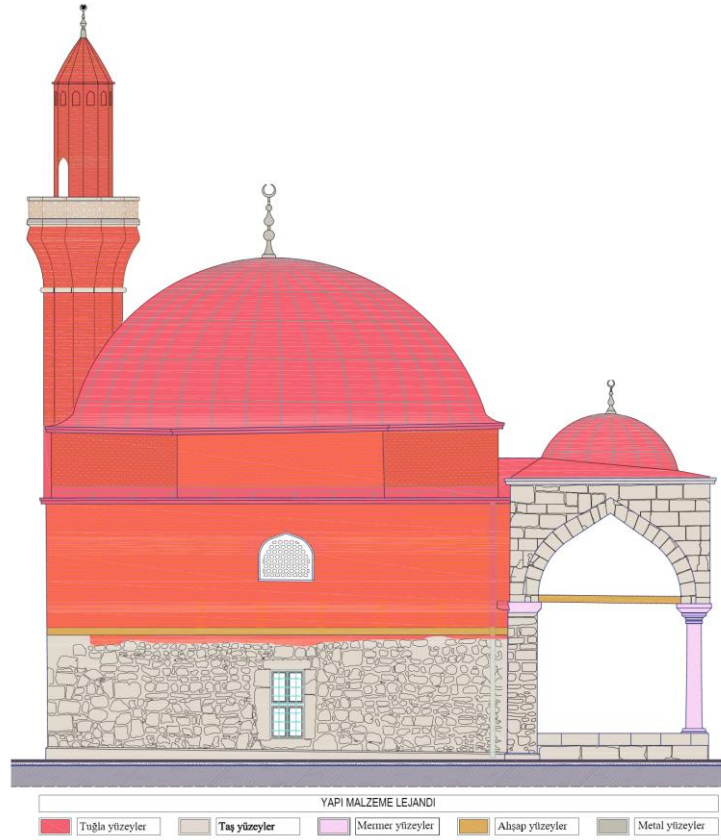
Caminin son cemaat mahfilinde yer alan ve kubbeleri taşıyan dört adet sütun, sütun başlıkları ve sütun altlıkları mermer malzemedendir.

Son cemaat mahfilindeki kemerlerde, kemerlerin açılmasını engellemek için, gergi elemanı olarak, duvarlarda hatıl olarak, son cemaat mahfilinin üzerini örten kubbelerin cepheden ayrılmasını engellemek için, son cemaat mahfili ve kuzey cephe arasında güçlendirme elemanı olarak ahşap malzeme kullanılmıştır.

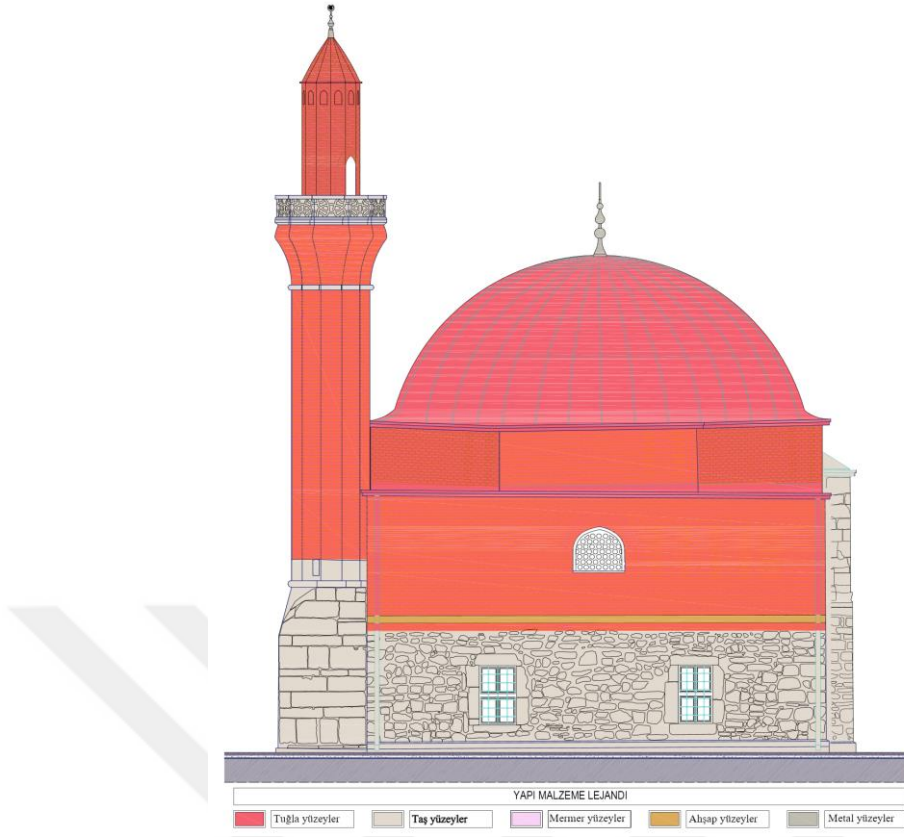
Taşların ve tuğlaların aralarında bağlayıcı malzeme olarak harç kullanılmıştır.



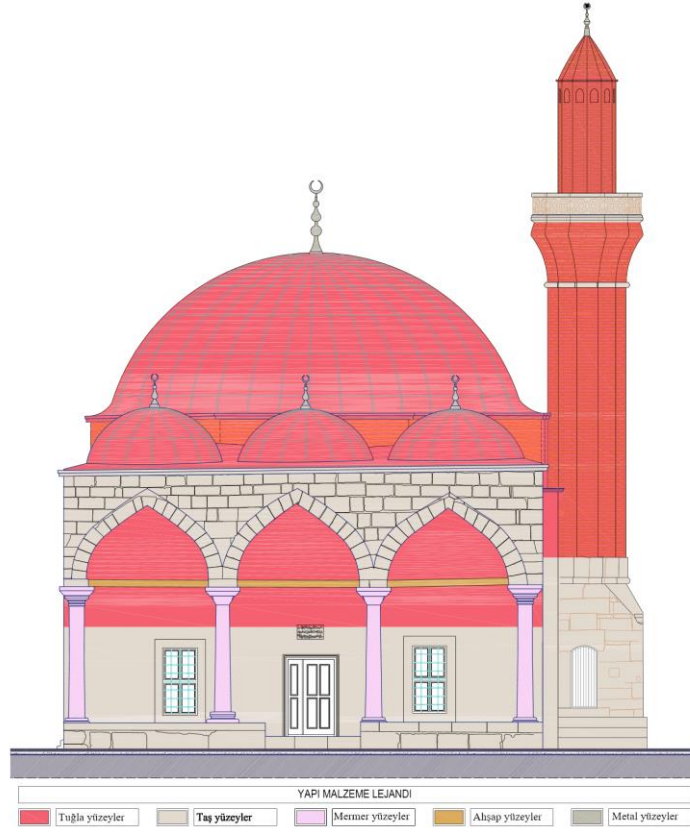
Şekil 5.12. Batı cephe malzeme analizi



Şekil 5.13. Doğu cephe malzeme analizi



Şekil 5.14. Güney cephe malzeme analizi



Şekil 5.15. Kuzey cephe malzeme analizi

5.5. Caminin Tarihi Süreçte Geçirdiği Değişiklikler ve Onarımlar

Kaynaklara göre yapının ilk defa kapsamlı bir şekilde onarımı, 1888-1889 yıllarında Mecidiye zadelere Tahir Paşa ve kardeşi Ali Bey tarafından yapılmıştır. Daha sonraki süreçte cami 1958 yılında yeniden onarılmıştır. Son kapsamlı onarım ise 2013 yılında Konya Büyükşehir Belediyesi tarafından yapılmıştır. Camide bulunan kalem işleri 1971 yılında yenilenmiştir. Cami dışında bulunan müstemilat, abdesthane ve bahçe düzenlemesi ise 1999 yılında yapılmıştır (Art & Dem Mimarlık, 2011a).

Dursunoğlu (Tahir Paşa) Camisi'nin harim kısmının 2011 yılında çekilmiş olan fotoğraflarına bakıldığında; harim duvarlarının belirli bir kota kadar mermer ile kaplanmış olduğu görülür. Mermerin üzerinde kalan duvarlar ve kubbe içi ise sıvalıdır. 2011 yılında hazırlanan rölöve raporuna göre bu sıvalar sonradan yapılmıştır ve çimento harçlıdır. Duvardaki mermerlerin ve pencerelerin yukarısındaki sıvanın üstünde, bordür formatında kalem işi süslemeler mevcuttur (Art & Dem Mimarlık, 2011b).



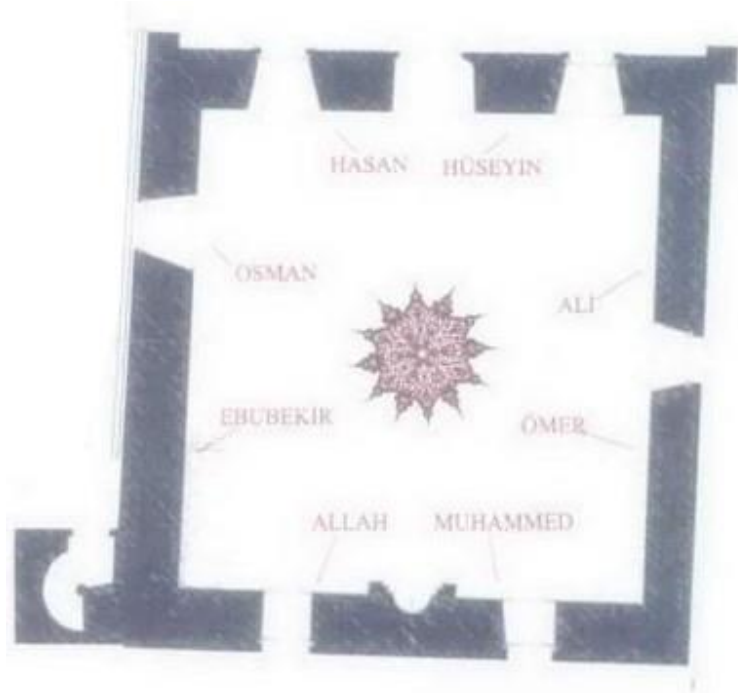
Şekil 5.16. 2011 yılında harimin kuzey duvarı (Art & Dem Mimarlık, 2012b)

Günümüzde harim duvarlarındaki mermerler sökülüştür. Harim duvarları tromplara kadar sıvalıdır. Tromplardan itibaren duvarlar ve kubbenin iç kısımlarındaki sıvalar raspa yapıldıktan sonra derzli tuğla dokusu ortaya çıkmıştır ve bu kısımlar yeniden sıvanmayarak tuğla görünümünü korumuştur. Duvarlarda herhangi bir kalem işi süsleme görünmemektedir.



Şekil 5.17. Günümüzde harimin kuzey duvarı

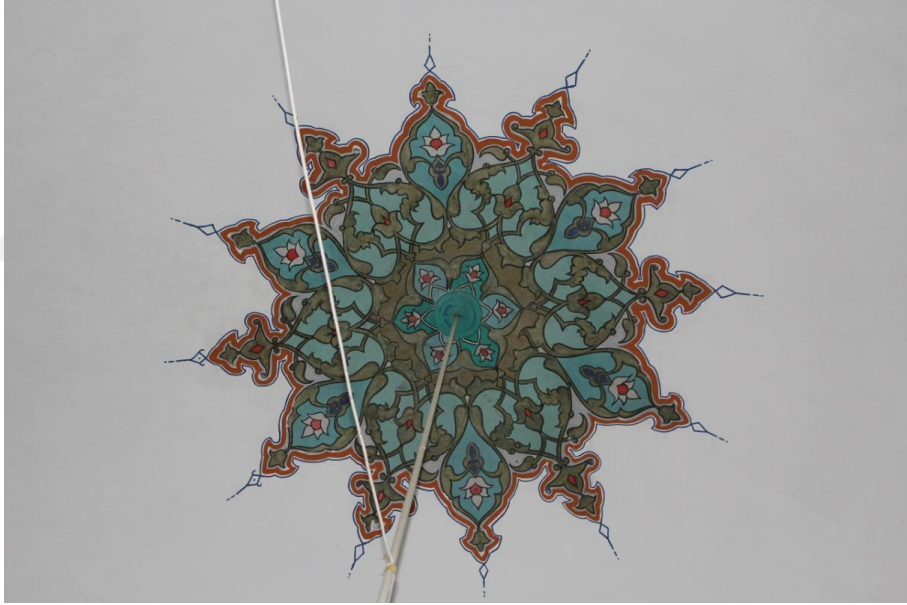
2011 yılındaki fotoğraflara göre; harimin üst köşelerinde yer alan trompların kenarlarında bulunan trompçukların içlerine “Allah, Muhammet, Ebubekir, Ömer, Osman, Ali, Hasan, Hüseyin” isimlerinin yazıldığı kalem işi rozetler yerleştirilmiştir. Ayrıca kubbenin ortasında 12 köşeli yıldız biçiminde kalem işi süsleme bulunur (Art & Dem Mimarlık, 2011b).



Şekil 5.18. 2011 yılında harimdeki trompçuklarda yer alan kalem işi rozetler (Art & Dem Mimarlık, 2011b)



Şekil 5.19. Trompçuklardaki yazılar (Art & Dem Mimarlık, 2012b)

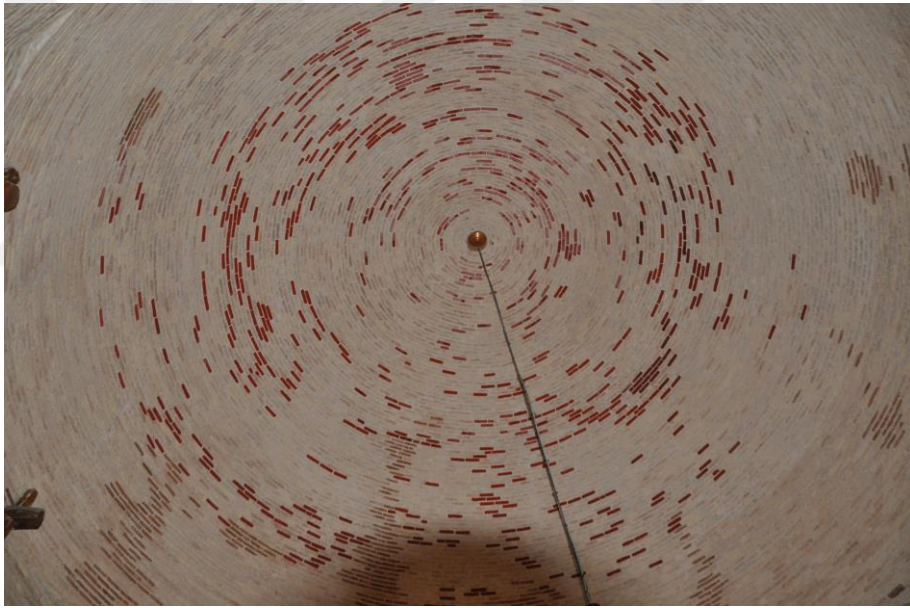


Şekil 5.20. Kubbe süslemesi (Art & Dem Mimarlık, 2012b)

Günümüzde tromplardaki, trompçuklardaki ve kubbenin içindeki sıvalar kaldırıldığı için buralarda herhangi bir kalem işi rozete ve süslemeye rastlanılmaz. Trompçukların içerisine bulunan kalem işi rozetlerdeki isimler, bazılarının yerleri değiştirilerek harim duvarlarının üst kısımlarına plakalar halinde asılmıştır. Buna göre harimin güney duvarında “Allah ve Muhammet” isimlerine, batı duvarında “Ali, Osman, Hasan” isimlerine, doğu duvarında “Ebubekir, Ömer, Hüseyin” isimlerine, kuzey duvarında ise “Vav ve Gaf” harflarına yer verilmiştir.



Şekil 5.21. Tromp ve trompçuklardaki tuğla dokusu



Şekil 5.22. Kubbenin tuğla dokusu

2011 yılında, harim duvarlarındaki pencerelere bakıldığında; kuzeydeki pencereler hariç, bir adet içte bir adet dışta olmak üzere iki adet ahşap doğramalı pencere kullanıldığı görülmektedir.



Şekil 5.23. Batı duvarı pencere detayı (Art & Dem Mimarlık, 2012b)

Günümüzde duvarlardaki içte yer alan pencereler kaldırılmıştır. Dış kısımdaki pencereler ise doğramaları değiştirilerek yeniden yapılmıştır.



Şekil 5.24. Günümüz batı duvarı pencere detayı

Caminin güney duvarında yer alan mihrap ve minberin sonradan yapıldığı belirtilmiştir. Mihrap iki renkli mermerden yapılmıştır. Mihrap nişi yarım daire planlıdır. Nişin üst kısmının s-c kıvrımlı dekoratif barok tarzı kemerli olduğu belirtilmiştir. Kemerin yanlarında “Allah” ve “Muhammet” yazan çini panolar bulunmaktadır. Nişin üzerinde ise mihrap ayeti olduğu belirtilen mermer hat yazılı levha yer almaktadır (Art & Dem Mimarlık, 2011b).

Ahşaptan yapılan minberin yan yüzeyi ve kapısı formika kaplama yapıştirılarak künde-kârî görünümlü geometrik motiflerle süslenmiştir.



Şekil 5.25. Mihrap detayı (Art & Dem Mimarlık, 2012b)



Şekil 5.26. Minber detayı (Art & Dem Mimarlık, 2012b)

Günümüzde camideki mihrap ve minberin değiştiği görülmektedir. Mihrap tek renkli sade bir mermer kullanılarak, eskisiyle aynı şekilde üç kademeli olarak yapılmıştır. Önceden s-c kıvrımlı olan mihrap nişinin üzerindeki kemer detay olarak değişmiştir. Kemerin yanlarındaki “Allah” ve “Muhammet” yazıları ile nişin üzerindeki mihrap ayeti şekilleri ve boyutları değiştirilerek yeniden kullanılmıştır. Minber ise tamamen ahşaptan yapılmış olup formika kaplamalar kaldırılmıştır. Minberin geometrik süslemeleri ise aynı şekilde korunmuştur.



Şekil 5.27. Günümüz mihrap detayı



Şekil 5.28. Günümüz minber detayı

2011 yılında son cemaat mahfili alüminyum doğramalı camekanla kapatılmış şekildedir. Bu camekan yapıya yakın zamanda yapılmıştır. Arıca son cemaat mahfilinin üzerini örten küçük kubbeler ve kubbelerin oturduğu kemerler sıvalı vaziyettedir. Girişin sağına ve soluna ayakkabılıklar yerleştirilmiş ve sağ kısım ile sol kısım farklı iki mekan gibi kullanılmıştır. Girişin doğu tarafı, pvc bir kapı ile girilen kadınlar bölümünü oluşturmaktadır. Girişin batı kısmı ise son cemaat mahfili olarak kullanılmıştır.



Şekil 5.29. Harim giriş kapısı ve kitabe (Art & Dem Mimarlık, 2012b)



Şekil 5.30. Son cemaat mahfilinde kadınlara ayrılan kısım (Art & Dem Mimarlık, 2012b)



Şekil 5.31. Son cemaat mahfili orta kubbesi (Art & Dem Mimarlık, 2012b)

Günümüze gelindiğinde son cemaat mahfilini kapatan alüminyum doğramalı camekanlar sökülmüştür. Ayrıca küçük kubbelerde ve kemerlerde ise harimdeki gibi sıva raspası yapılarak tuğla dokusu ortaya çıkartılmış ve bu şekilde korunmuştur. Giriş kapısının üzerinde bulunan mermer kitabeldeki boya temizlenmiştir. Girişin sağında ve solunda yine ayakkabılıklar bulunsa da son cemaat mahfili bir bütün olarak tek mekan şeklindedir. Kadınlar bölümü ise müştemilatların olduğu caminin batı kısmına yapılmıştır.



Şekil 5.32. Günümüz son cemaat mahfilinden bir görünüş



Şekil 5.33. Günümüz son cemaat mahfili orta kubbesi

1800'lü yılların sonu ve daha sonrasındaki fotoğraflara bakıldığında Dusunoğlu (Tahir Paşa) Camisi'nin kubbesinin tuğla üzeri samanlı çamur sıva ile kaplı olduğu görülmektedir. Kubbenin üzerinde belirli aralıklarla yerleştirilmiş ve basamak işlevi de olan tuğla çıkıntılar mevcuttur (Konyalı, 1997). Kubbelerde ve caminin üst kısımlarında bakımsızlıktan dolayı sıvaların yer yer döküldüğü ve bitkilenmelerin olduğu görülmektedir.

Yapının 2011 yılındaki fotoğraflarında ise kubbelerin kurşun ile kaplandığı görülmektedir.



Şekil 5.34. Caminin eski bir fotoğrafı (Araştırma)



Şekil 5.35. Caminin kubbesinin 2011 yılındaki fotoğrafı (Art & Dem Mimarlık, 2012b)

Bugün baktığımızda, caminin kubbelerindeki kurşunların korunduğu görülmektedir. Fakat kubbedeki basamak görevi gören tuğla çıkıntıların korunduğu veya kaldırıldığı hakkında herhangi bir bilgiye ulaşamamıştır. Kubbedeki kurşun kaplamanın üzerinin düzgün olması sebebiyle kubbedeki bu çıkıntıların kaldırıldığı düşünülmektedir.



Şekil 5.36. Caminin günümüzdeki kubbesi

Konya müzesindeki 971 tarihli şer’i sicil defterine bakıldığında yapının minaresinin vakfına ait bir kayda rastlanıldığı ve buna göre minarenin yapıdan daha sonra ve ayrı olarak inşa edildiği söylenmektedir. Minarenin tamiri ve ayakta kalması için de özellikle bir vakıf tesis edildiği görülmektedir (Art & Dem Mimarlık, 2011a). Eldeki en eski fotoğraf olan, 1887 yılında çekilmiş fotoğrafa bakıldığında yapının minaresinin günümüzdekiyle aynı yerinde ve şeklinde var olduğu görülmektedir. Buna göre yapının minaresi 1887 yılından önceki bir dönemde inşa edilmiştir.



Şekil 5.37. Dursunoğlu (Tahir Paşa) caminin 1884 yılına ait fotoğrafı (Haynes, 1884)

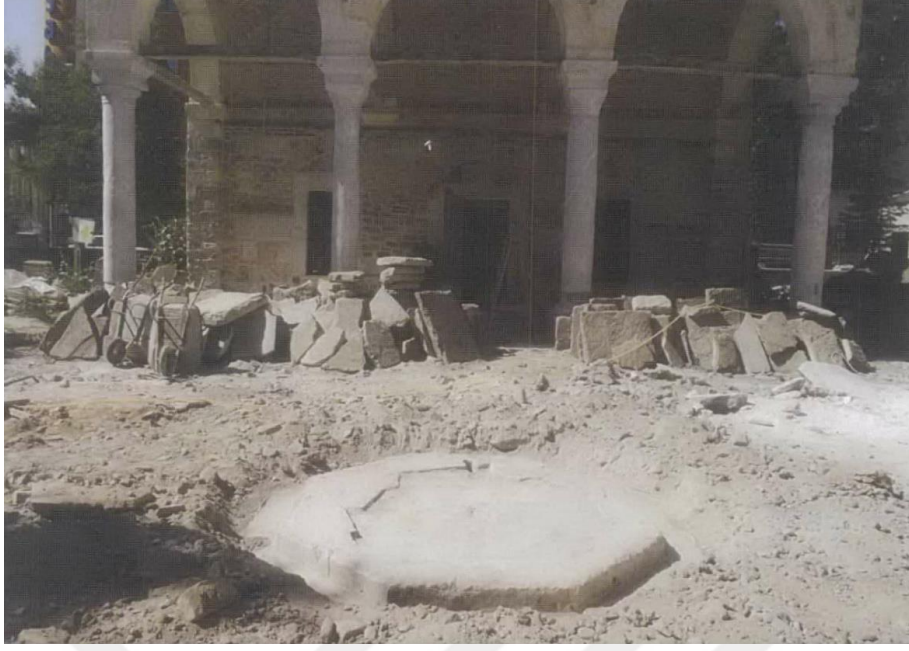
Günümüzde minare, caminin güneybatı köşesinde, batı cephesinin önünde, ilk yapıldığı yerde ve şekliyle yer almaktadır.



Şekil 5.38. Minarenin günümüzdeki hali

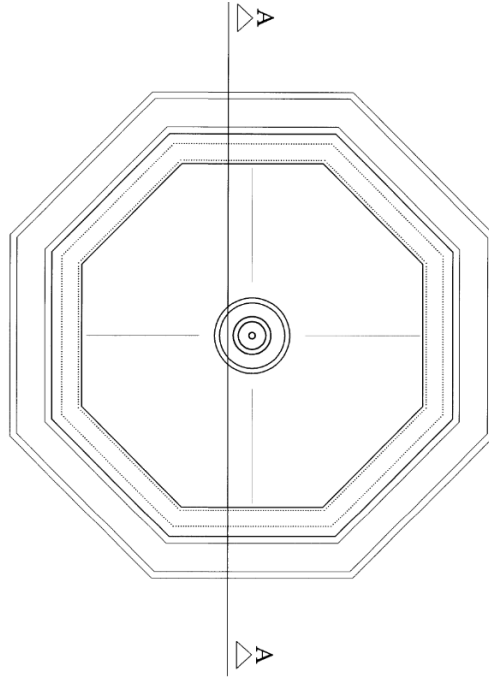
Caminin restorasyonu sırasında, bahçe düzenlemesi amacıyla yapılan hafriyat çalışmaları esnasında, şadırvan kaidesi bulunmuştur. Şadırvan kaidesi, caminin giriş aksı üzerinde, kuzey cephenin önünde yer almaktadır. Şadırvan cami ile aynı dönemde veya daha sonradan Osmanlı Döneminde eklenmiştir. Bulunan temel izlerine bakıldığında, temeli oluşturan taşların metal kenetlerle birbirlerine bağlandığı görülmektedir. Bu sayede günümüze kadar parçalanmadan gelebilmiştir (Art & Dem Mimarlık, 2014b).

Elde edilen bilgilere göre yapıldığı dönemde kullanılan malzemelerin taş veya mermer olduğu, sekiz köşeli ve üstü açık fiskiyeli olduğu bilinmektedir. Şadırvanın fiskiyesi ile ilgili kesin bir bilgi elde edilememiştir (Art & Dem Mimarlık, 2014b).

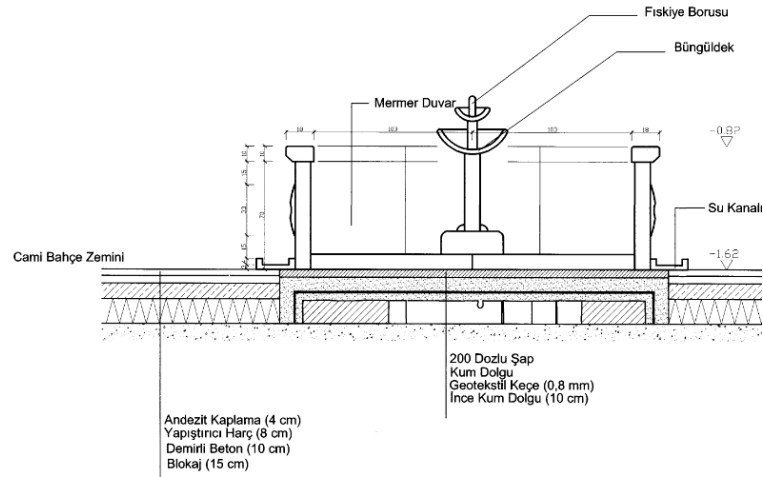


Şekil 5.39. Şadırvan izleri (Art & Dem Mimarlık, 2012b)

Günümüzde şadırvana bakıldığında aslına uygun olarak sekizgen biçimiyle, mermer malzeme kullanılarak yeniden inşa edildiği görülmektedir. Fakat şadırvanın fiskiye kısmı yıkılmış olup, çeşme muslukları sökülmüş ve şadırvan biraz tahrip edilmiştir. Bundan dolayı şu an şadırvan kullanılmamaktadır.



Şekil 5.40. Şadırvan restorasyon planı (Art & Dem Mimarlık, 2014a)



Şekil 5.41. Şadırvan restorasyon kesiti (Art & Dem Mimarlık, 2014a)



Şekil 5.42. Şadırvanın günümüzdeki hali.

Caminin batısında yer alan abdesthane, imam odası, depo, gasilhane ve tuvalet 1999 yılında yapılmıştır. 2011 yılındaki fotoğraflara bakıldığında müştemilatların üst örtüsünün oluklu sac levha olduğu ve paslandığı görülür. Ayrıca abdesthanenin cephesi demir camekanla kapalıdır ve burada da paslanmalar mevcuttur. Bu zamanda tespit edilen bir diğer sorun ise, abdest alma yerindeki atık su ve tesisat sorunları sebebiyle burada kötü koku hissedilmesidir (Art & Dem Mimarlık, 2011a)



Şekil 5.43. Abdest alma yerinden 2011 yılına ait bir görünüm (Art & Dem Mimarlık, 2012b).

Günümüzde müştemilatlar yeniden yapılmıştır. İmam odası, abdest alma yerleri, kadınlar bölümü, tuvalet şeklinde caminin batısında yer almaktadır. Müştemilatların üzeri alaturka kiremit ile örtülüdür. Tuvaletlerin girişi cami avlusunun dışında olup, yol üzerindedir.



Şekil 5.44. Müştemilatların günümüzdeki halinden bir görünüm

5.6. Yapıdaki Mevcut Güçlendirmeler

Dursunoğlu (Tahir Paşa) Camisi'ndeki yapılan güçlendirmelere bakıldığında, son cemaat mahfilindeki küçük kubbelerin oturduğu kemerler arasındaki ahşap gergi çubukları dikkat çekmektedir. Ayrıca giriş cephesinde, gergi çubuklarının hizasında, kemer tırnaklarının altında ve pencere kenarlarında duvara gömülü vaziyette bulunan ahşap hatıllar vardır.



Şekil 5.45. Son cemaat mahfili ve giriş cephesinde bulunan güçlendirme elemanları

Diğer cephelere bakıldığında, yaklaşık olarak cephedeki taş malzeme ile tuğla malzeme arasında ahşap hatıllar bulunmaktadır.

Göze çarpan ve yapı için oldukça önemli olan bir diğer güçlendirme de caminin harim kısmında, giriş kapısının üzerinde bulunmaktadır. Bu güçlendirmeler son cemaat mahfilini cami beden duvarlarına bağlayarak, son cemaat mahfilinin yapıdan ayrılmasını önlemektedir. Güçlendirmelerden birisi son cemaat mahfilindeki kubbelerin arasında bulunan kemerlerin üst hizasında yer alır ve ahşap hatıl, caminin duvarına ahşap kama vasıtasıyla sabitlenmektedir. Diğeri de yaklaşık olarak gergi çubukları hizasında yer alan ahşap bağlantılardır.



Şekil 5.46. Giriş kapısı üzerinde yer alan ve son cemaat mahfilini cami duvarına sabitleyen ahşap elemanlar

Yapı duvarlarının üst kısmında bulunan kemerli küçük pencerelerin üzerinde de ahşap hatıllar görülmektedir.

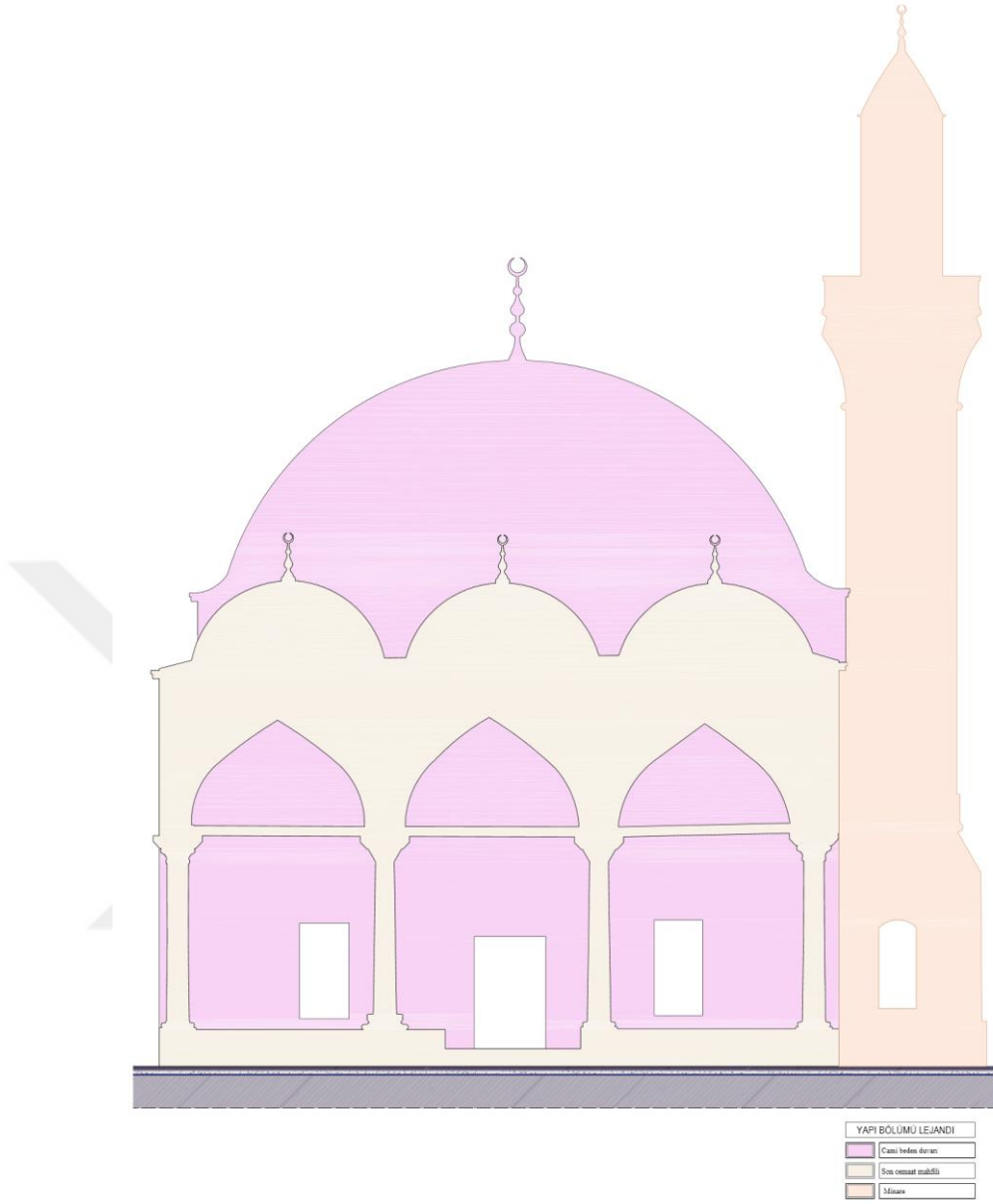


Şekil 5.47. Güney cephede yer alan küçük pencere üzerindeki ahşap hatıl

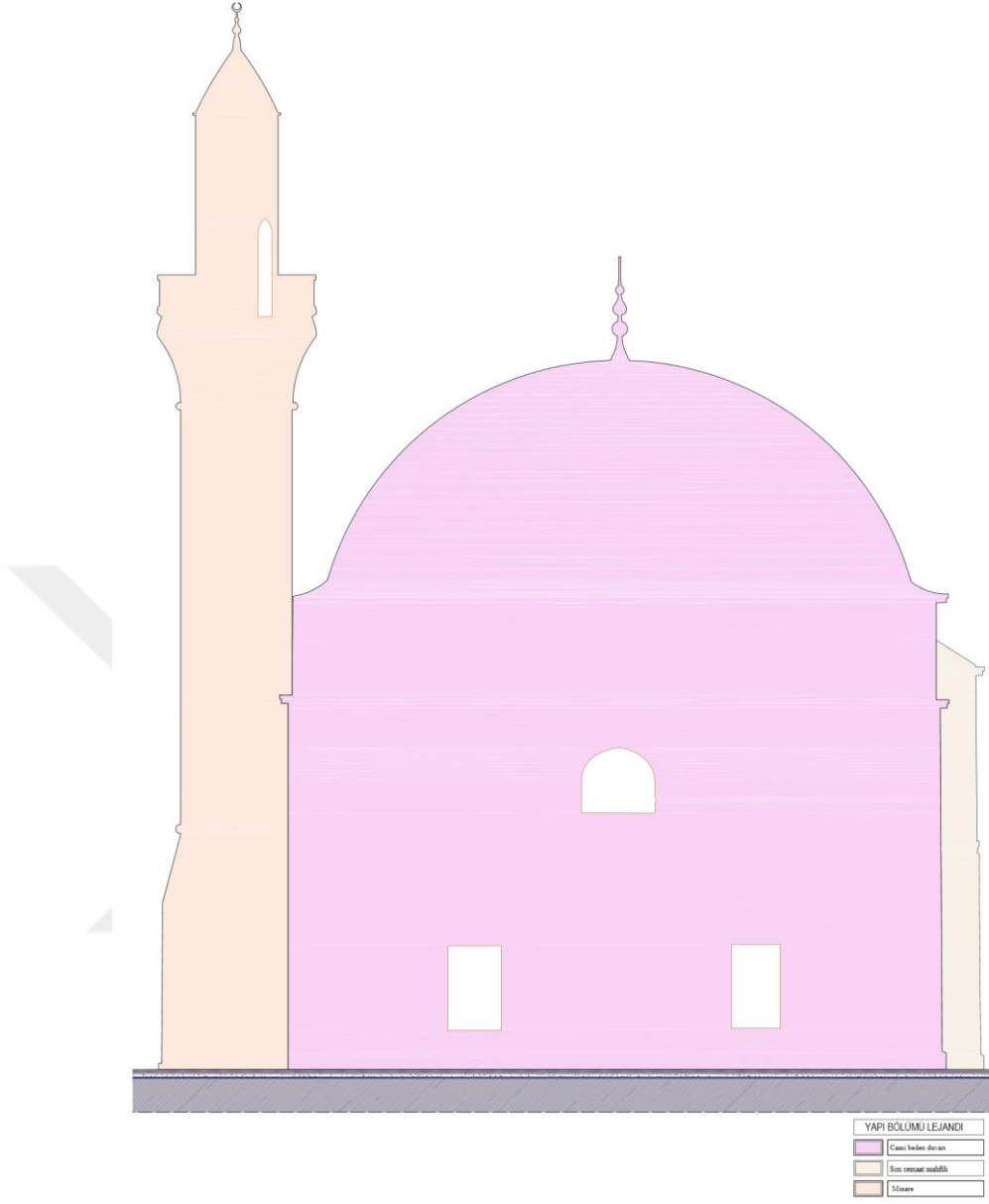
5.7. Yapının Cephelerindeki Doluluk Boşluk Durumu

Tarihi yapıların dayanımında doluluk boşluk oranı oldukça önemlidir. Çünkü tarihi yapıdaki boşluk oranı arttıkça yapı statik olarak daha dayanıksız bir hale gelmeye başlar ve deprem gibi dış etkilere karşı performansı düşük olabilir. Bu sebepten geçmişten bugüne doğru baktığımızda tarihi yapılarda; payanda, kemer, hatıl gibi elemanlar kullanılarak yapıdaki boşluk miktarları güvenli bir şekilde arttırılmaya çalışılmıştır.

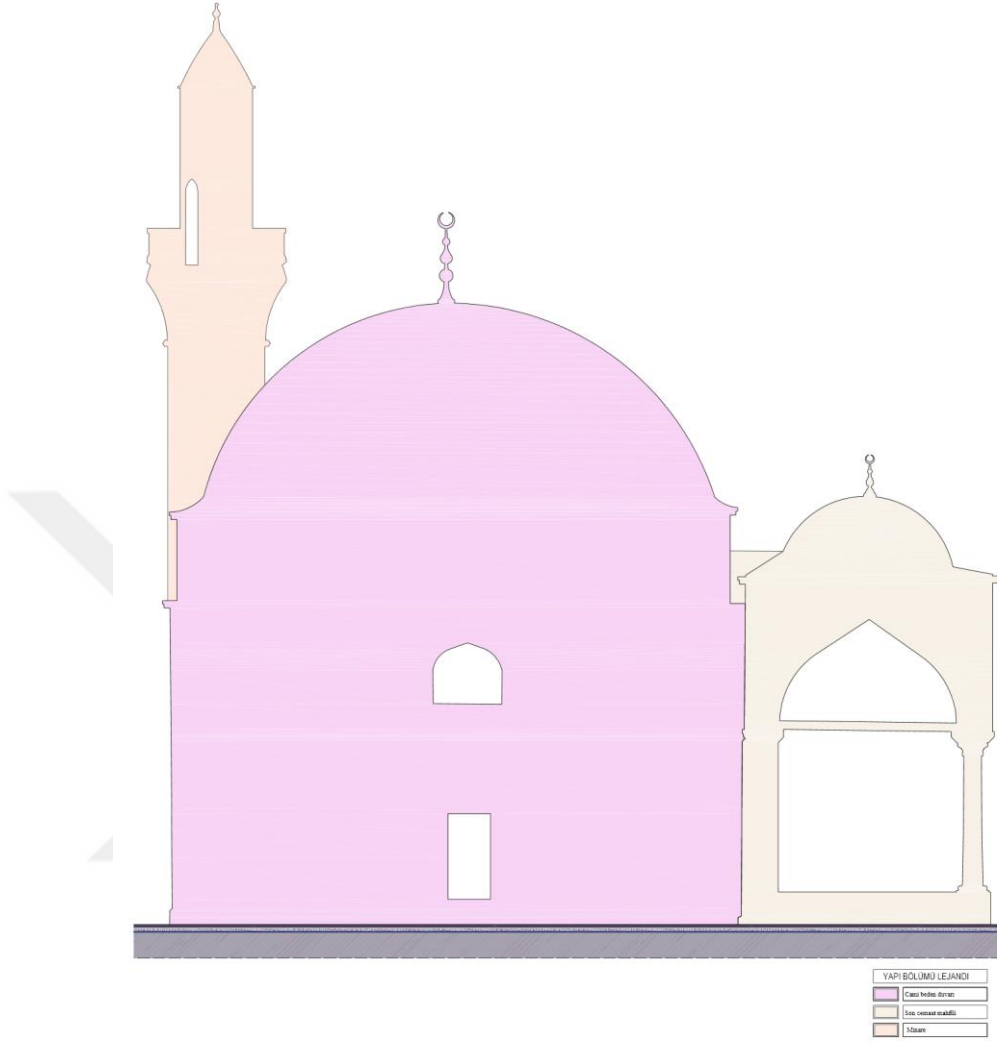
Dursunoğlu (Tahir Paşa) Camisi'ne bakıldığında, yapıdaki boşluk oranının giriş cephesinde en fazla olduğu görülmektedir. Ayrıca giriş cephesinin önünde yer alan son cemaat mahfilinde boşluk oranı oldukça fazladır. Boşluğun fazla olmasından kaynaklanabilecek statik sıkıntılar ahşap gergi elemanları ve yapı cephesine yapılan sabitlemelerle en aza indirilmeye çalışılmıştır.



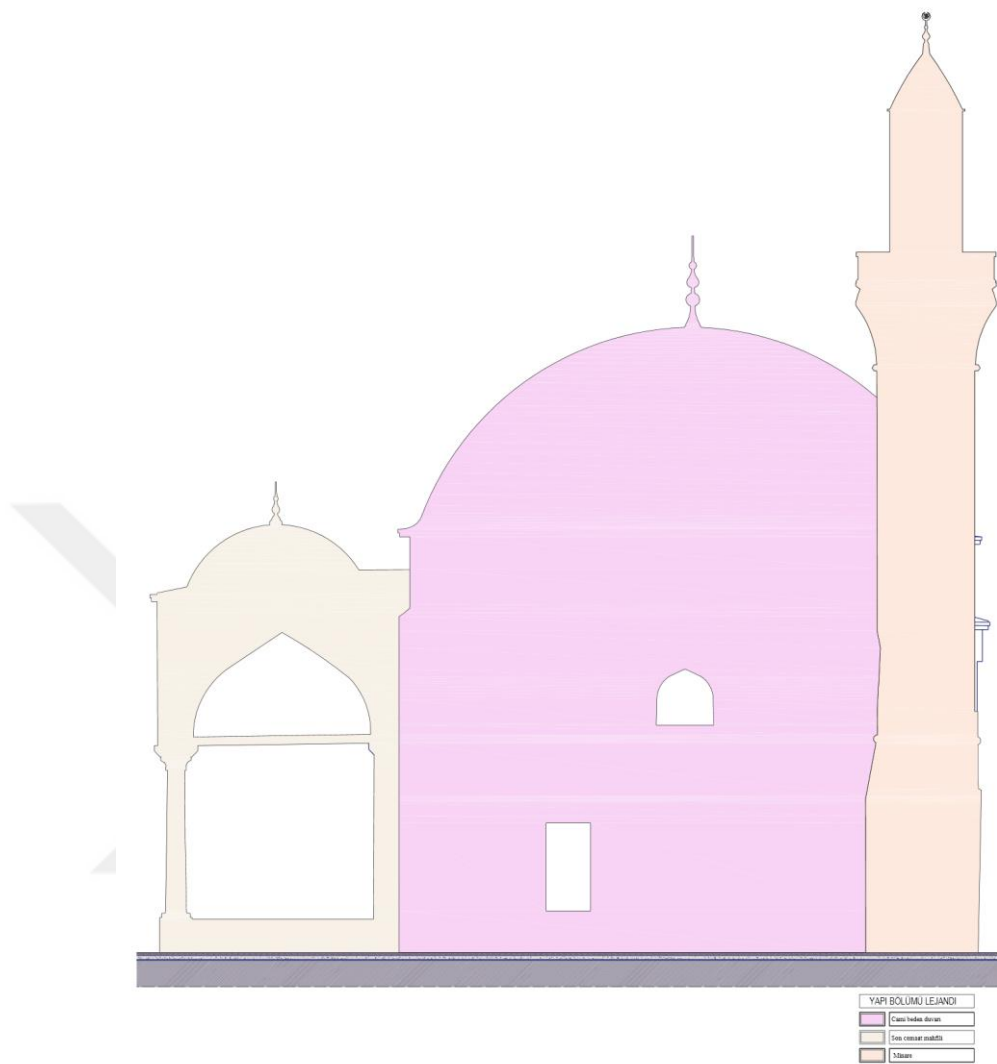
Şekil 5.48. Kuzey cephe doluluk boşluk durumu



Şekil 5.49. Güney cephe doluluk boşluk durumu



Şekil 5.50. Doğu cephe doluluk boşluk durumu



Şekil 5.51. Batı cephe doluluk boşluk durumu

6. DURSUNOĞLU (TAHİR PAŞA) CAMİSİ'NDE SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİNİN UYGULANMASI

Tarihi yapıların sonlu elemanlar modelinin oluşturulması ve analizi kapsamında örnek olarak ele alınan Dursunoğlu (Tahir Paşa) Camisi'nin sonlu elemanlar modelinin oluşturulması ve analizinin yapılması bu bölümde ayrıntılı şekilde incelenecektir. Her tarihi yapı kendine özgü özellikler barındırdığından, her bir yapı özel olarak incelenmelidir. Modelleme, analiz ve daha öncesinde yapılan araştırmalar ve incelemeler kapsamında yapı malzemesinin, yapının ve taşıyıcı sistemin özellikleri, bu alanda çalışan çeşitli meslek grupları tarafından detaylı bir şekilde incelenmelidir (Koçak, 1999).

Tarihi yapılar oldukça karmaşık bir yapıda olduklarından, bu yapıların modellerinin oluşturulması ve analizlerinin yapılması da oldukça zordur. Bunun yanında disiplinler arası çalışma gerektirmesi de bu konuda yapılan çalışmaları biraz daha zorlaştırmaktadır.

6.1. Dursunoğlu (Tahir Paşa) Camisi'nin Sonlu Elemanlar Modeli İçin Modelleme Yönteminin Belirlenmesi

Sonlu elemanlar modeli oluşturmadan önce ilk bakılması gereken, yapı elemanlarını modellemek için hangi yöntem ve tekniklerin hangi program vasıtasıyla kullanılacağına belirlenmesidir.

Dursunoğlu (Tahir Paşa) Camisi incelendiğinde, caminin; taşıyıcı duvarlar, kubbeler, tromplar, pandantifler, sütunlar ve gergi elemanlarının birleşiminden meydana gelen bir yapı olduğu görülmektedir. Kubbeler, pandantifler ve tromplar, model yükünü hafiflettiğinden ve aynı zamanda birbirleri arasındaki yük aktarımını kolay ve doğru bir şekilde ifade ettiğinden dolayı shell (kabuk) eleman olarak modellenmiştir. Ayrıca Shell elemanlar basınç ve çekme gerilmelerini daha iyi bir şekilde gösterip, analizi kolaylaştırması sebebiyle de tercih edilmiştir. Sütunlar ve gergi elemanları ise frame (çerçeve) elemanlar kullanılarak modellenmiştir ve shell (kabuk) elemanlara bağlanmıştır.

Çerçeve elemanlar, çerçeve sistemlerin iki veya üç boyutlu modellenmesinde kullanılır. Prizma kesitli yada isteğe bağlı olarak değişik kesitlerde olabilirler. Kabuk elemanlar ise eğilmeye maruz kalabilen plak ve kabuk sistemlerin iki ve üç boyutlu

modellenmesinde kullanılır ve dört adet düğüm noktasından meydana gelir. Bazı geçiş bölgelerinde üçgen biçiminde elemanlar kullanılabilir (Koçak, 1999). Caminin sonlu elemanlar modelinde de bu türden elemanlar kullanılmıştır.

Yapılar modellenirken kullanılan yöntemlerden birisi; yapıyı oluşturan malzemeler ve malzemeler arasında kullanılan yapıştırma harçlarının tek tek modellenmesidir. Fakat bu şekilde bir modelleme daha çok yapının belirli bir kısmını analiz etmek için veya doğrusal olmayan analizlerde kullanılmaktadır. Yapının tamamının bu şekilde modelinin oluşturulması modeli çok ağırlaştırması, çok karmaşık olması ve malzemeler hakkındaki teknik verilerin eksikliği sebebiyle genellikle tercih edilmemektedir. Bir diğer yöntem ise; yapıyı oluşturan malzemeler ve bunların arasındaki yapıştırma harçlarının bir bütün olarak değerlendirilmesi ve yapı elemanlarının homojenleştirilerek model oluşturulmasıdır. Dursunoğlu (Tahir Paşa) Camisi de bu şekilde modellenmiştir.

6.2. Dursunoğlu (Tahir Paşa) Camisi'nin Sonlu Elamanlar Modelinin Oluşturulması

Analitik modelleme ilkeleri dikkate alınmadan oluşturulan veriler, analiz programlarında ciddi yanlış sonuçlara sebep olabilirler. Bundan dolayı tarihi yapıların statik analizleri yapılırken en önemli aşama yapının sayısal modelinin oluşturulmasıdır. Farklı malzemelerden oluşan ve değişken kesit geometrisine sahip olan taşıyıcı sistemi oluşturan elemanların, mekaniğin temel kuralları göz önünde bulundurularak doğru ve uyumlu bir şekilde matematiksel terimlere dönüştürülerek ifade edilmesi sayısal modelleme olarak tanımlanabilir (Akan, 2010; Can ve Ünay, 2012).

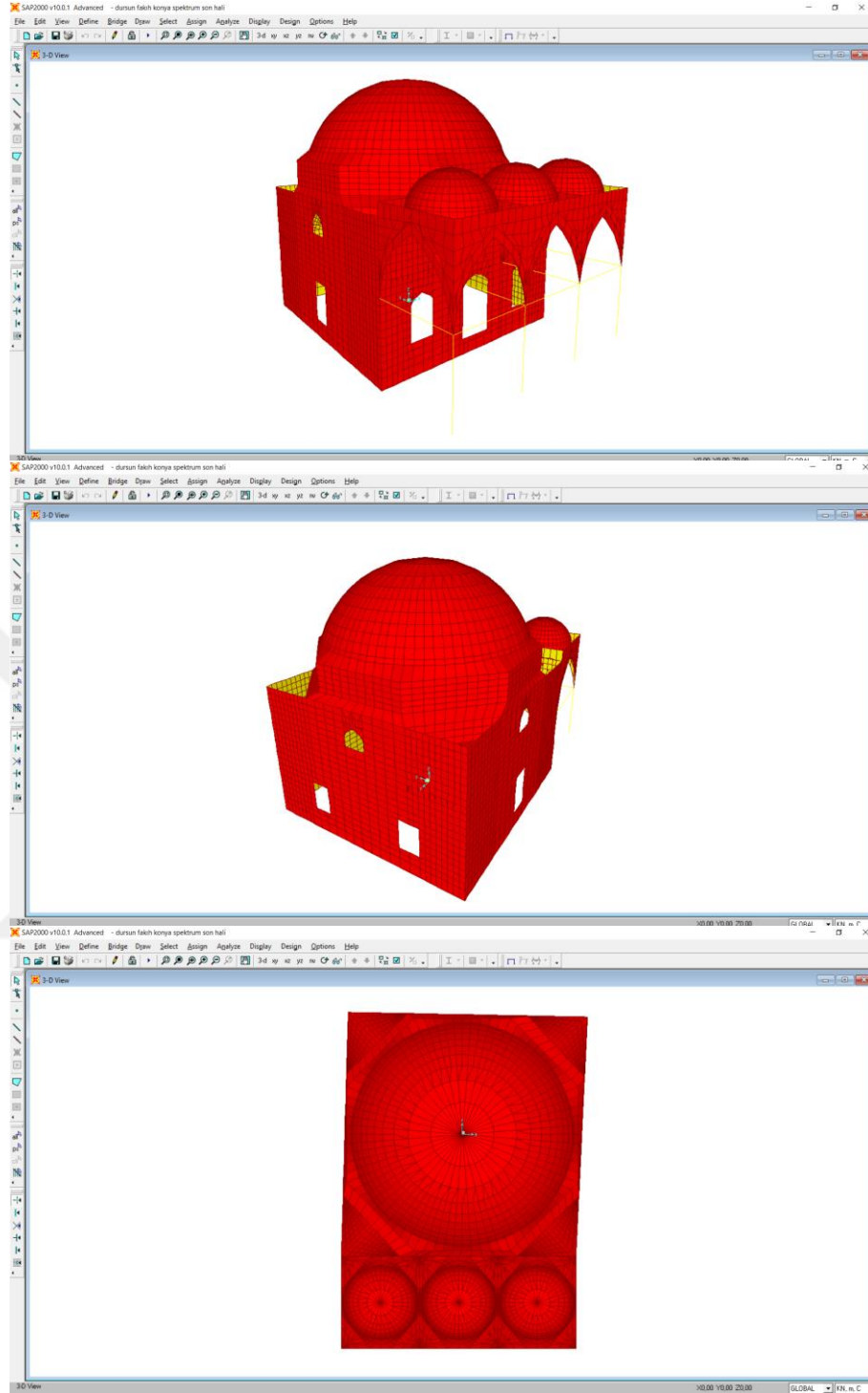
Yapısal analiz, yapının tümünün ya da bir kısmının sayısal modelinin oluşturulmasıyla başlar. Bu işlem yapının ayrıştırılması olarak adlandırılır. Tarihî yapı, ayrıştırma esnasında, analizin maksadına elverişli sayı ve boyutlarda sonlu elemana bölünür. Yapının matematiksel modeli, geometrik boyutlar, strüktürel elemanların yanı sıra, yapı üzerine etki eden çeşitli yükler, mesnet-eleman birleşim noktalarının hareket kabiliyetleri ve serbestlik sınırları göz önünde bulundurularak hazırlanır (Ünay, 2002; Toker ve Ünay, 2004) .

Matematiksel modelleme, farklı yük etkileri yada fiziksel etkiler karşısında, yapının yapısal elemanlarının, belirli kısımlarının veya tümünün olağan tepkisinin gözlenebilmesini sağlamayı amaçlar. Yapıların gerçekteki davranışları genellikle

karmaşıktır. Bundan dolayı, yapının modeli oluşturulurken birçok sadeleştirme yapılmalıdır. Aynı zamanda yapı elemanlarını meydana getiren malzemeler de uygun bir şekilde model üzerinde tanımlanmalıdır (Ünay, 2002).

Dursunoğlu (Tahir Paşa) Camisi'nin sonlu elemanlar modeli, SAP2000 programının model oluşturma kuralları ve özelliklerine göre oluşturulmuştur (SAP2000, 2000). Yapının sonlu elemanlar modelini oluşturmak için gerekli olan boyutlar ve ölçüler, yapının daha önceden çizilen rölöve ve restorasyon projelerinden elde edilmiştir.





Şekil 6.1. Dursunoğlu (Tahir Paşa) Camisi'ne ait analitik modelinin farklı açılardan görüntüleri

6.3. Dursunoğlu (Tahir Paşa) Camisi'nin Sonlu Elamanlar Modelinin ve Hesaplamanın Ana Parametreleri

Dursunoğlu (Tahir Paşa) Cami için model oluşturma ve hesap değerleri maddeler biçiminde aşağıda verilmiştir:

- Yapının neredeyse tamamı SHELL (genel kabuk elemanı) ile modellenmeye uygundur. Yapının duvarları, trompları, kubbe kasnağı, ana kubbesi, son cemaat mahfilinin kubbeleri, pandantifleri ve kemerleri SHELL elemanları ile modellenmiştir. Modellemede yapı elemanlarının kalınlıklarının orta noktaları dikkate alınmıştır.

- Analiz edilecek olan sayısal model 6060 düğüm noktası, 6294 SHELL eleman ve 13 çubuk eleman kullanılarak hazırlanmıştır.

- Modelde SOLID eleman kullanılmamıştır.

- Yapı elemanlarından bazılarının kalınlığı 1 metrenin üzerinde olduğundan dolayı, iç ve dış yüzeylerde oluşabilecek gerilmelerin daha detaylı hesaplanabilmesi ve kesit düzlemindeki kayma gerilmelerini görebilmek için duvarlar ve diğer yapı elemanları modellenirken, hesaplama programı bu türden elemanların tanımlanmasına olanak sağladığından “Shell-Thick” seçeneği seçilmiştir.

- Yapının zemin ile mesnet ilişkisi ankastre mesnet olarak tanımlanmıştır.

- Yapıdan malzeme örneği alınmadığından, malzemeyi test edecek laboratuvar ortamı ve teknik aletlerin eksikliğinden dolayı yapının kendi malzemesinin özellikleri test edilememiştir. Yapı elemanlarını oluşturan malzemelerin özellikleri, benzer yapılar için daha önce yapılmış olan çalışmalar sonucunda ortaya çıkan, ulusal-uluslararası yayınlar ve literatürde önerilen bağlantılardan yararlanılarak seçilmiştir. (Ünay, 2002; Can ve ark., 2012).

- Malzemenin temel özelliklerinden olan birim ağırlık ve elastisite modülü, tuğlalar ve taşlar ile harcın birlikte tek bir malzeme olarak davrandığı varsayılarak kabul edilmiştir. Yapının kubbelerinin üzerini örten kurşun kaplamalar hesapta dikkate alınmamıştır.

- Hesaplamaları yapılacak olan model üzerine, yapıdaki sabit yükler ile deprem spektrumu vasıtasıyla tanımlanmış olan yer hareketlerinin neden olduğu gerilmelerin göz önünde bulundurulduğu iki farklı yükleme durumu tanımlanmıştır. Deprem spektrumu, EQx ve EQy yüklemesi olmak kaydıyla farklı farklı iki asal doğrultuda tanımlanmıştır. Sonuçları kolay bir şekilde değerlendirilebilmesi için, G + EQx (Sabit yükler + x eksenli doğrultusundaki deprem yüklemesi) ve G + EQy (Sabit yükler + y eksenli doğrultusundaki deprem yüklemesi) olacak şekilde iki ayrı yük kombinasyonu tanımlanmıştır.

- Deprem tesirlerini belirten spektral hesapta ilk 6 mod üzerinde durulmuştur.

6.4. Dursunoğlu (Tahir Paşa) Camisi'nin Sonlu Elemanlar Modeline Tanımlanacak Malzemelerin Fiziksel Özellikleri

Sonlu elemanlar analizi yapılırken bilinmesi gereken en önemli unsurlardan bir tanesi de; yapı elemanlarını oluşturan malzemelerin fiziksel özelliklerinin bilinmesi ve model üzerine doğru bir biçimde tanımlanmasıdır. Malzemenin fiziksel özelliklerini bilmek için çok çeşitli testler ve deneylere ihtiyaç vardır. Ayrıca tarihi yapılar çok eski zamanlarda inşa edildiklerinden ve farklı dönemlerde bakım, onarım ve değişim gibi çeşitli olaylar geçirdiklerinden malzeme özellikleri net bir şekilde bilinemeyebilir.

Bu çalışma kapsamında literatürde, çeşitli yayınlarda kullanılmış ve malzemelerin geneli için kabul görmüş özellikler dikkate alınmıştır.

Çizelge 6.1. Dursunoğlu (Tahir Paşa Camisi'nin sonlu elemanlar modelinde tanımlanan malzemelerin özellikleri (Akan, 2010; Yazgan ve Ünay, 2019)

Eleman Tipi	Elastisite Modülü (MPa)	Özgül Ağırlık (kN/m ³)	Kütle (t/m ³)	Poisson Oranı
Tuğla Kubbe, Geçiş Elemanları ve Duvarlar (harç ile birlikte)	1200	24	2,45	0,2
Taş Duvarlar (harç ile birlikte)	450	24	2,45	0,2
Ahşap Gergiler ve güçlendirmeler	9000	5	0,50	0.3

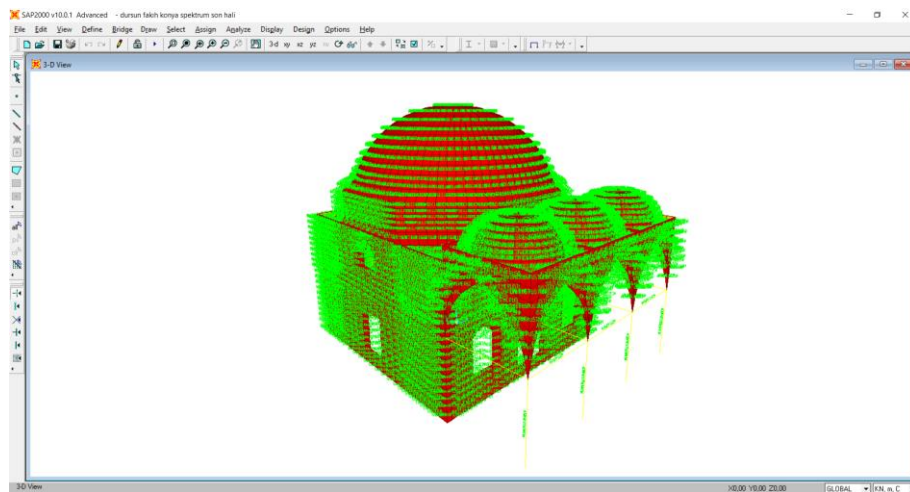
Çizelge 6.2. Yapıyı oluşturan çeşitli malzeme grupları için kabul edilen emniyet gerilmeleri (Akan, 2010; Yazgan ve Ünay, 2019)

Malzeme Türü	Basınç Emniyet Gerilmesi (MPa)	Çekme Emniyet Gerilmesi (MPa)	Kayma Emniyet Gerilmesi (MPa)
Tuğla Kubbe, Geçiş Elemanları ve Duvarlar (harç ile birlikte)	2,4	0,36	1,05
Taş Duvarlar (harç ile birlikte)	0,9	0,135	0,53
Ahşap Gergiler ve Güçlendirmeler	8,7	7,8	1,4

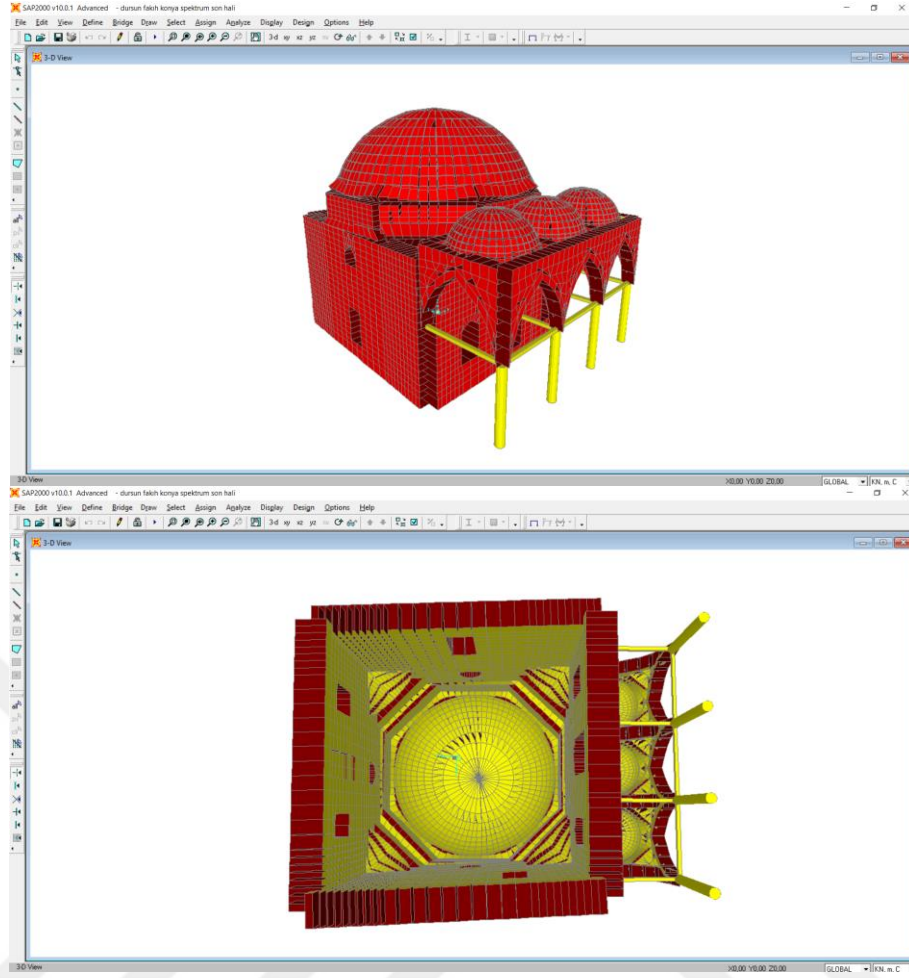
Yukarıdaki tablolarda malzeme grupları için kabul edilen malzeme özellikleri ve dayanımları gösterilmiştir. Bunların haricinde bir diğer önemli husus da malzemelerin kesit ölçülerinin bilinmesi ve modele tanımlanmasıdır. Aşağıdaki tabloda yapı elemanlarına ait bölümlerde kullanılmış malzemelerin kalınlıklarının hangi değer aralığında olduğu gösterilmiştir.

Çizelge 6.3. Yapı elemanlarına ait malzeme kesit kalınlıkları

Malzeme Türü	Malzeme Kalınlığı (Min)(cm)	Malzeme Kalınlığı (Max)(cm)
Merkezi Tuğla Kubbe	68	86
Son Cemaat Mahfilindeki Küçük Kubbeler	41	41
Kubbe Kasnağı	95	95
Taş Duvarlar	78	116
Tuğla Duvarlar	97	116
Ahşap Gergiler	15	15
Tromplar	4	128
Pendantifler	15	51
Sütunlar	40	40
Kemerler	62	62



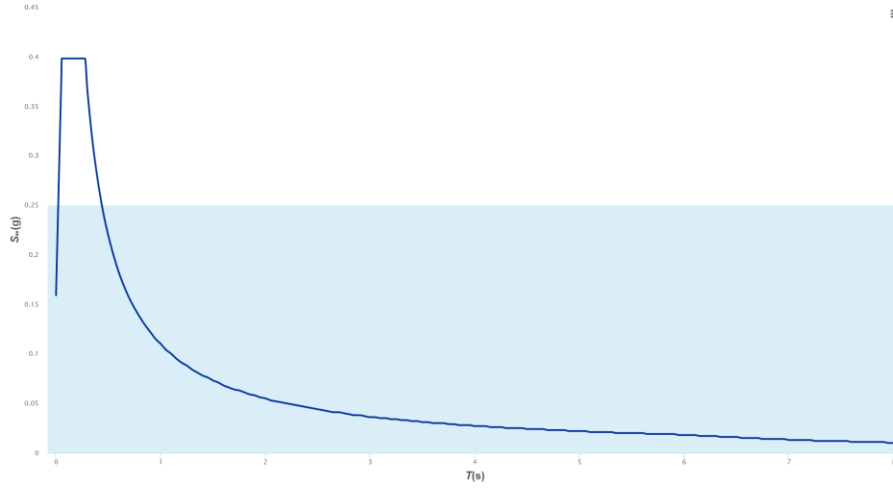
Şekil 6.2. Malzeme tanımlandıktan sonra model üzerinde tanımlanan malzeme isimlerinin görünmesi



Şekil 6.3. Malzeme kalınlıklarının model üzerinde tanımlanması

6.5. Modele Etki Edecek Deprem Kuvvetinin Belirlenmesi ve Model Üzerine Tanımlanması

Dursunoğlu (Tahir Paşa) Camisi'nin analizinde kullanılan spektrum grafiği Şekil 6.4'te gösterilmiştir. Analize ait spektrum grafiği Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı tarafından hazırlanan Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması üzerinden, deprem yer hareketi düzeyi: DD-2 (50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi) ve yerel zemin sınıfı: ZC (çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrıışmış, çok çatlaklı zayıf kayalar) şeklinde tanımlanarak hesap edilmiştir (AFAD, 2021).



Şekil 6.4. Sonlu elemanlar modeli üzerine tanımlanan spektrum eğrisi (AFAD, 2021)

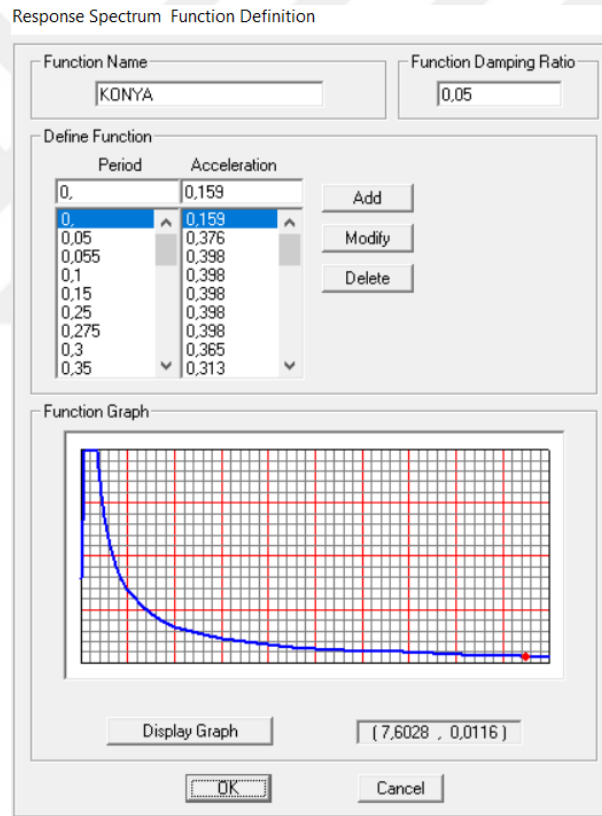
Şekil 6.4'te gösterilen grafiğe ait verilerin SAP2000 programında tanımlanması için geçen zamana göre ivme spektrum değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Çizelge 6.4. Analizde kullanılan zamana göre ivme değerleri (AFAD, 2021)

T(s)	S _a (g)	T(s)	S _a (g)	T(s)	S _a (g)	T(s)	S _a (g)	T(s)	S _a (g)	T(s)	S _a (g)
0	0,159	1,2	0,091	2,5	0,044	3,8	0,029	5,1	0,021	6,4	0,016
0,05	0,376	1,25	0,088	2,55	0,043	3,85	0,028	5,15	0,021	6,45	0,016
0,055	0,398	1,3	0,084	2,6	0,042	3,9	0,028	5,2	0,021	6,5	0,016
0,1	0,398	1,35	0,081	2,65	0,041	3,95	0,028	5,25	0,021	6,55	0,015
0,15	0,398	1,4	0,078	2,7	0,041	4	0,027	5,3	0,021	6,6	0,015
0,2	0,398	1,45	0,076	2,75	0,04	4,05	0,027	5,35	0,02	6,65	0,015
0,25	0,398	1,5	0,073	2,8	0,039	4,1	0,027	5,4	0,02	6,7	0,015
0,275	0,398	1,55	0,071	2,85	0,038	4,15	0,026	5,45	0,02	6,75	0,014
0,3	0,365	1,6	0,068	2,9	0,038	4,2	0,026	5,5	0,02	6,8	0,014
0,35	0,313	1,65	0,066	2,95	0,037	4,25	0,026	5,55	0,02	6,85	0,014
0,4	0,274	1,7	0,064	3	0,036	4,3	0,025	5,6	0,02	6,9	0,014
0,45	0,243	1,75	0,063	3,05	0,036	4,35	0,025	5,65	0,019	6,95	0,014
0,5	0,219	1,8	0,061	3,1	0,035	4,4	0,025	5,7	0,019	7	0,013
0,55	0,199	1,85	0,059	3,15	0,035	4,45	0,025	5,75	0,019	7,05	0,013
0,6	0,182	1,9	0,058	3,2	0,034	4,5	0,024	5,8	0,019	7,1	0,013
0,65	0,168	1,95	0,056	3,25	0,034	4,55	0,024	5,85	0,019	7,15	0,013
0,7	0,156	2	0,055	3,3	0,033	4,6	0,024	5,9	0,019	7,2	0,013
0,75	0,146	2,05	0,053	3,35	0,033	4,65	0,024	5,95	0,018	7,25	0,012
0,8	0,137	2,1	0,052	3,4	0,032	4,7	0,023	6	0,018	7,3	0,012
0,85	0,129	2,15	0,051	3,45	0,032	4,75	0,023	6,05	0,018	7,35	0,012
0,9	0,122	2,2	0,05	3,5	0,031	4,8	0,023	6,1	0,018	7,4	0,012
0,95	0,115	2,25	0,049	3,55	0,031	4,85	0,023	6,15	0,017	7,45	0,012
1	0,11	2,3	0,048	3,6	0,03	4,9	0,022	6,2	0,017	7,5	0,012
1,05	0,104	2,35	0,047	3,65	0,03	4,95	0,022	6,25	0,017	7,55	0,012
1,1	0,1	2,4	0,046	3,7	0,03	5	0,022	6,3	0,017	7,6	0,011
1,15	0,095	2,45	0,045	3,75	0,029	5,05	0,022	6,35	0,016	7,65	0,011

Verilen zamana göre ivme değerleri SAP2000 programına girilirken dikkat edilmelidir. Program depreme yönelik iki adet tanımlama yapmaya olanak sağlamaktadır. Bunlardan birisi “response spectrum” bir diğeri ise “time history” olarak görünür. Dursunoğlu (Tahir Paşa) Camisi analiz edilirken, yere özgü verileri kullandığından response spectrum kısmına değerler girerek analiz gerçekleştirilmiştir. Bu işlem ise SAP2000 programında sırasıyla şu şekilde yapılmaktadır:

Modelin içinde yer aldığı dosya programda açıldıktan sonra define menüsünden functions – response spectrum seçilir. Ardından ivme değerleri sırasıyla programa girilir. Programın kendisi bu esnada spektrum eğrisi oluşturur. Değerlerin doğru girilip girilmediği AFAD’dan elde edilen spektrum eğrisi ile programdaki spektrum eğrisine bakılarak anlaşılabilir.



Şekil 6.5. İvme değerlerinin programa girilmesi ve programın spektrum eğrisi oluşturması

6.6. Dursunoğlu (Tahir Paşa) Camisi’nin Sonlu Elamanlar Analizinin Yapılması

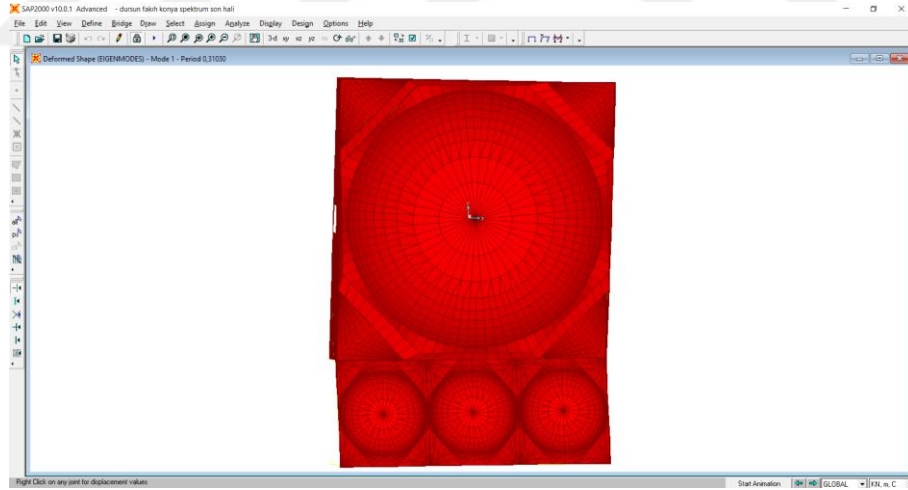
Dursunoğlu (Tahir Paşa) Camisi’nin sonlu elemanlar analizi, belirlenen yükler ve yük kombinasyonları doğrultusunda SAP2000 programı kullanılarak yapılmıştır.

Yapının analiz sonuçlarını yorumlanırken SAP2000 programının sağladığı renk kodlu şekil ve gerilmeyi gösteren haritalar göz önünde bulundurulmuştur (SAP2000, 2000).

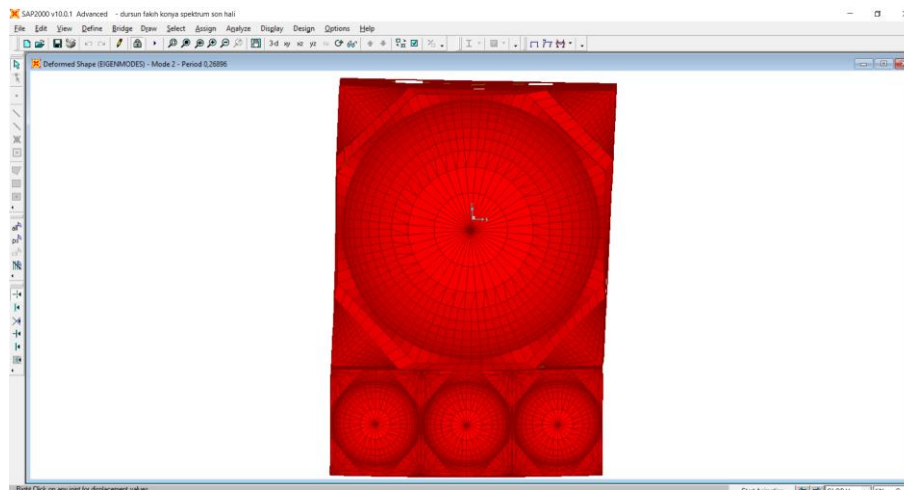
Ayrıca yapının deprem kuvvetine karşı dayanımını yorumlamak için yapı malzemelerinin baz alınan emniyet gerilmeleri, yapının analizi neticesinde bulunan gerilmelerle karşılaştırılmıştır.

6.6.1. Dursunoğlu (Tahir Paşa) Camisi'nin modal analizi

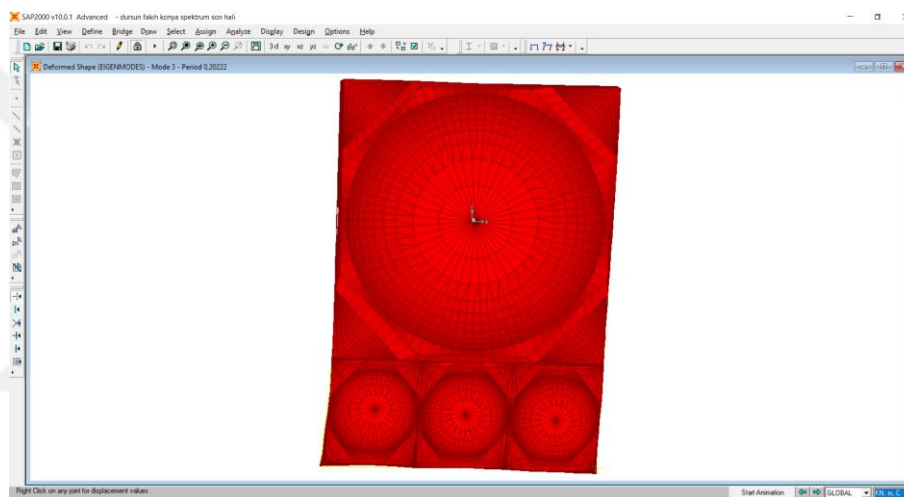
Modal analiz sonucunda elde edilen yapı titreşim modlarından ilk altı tanesinin şekli aşağıda gösterilmiştir. Birinci modda yapının tümünün doğu-batı doğrultusundaki yanal hareketleri etkindir. Bu moda ait titreşim periyodu; 0,31 sn'dir. İkinci modda yapının tümünün kuzey-güney doğrultusundaki yanal hareketleri etkindir. İkinci moda ait titreşim periyodu ;0,27 sn'dir. Üçüncü modda ise yapının düşey eksen etrafında dönme hareketi etkindir. Bu modun titreşim periyodu; 0,20 sn'dir. Dördüncü modda etkin olan hareket ise yapının düşey doğrultuda içe dışa doğru açılıp kapanmasıdır ve periyodu 0,18 sn'dir. Diğer modlara ait şekiller de aşağıda gösterilmiştir.



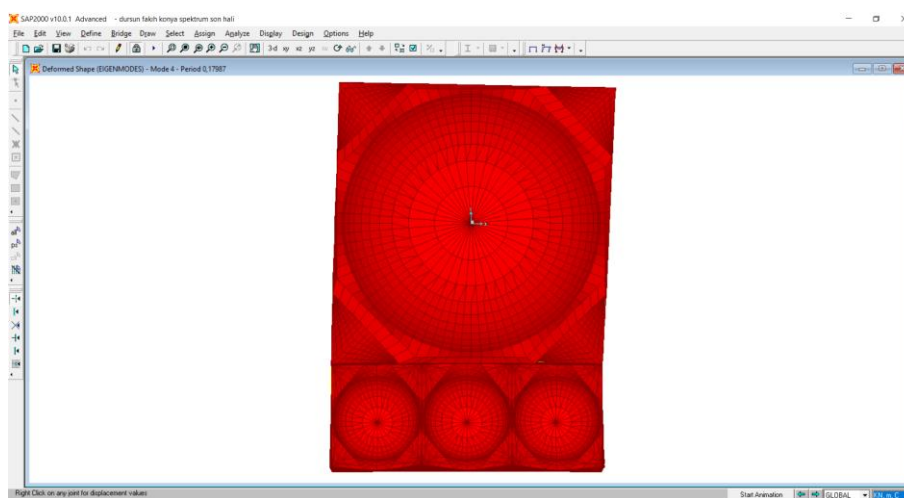
Şekil 6.6. 1. Mod, T=0,31 sn



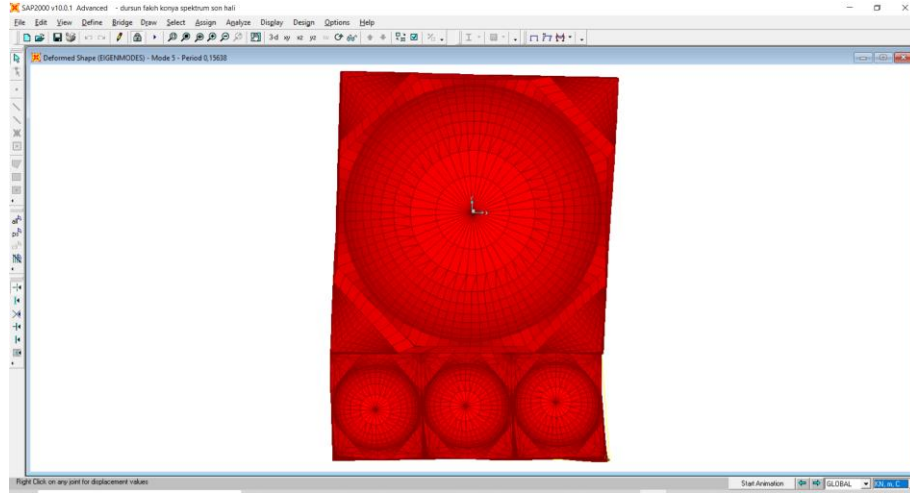
Şekil 6.7. 2. Mod, $T=0,27$ sn



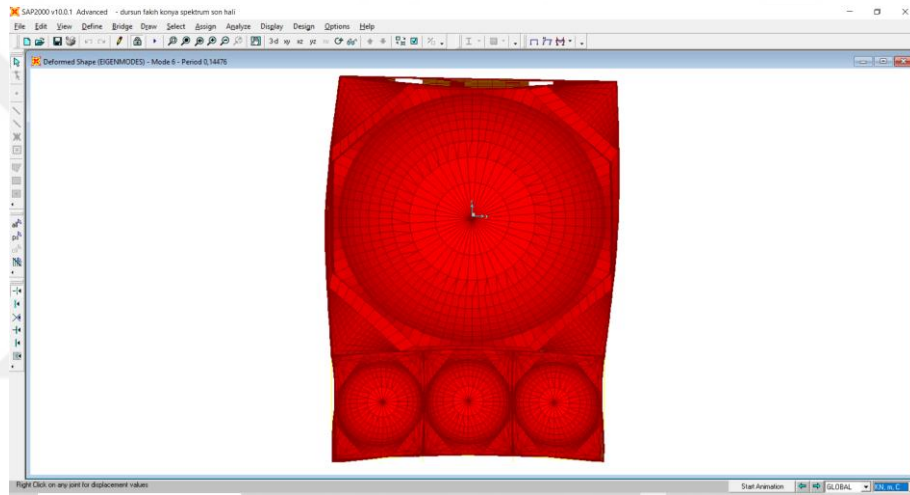
Şekil 6.8. 3. Mod, $T=0,20$ sn



Şekil 6.9. 4. Mod, $T=0,18$ sn



Şekil 6.10. 5. Mod, $T=0,16$ sn



Şekil 6.11. 6. Mod, $T=0,14$ sn

İlk on iki moda ait periyotlar ise aşağıdaki gibidir.

Çizelge 6.5. Modlara ait periyot değerleri

Mod	Periyot (Sn)
1	0,31
2	0,27
3	0,20
4	0,18
5	0,16
6	0,14
7	0,13
8	0,11
9	0,10
10	0,10
11	0,10
12	0,10

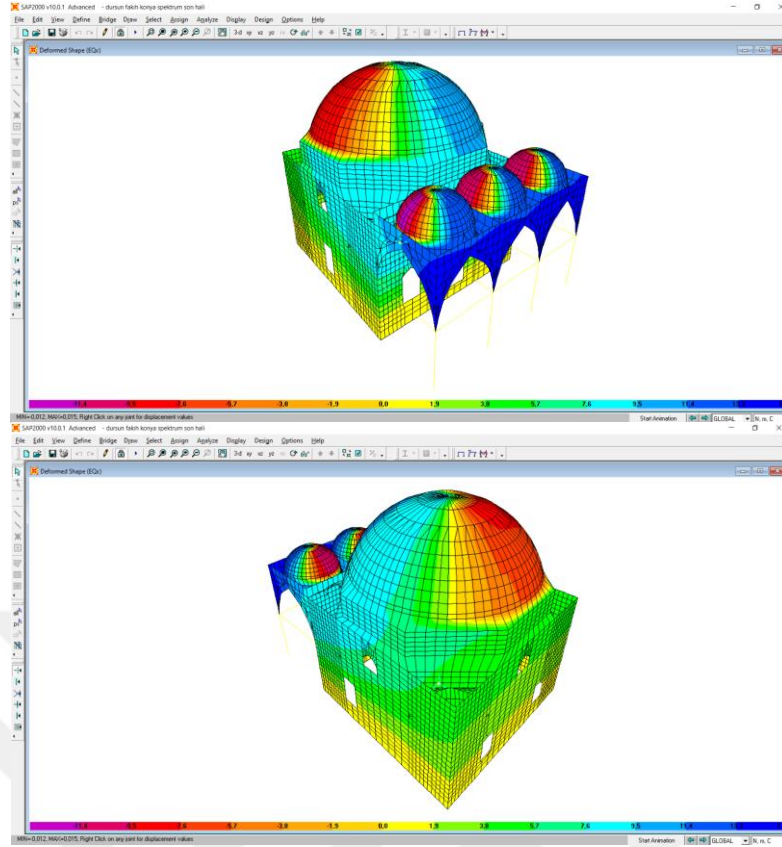
6.6.2. Dursunoğlu (Tahir Paşa) Camisi'nin deprem analizi

Yapının modeldeki toplam ağırlığı 12525 kN olup, kuzey-güney (modeldeki Y eksenini) doğrultusunda uygulanan deprem etkisi neticesinde ortaya çıkan toplam taban kesme kuvveti 3858 kN, batı-doğu (modeldeki X eksenini) doğrultusunda uygulanan deprem etkisi neticesinde ortaya çıkan toplam taban kesme kuvveti 3362 kN olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar ışığında, X yönünde yapıda oluşan taban kesme kuvveti toplam yapı ağırlığının %27'sine, Y yönünde yapıda oluşan taban kesme kuvveti ise toplam yapı ağırlığının %31'ine eşittir.

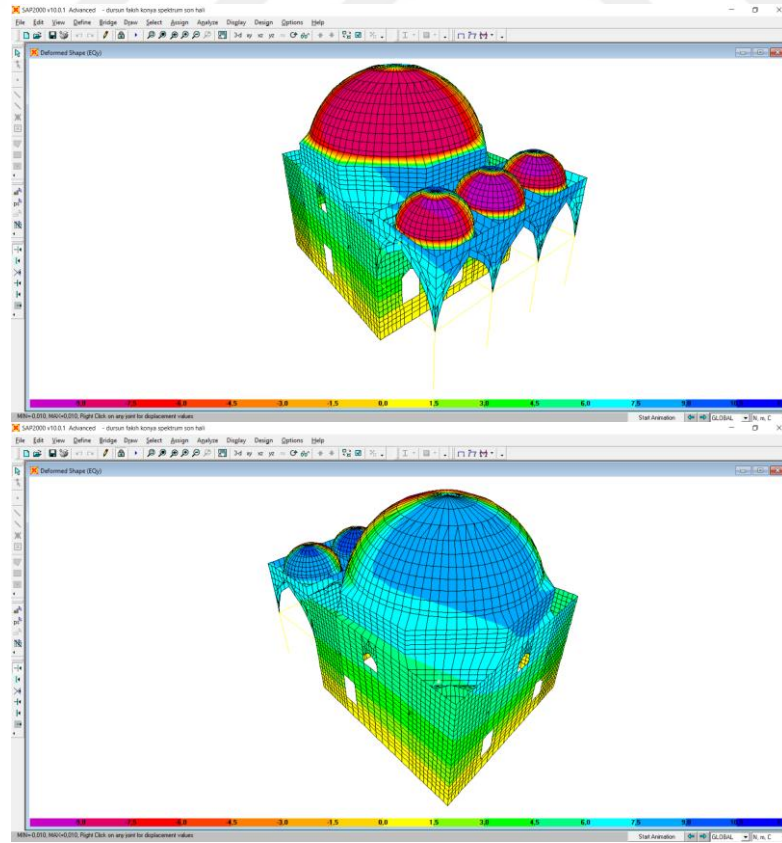
Şekil 6.12 ve şekil 6.13'da da gösterildiği gibi, analiz sonuçlarına göre yapının X doğrultusunda uygulanan deprem yüklemesi sonucunda x yönündeki en fazla yer değiştirme $\Delta x=15$ mm, Y doğrultusunda uygulanan deprem yüklemesi sonucunda y yönündeki en fazla yer değiştirme ise $\Delta y=13$ mm'dir. Uygulanan deprem yüklemelerine göre elde edilen yer değiştirmeler yapının son cemaat mahfilini temsil etmektedir.

Çizelge 6.6. X-Y yönündeki taban kesme kuvvetleri ve eksenel kuvvetler

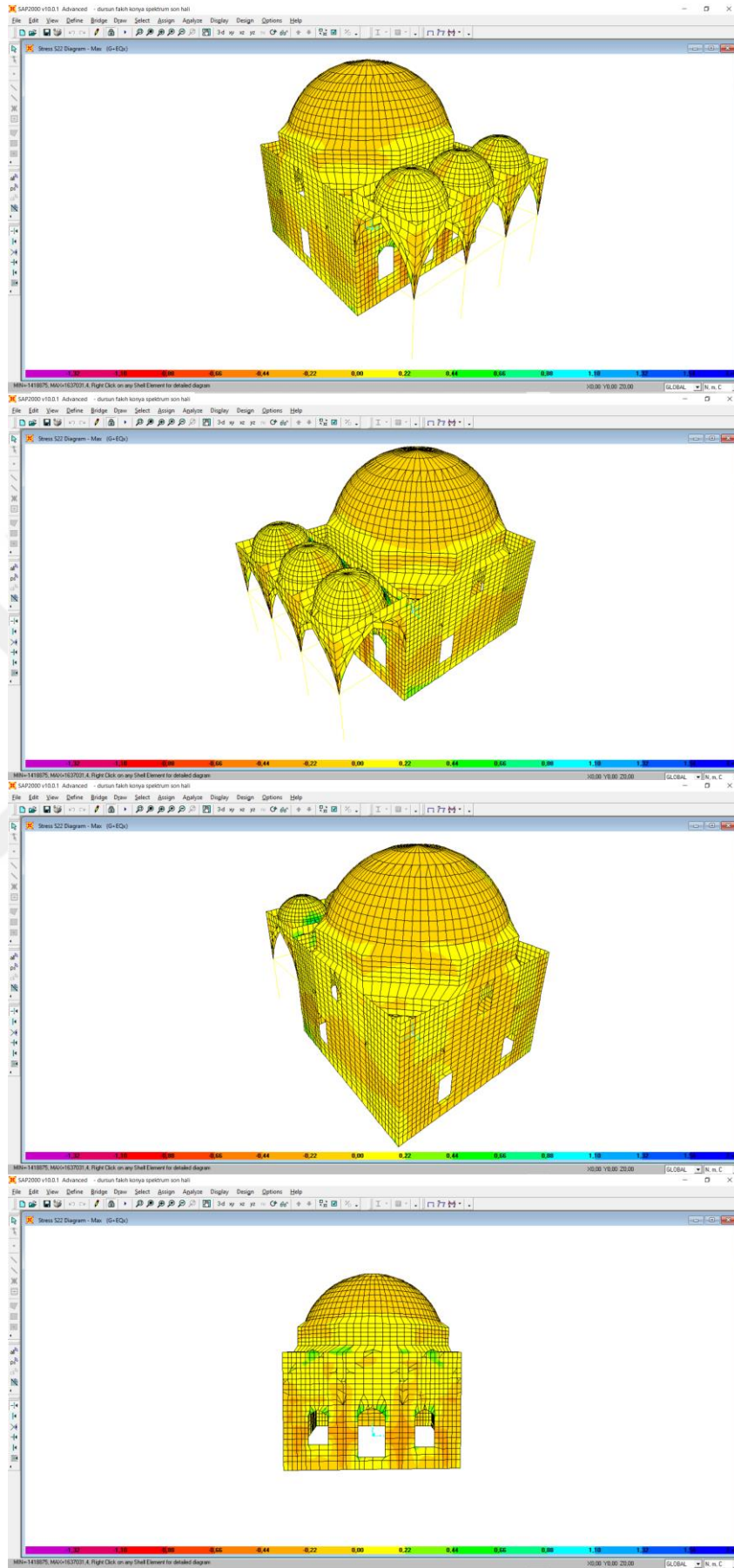
Yükleme tipi	Analiz tipi	Aşama	X yönünde	Y yönünde	Düşey yönde
			taban kesme kuvveti	taban kesme kuvveti	
			kN	kN	kN
G (Düşey yük)	Doğrusal Statik	Max			12525
EQx	Doğrusal Davranış Spektrumu	Max	3362	640	129
EQy	Doğrusal Davranış Spektrumu	Max	641	3858	496
G+Ex	Kombinasyon	Max	3362	640	12654
G+Ex	Kombinasyon	Min	-3362	-640	12396
G+Ey	Kombinasyon	Max	641	3858	13021
G+Ey	Kombinasyon	Min	-641	-3858	12028



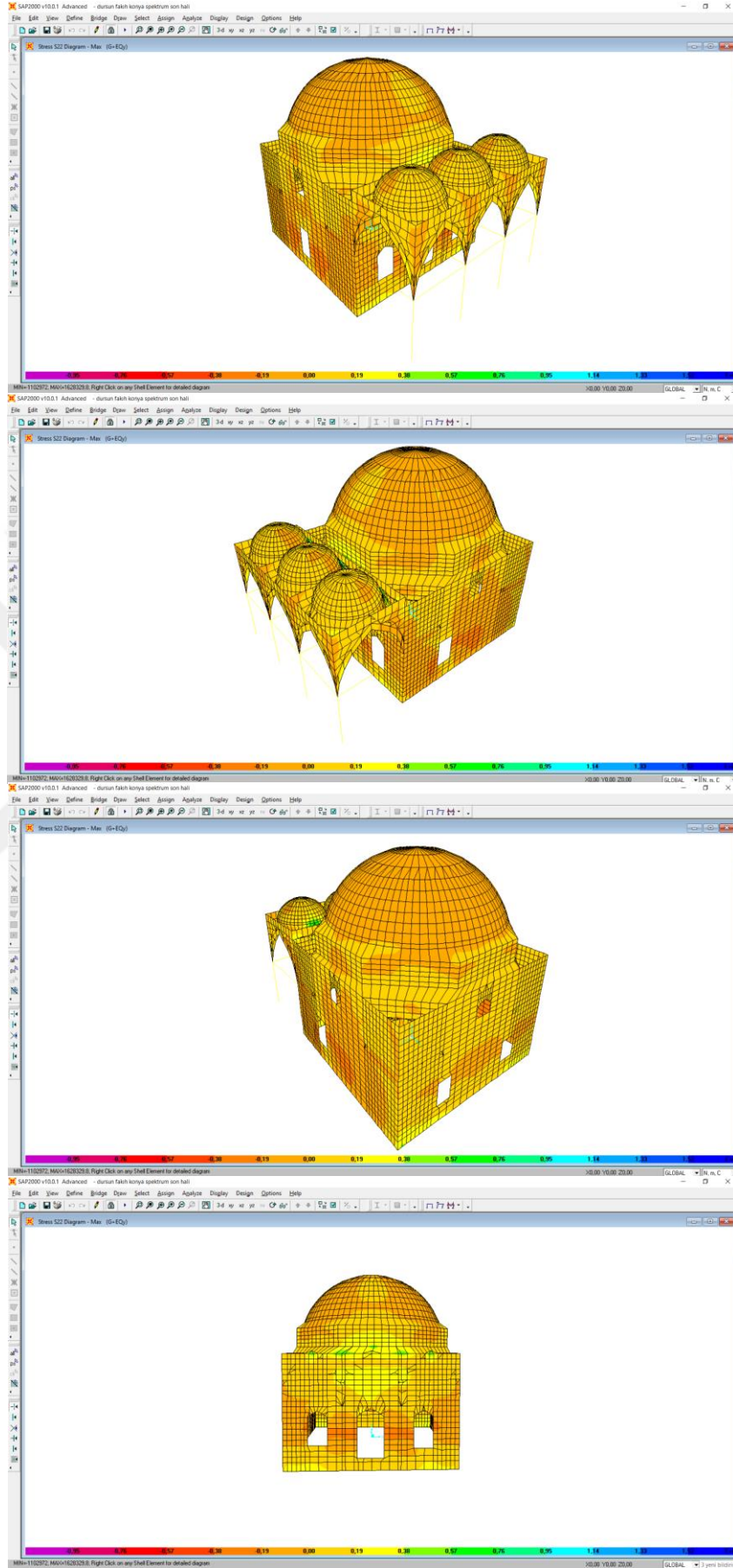
Şekil 6.12. X yönünde deprem yüklemesi uygulandıktan sonra elde edilen ötelenmeler



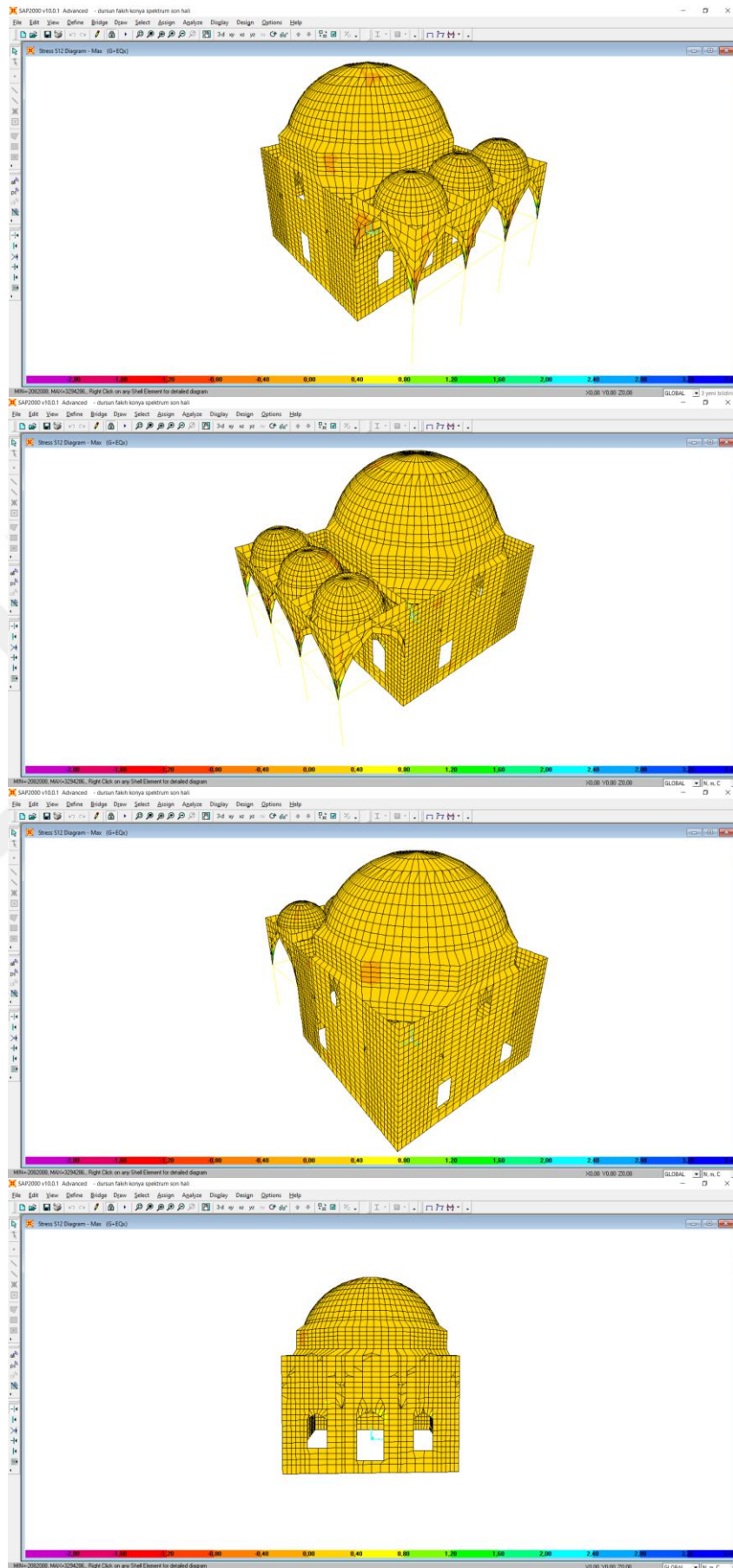
Şekil 6.13. Y yönünde deprem yüklemesi uygulandıktan sonra elde edilen ötelenmeler



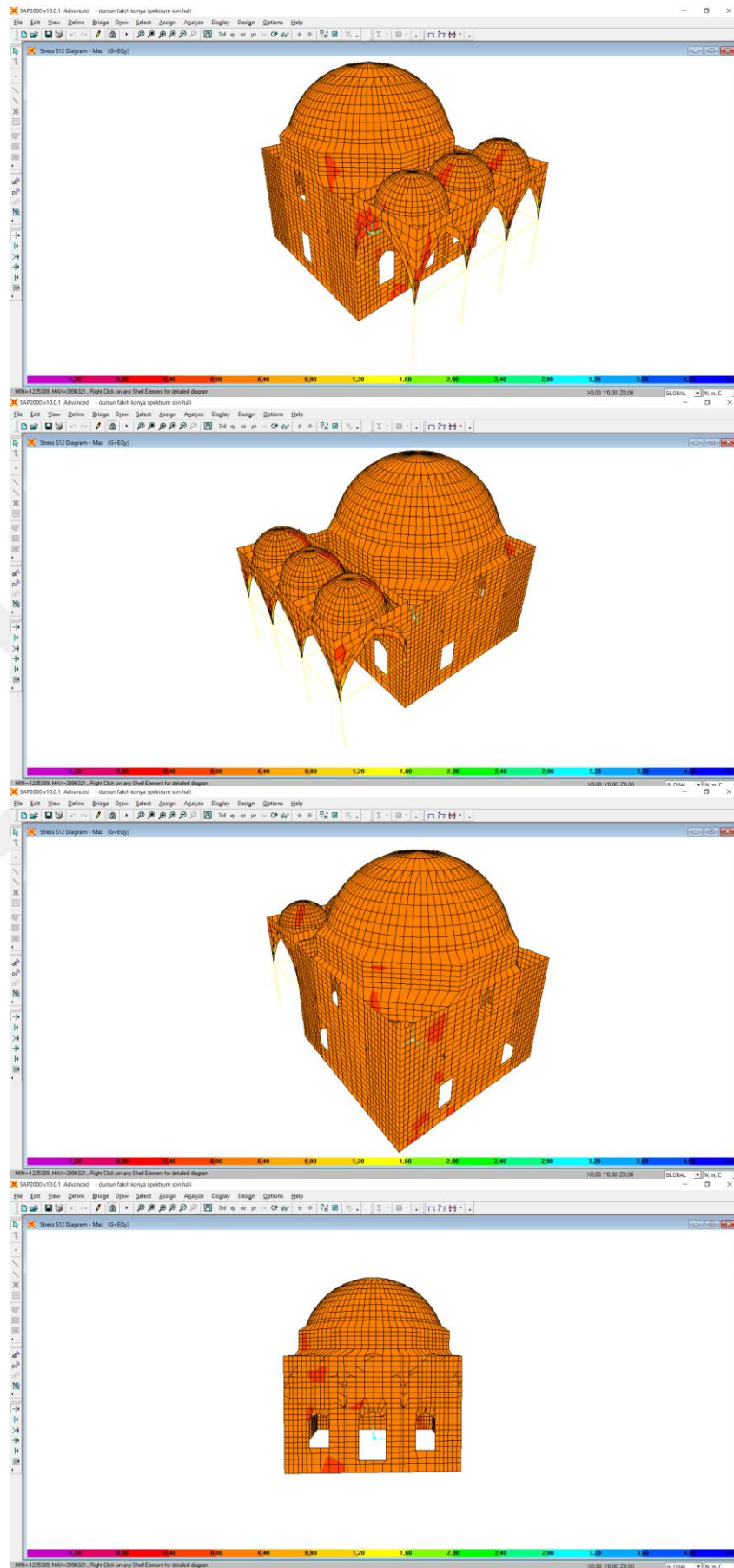
. Şekil 6.14. G+EQx yüklemesi neticesinde meydana gelen S22 basınç ve çekme gerilmeleri



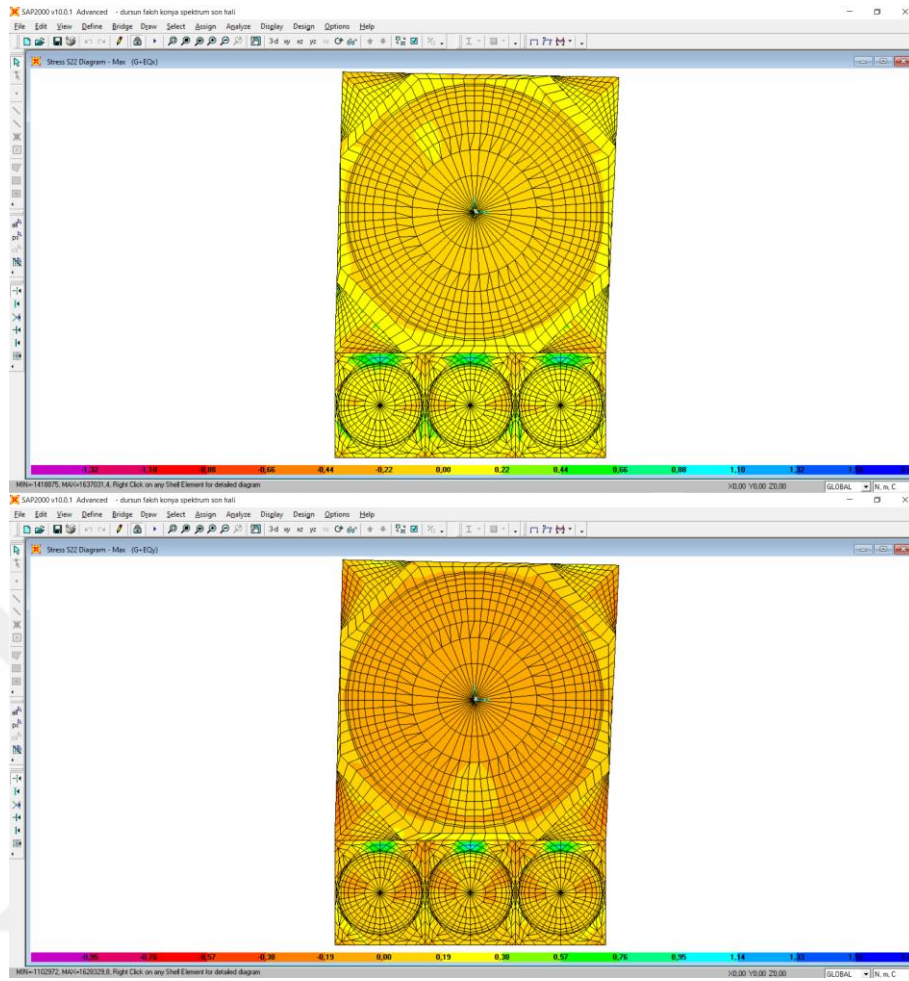
Şekil 6.15. G+EQy yüklemesi neticesinde meydana gelen S22 basınç ve çekme gerilmeleri



Şekil 6.16. G+EQx yüklemesi neticesinde meydana gelen S12 kayma gerilmeleri



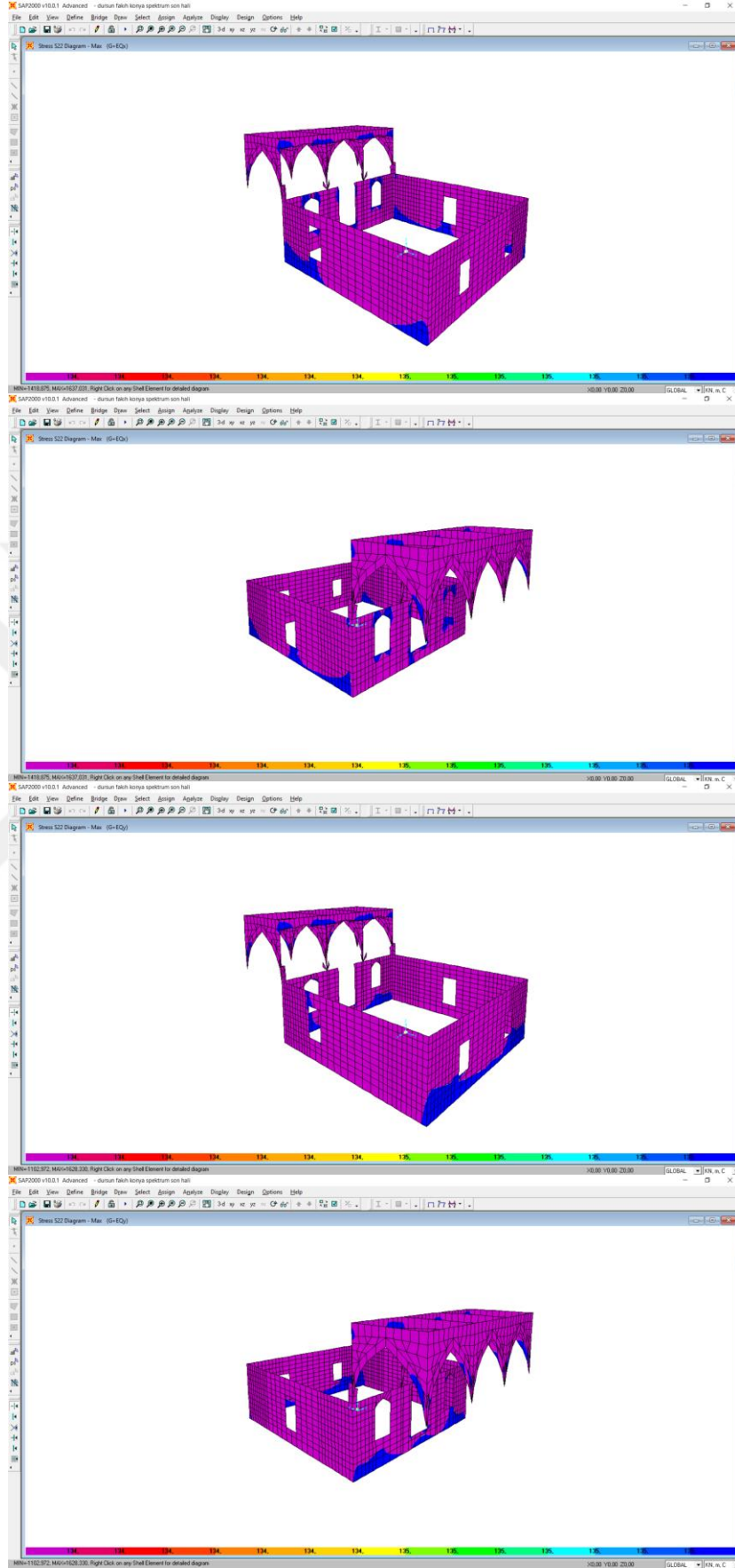
Şekil 6.17. G+EQy yüklemesi neticesinde meydana gelen S12 kayma gerilmeleri



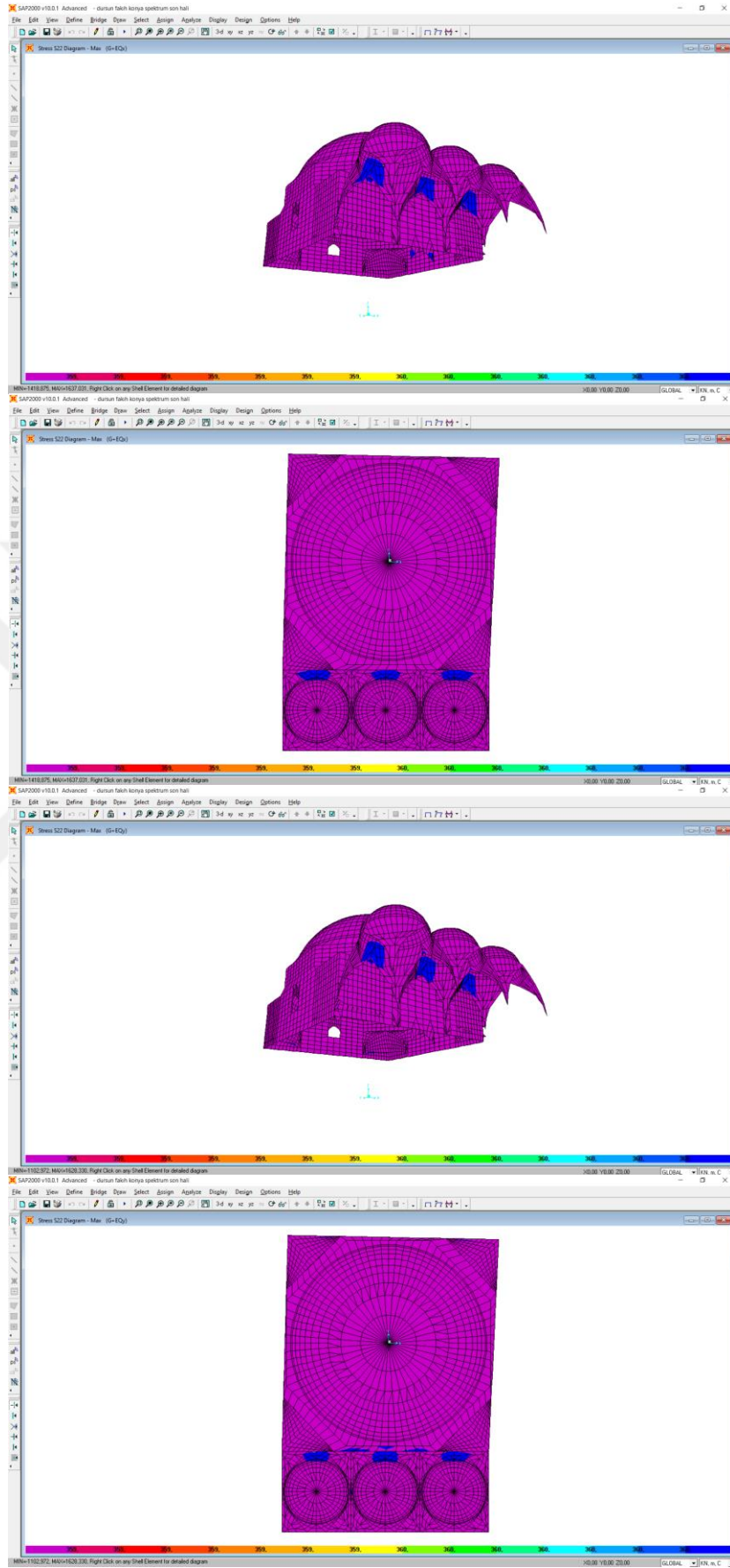
Şekil 6.18.G+EQx ve G+EQy yüklemesi neticesinde kubbelerde ortaya çıkan S22 basınç ve çekme gerilmeleri

G+EQx ve G+EQy yüklemeleri yapıldıktan sonra Şekil 6.14, Şekil 6.15 ve Şekil 6.18' te gösterildiği üzere yapının davranışını etkileyen yapı elemanlarının S22 (basınç ve çekme) gerilme değerleri ile Şekil 6.16 ve Şekil 6.17'de gösterildiği gibi S12 (kayma) gerilmeleri, çeşitli gerilme haritaları oluşturularak incelenmiştir.

G+EQx ve G+EQy yüklemeleri neticesinde taş ve tuğla malzemeler için kabul edilen çekme emniyet gerilme değerlerinin, yapının hangi noktalarında aşıldığı Şekil 6.19 ve Şekil 6.20'de gösterilmiştir. Taş ve tuğla malzeme için basınç emniyet gerilmesi yapının hiçbir noktasında aşılmamıştır. Aynı şekilde kayma emniyet gerilmesi de yapının hiçbir yerinde neredeyse aşılmamıştır.



Şekil 6.19.G+EQx ve G+EQy yüklemesi neticesinde taş malzemelerde S22 çekme emniyet gerilmelerinin aşıldığı noktalar



Şekil 6.20.G+EQx ve G+EQy yüklemesi neticesinde tuğla malzemelerde S22 çekme emniyet gerilmelerinin aşıldığı noktalar

Yapı elemanlarına ait basınç ve çekme değerleri, “Ana Kubbe”, “Kubbe Kasnağı”, “Tromplar”, “Duvarlar”, “Son Cemaat Mahfili Küçük Kubbeler”, “Pendantifler”, “Kemerler” olarak 7 grupta ele alınmıştır ve G+EQx ve G+EQy yük kombinasyonları için S22 (basınç ve çekme) gerilmeleri ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Grupların basınç ve çekme gerilmeleri SHELL elemanlarının alt ve üst yüzeyleri için ayrı ayrı Şekil 8.27’de ifade edilmiştir.

Çizelge 6.7. Farklı eleman gruplarına ait maksimum gerilmeler (S22)

Eleman Grubu			G + EQx Yüklemesi MPa	G + EQy Yüklemesi MPa
Ana Kubbe	Üst Yüzey	Basınç	-0,11	-0,11
		Çekme	0,038	0,059
	Alt Yüzey	Basınç	-0,11	-0,10
		Çekme	0,013	0,028
Kubbe Kasnağı	Üst Yüzey	Basınç	-0,19	-0,22
		Çekme	0,55	0,86
	Alt Yüzey	Basınç	-0,45	-0,19
		Çekme	0,20	0,18
Tromplar	Üst Yüzey	Basınç	-0,85	-1,06
		Çekme	0,32	0,61
	Alt Yüzey	Basınç	-0,93	-0,80
		Çekme	0,33	0,40
Duvarlar	Üst Yüzey	Basınç	-0,43	-0,57
		Çekme	0,38	0,43
	Alt Yüzey	Basınç	-0,42	-0,50
		Çekme	0,60	0,49
Son Cemaat Mahfili Küçük Kubbeler	Üst Yüzey	Basınç	-0,12	-0,11
		Çekme	0,68	0,76
	Alt Yüzey	Basınç	-0,18	-0,16
		Çekme	0,22	0,22
Pendantifler	Üst Yüzey	Basınç	-0,49	-0,35
		Çekme	1,24	1,60
	Alt Yüzey	Basınç	-0,64	-0,46
		Çekme	0,33	0,49
Kemerler	Üst Yüzey	Basınç	-1,36	-0,9
		Çekme	0,36	0,29
	Alt Yüzey	Basınç	-1,09	-0,56
		Çekme	0,34	0,31

6.7. Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Tarihî yapıların analizlerinin yapılması oldukça karmaşık ve zor bir iştir. Tarihî yapıların analiz süreçlerinde farklı sorunlar görülmektedir. Bunlardan bazıları:

- Geometrik verilerin net bir şekilde bilinmemesi, eksik olması,
- Yapı elemanlarını oluşturan malzemelerin içte kalan tarafları hakkındaki bilgi ve verilerin eksikliği,
- Yapıda kullanılan malzemelerin mekanik özelliklerini belirlemek için kullanılan yöntemler ve aletlerin zor ve pahalı olması,
- Yapıda doğal malzeme kullanılması ve işçilik farklılıklarından dolayı yapı elemanlarını oluşturan malzemelerin mekanik özelliklerinin bire bir aynı olmaması,
- Bu yapılar çok önceden inşa edildiklerinden dolayı malzemelerin yapısında fiziksel veya kimyasal değişiklikler olma olasılığı,
- Yapının inşa ediliş sırasının bilinmemesi,
- Yapıdaki bulunan mevcut hasarların net bir şekilde bilinmemesi, yapının analizinde karşılaşılan sorunlardan bazılarıdır (Lourenço, 2002).

Yapılan model ve analizler, eldeki veriler ışığında her ne kadar ayrıntılı yapılmış olsa da yukarıda ifade edilen durumlar doğrultusunda, tarihi yapılar analiz edilirken, veri eksikliği en aza indirilmeli ve daha ayrıntılı analizler yapılmalıdır.

Dursunoğlu (Tahir Paşa) Cami'nin sonlu elemanlar analizi yapılırken, doğrusal elastik malzeme özellikleri dikkate alınmıştır. Yapının Konya'ya özgü oluşturulan deprem spektrum etkileri altındaki davranışları incelenmiştir.

Yapı için oluşturulan spektrum eğrisinin ifade ettiği deprem etkisine göre yapılan analizler sonucunda bulunan maksimum yer değiştirme değerleri yapının son cemaat mahfilinde olup x doğrultusunda 15 mm, y doğrultusunda 13 mm'dir. Yapının ana kubbesinin en üst noktasında bulunan yer değiştirme değerleri ise x ve y doğrultusunda 9'ar mm'dir. Bu noktanın modelde belirlenen zemine göre kotu 11,56 m olduğundan görelî yer değiştirme oranı 0,0008 olarak bulunur. Elde edilen bu değer kabul edilebilir sınırlar içerisinde olup yapının yıkılma olasılığı çok düşüktür.

Şekillerde de görüldüğü gibi analiz sonucunda elde edilen verilere göre G+EQx ve G+EQy yüklemeleri sonucunda taş ve tuğla malzeme için kabul edilen basınç sınır değerlerinin yapının neredeyse hiçbir yerinde aşılmadığı, sadece kemerlerin sütunlarla

birleşim noktalarında çok küçük bir alanda aşıldığı görülmüştür. Bu da aşılmamış olarak kabul edilebilir.

G+EQx ve G+EQy yüklemeleri sonucunda taş ve tuğla malzeme için kabul edilen kayma sınır değerlerinin yapının son cemaat mahfilindeki kemerlerin sütun ile birleşim noktalarının üzerinde çok küçük bir alanda aşıldığı görülür. Bu küçük alan dışında yapının hiçbir noktasında kayma sınır değerleri aşılmamış olup bu kısım da aşılmamış olarak kabul edilebilir.

G+EQx ve G+EQy yüklemeleri sonucunda ise taş ve tuğla malzeme için kabul edilen çekme sınır değerinin yapının bazı bölgelerinde aşıldığı görülür.

G+EQx yüklemesi sonucunda taş malzeme için kabul edilen çekme sınır değerleri yapının bazı kısımlarında aşılmıştır. Bunlar:

Caminin girişinin yer aldığı kuzey cephesinde, pencere boşlukları ve kapı boşluğunun alt ve üst kısımlarındadır. Batı cephesinde, pencere boşluğunun altından başlayıp kuzey cepheye kadar uzanan ve cephenin güney alt köşesinde, yapının zemin ile birleşim noktalarıdır. Doğu cephesinde yine aynı şekilde, pencere boşluğunun altından başlayıp kuzey cepheye kadar uzanan ve cephenin güney alt köşesinde, yapının zemin ile birleşim bölgeleridir. Güney cephesinde ise güney ve kuzey taraflarda, yapının zemin ile birleşim alanlarında iki küçük bölgede taş için çekme sınır değerleri aşılmıştır. Ayrıca kemerlerin bazı alt kısımları ile kemerlerin üzerinde bulunan duvarların cami kütleleri tarafında yer alan bazı bölgelerinde de bu değer aşılmıştır.

G+EQy yüklemesi sonucunda taş malzeme için kabul edilen çekme sınır değerleri yapının şu kısımlarında aşılmıştır:

Güney cephesinde, pencere boşluklarının alt kısımları ve köşelerinden başlayarak cephenin zemin ile birleşim noktalarında, batı cephesinde, pencere boşluğunun sol üst ve sağ alt köşelerinde küçük bir alanda, kuzey cephede pencere boşlukları ve kapı boşluğunun alt ve üst kısımlarında ve cephenin zemin ile birleşim bölgelerinde, doğu cephede ise sol alt kısımda küçük bir bölgede, taş malzeme için kabul edilmiş olan sınır değerlerinin aşıldığı görülmüştür. Ayrıca kemerlerin bazı kısımları ve kemerlerin üzerindeki duvarların bazı kısımlarında çok küçük alanlarda bu değerlerin aşıldığı görülmüştür.

Tuğla malzeme için bakıldığında, G+EQx yüklemesi sonucunda tuğla malzeme için kabul edilen, 360 kN olan çekme sınır değerleri yapının bazı kısımlarında aşılmıştır.

Son cemaat mahfilinin üzerini örten kubbelerin, kubbe geçiş elemanlarının yapı kütleleri ile birleştiği kısımlarda, giriş kapısının üzerinde çok küçük bir bölgede ve trompların duvar ve geçiş elemanları ile birleştiği kısımlarda bulunan birkaç noktada tuğla malzeme için kabul edilen sınır değer aşılmıştır. Bunların içinde gerilmelerin en yoğun olduğu alanlar küçük kubbeler ve kubbe elemanlarının yapı kütleleri ile birleşme noktalarıdır.

G+EQy yüklemesi sonucunda tuğla malzeme için kabul edilen çekme sınır değerlerinin aşıldığı kısımlar şunlardır:

Küçük kubbeler ve kubbe geçiş elemanlarının yapı ile birleşim noktalarında, küçük kubbelerin aralarında kemerler ile birleştiği noktalarda çok az bir kısımda, ana kubbenin giriş aksının kuzey tarafında yer alan kubbe kasnağı ile duvar birleşim noktasında, mevcut güçlendirmelerin yer aldığı ve ana kütleyle bağlandığı bölgelerde tuğla için kabul edilen çekme sınır değeri aşılmıştır. Ayrıca trompların güney cephesinde duvar ile birleştiği bazı kısımlarda da bu değer aşılmıştır.

Yapılan gerilme hesaplarında, yapı elemanlarını oluşturan taş ve tuğla malzemeler için ele alınan mekanik özelliklerin literatür araştırmaları sonucunda elde edilen değerler doğrultusunda belirlendiği göz önünde bulundurulmalıdır. Buna göre yapıda oluşabilecek malzeme bozulmaları ve malzeme kayıpları yapının strüktürel durumuna ve davranışlarına etki edebilir. Analiz sonucunda bulunan yer değiştirmeler ve gerilmeler yapının büyük bir kısmında makul sınırlar içerisinde olmakla birlikte yapının bazı kısımlarında belirlenen sınır değerler aşılmıştır. Oluşabilecek herhangi bir deprem etkisi altında Dursunoğlu (Tahir Paşa) Camisi'nin depreme karşı dayanımı genel olarak iyi durumdadır. Fakat gerilmelerin çok yoğun olduğu kısımlarda yer yer çatlama, malzeme kopmaları ve küçük çaplı yıkılmalar olması olasıdır. Özellikle yapının giriş cephesi, burada yer alan son cemaat mahfilinin cephe ile birleşim noktaları ve yapı zemin birleşimlerine dikkat edilmeli ve bu kısımların daha detaylı analizleri yapılarak bu kısımlar gerekirse güçlendirilmelidir. Ayrıca analiz sonucuna göre yapı için daha önceden yapılan temel güçlendirmelerinin ve son cemaat mahfili kubbelerini yapıya bağlayan güçlendirmelerin ne kadar yerinde ve doğru olduğu görülmüştür.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1. Sonuçlar

Yapılan bu çalışma kapsamında tarihi yığma yapıların modellenmesi ve deprem performansı analizi üzerinde durulmuştur. Örnek çalışma sürecine öncelikle yapı hakkında genel bilgiler verilmesi, malzemelerinin saptanması, yapılan ekler ve tarihi araştırmalar yapılarak başlanmıştır. Daha sonra malzeme özelliklerinin belirlenmesi, yapının modellenmesi, analiz yöntemleri üzerinde durulmuştur. Devamında oluşturulan matematiksel model kullanılarak Dursunoğlu (Tahir Paşa) Camisi'nin farklı yükler altında statik analizi, modal analizi ve spektrum analizi yapılmıştır. Analiz sonuçları elde edilen gerilme haritaları ve yer değiştirme durumlarına göre incelenmiştir. yapılan incelemeler ve analizler doğrultusunda elde edilen sonuçlar şu şekilde sıralanabilir:

1. Yapılan çalışma temel olarak dört kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısım, yapı malzemelerinin fiziksel özelliklerinin belirlenmesidir. İkinci kısım, modellemede ele alınacak sonlu elemanlar yönteminin belirlenmesidir. Üçüncü kısım, yapının modelinin uygun boyuta ve uygun eleman sayısında oluşturulması ve malzeme özelliklerinin model üzerine tanımlanmasıdır. Dördüncü kısım ise tarihi yığma yapının analizinde uygulanacak işlemler ve yöntemlerdir.
2. Dursunoğlu (Tahir Paşa) Camisi'nde meydana gelen hasarların büyük bir kısmı yapıya sonraki dönemlerde eklenen son cemaat mahfilinin yapı ile birleştiği noktalarda meydana gelmiştir. Daha sonra hasarlar sırasıyla yapı ve zemin birleşim kısımlarında, yapının pencere boşlukları ve kapı boşluğu çevresinde ve yapı elemanlarının birbirleri ile birleştiği noktalarda görülmektedir.
3. Yapılan analiz sonucunda yapıda kullanılan güçlendirme elemanlarının kullanışlı olduğu görülmüştür.
4. Elde edilen sonuçlara göre yapının bazı bölgelerinde kısmi zayıflıklar görülse de, yapı genel olarak yapısal bir tehdit oluşturmamaktadır.
5. Yapılan analiz sonuçlarında yapıda meydana gelen en büyük yer değiştirmeler son cemaat mahfilinde tespit edilmiş olup bu değerler x doğrultusunda (yapıya göre doğu-batı doğrultusu) 15 mm, y doğrultusunda (yapıya göre kuzey-güney doğrultusu) 13 mm'dir. Yapının en üst noktasını temsil eden ana kubbenin uç kısmında ise yer değiştirmeler x ve y doğrultusunda 9'ar mm'dir.

6. G+EQx ve G+EQy yüklemeleri neticesinde, yapıda oluşan S22 çekme ve basınç gerilmelerine bakıldığında, en yüksek gerilme değerinin 1,60 MPa ile pandantiflerde, en düşük gerilme değerinin ise -1.36 MPa ile kemerlerde yer aldığı görülmektedir.
7. G+EQx ve G+EQy yüklemeleri sonucunda yapının neredeyse hiçbir yerinde basınç ve kayma emniyet gerilmeleri aşılmamıştır.
8. Ön cemaat mahfilinin yapıdan ayrılma şeklindeki hareketi sebebi ile kubbe kasnağının kuzey tarafında büyük çekme gerilmeleri oluşmuştur. Bununla birlikte yapının mevcut halinde dikkat çekici bir hasar görülmemiştir.

Tarihî yapılar malzeme, yapım sistemi ve tekniği bakımından günümüz modern yapılarından farklıdır. Bununla birlikte çok uzun yıllar önce inşa edildiklerinden dolayı günümüze kadar geçen süreçte yapılan bakımlar, onarımlar ve değişiklikler net bir şekilde bilinemeyebilir. Yapıdan örnek alınamaması, yapı üzerinde tahribatlı deneyler yapılamaması, eldeki teknolojik aletlerin eksikliği gibi nedenlerden dolayı yapı elemanlarını oluşturan malzemelerin ve yapının yapım sistemlerinin hakkında net veriler bulmak neredeyse mümkün değildir (Erdemir ve Başar, 2019). Belirlenen malzeme özellikleri, yapılan sayısal model ve analizler her ne kadar gerçek durumla bire bir aynı olmasa da, gerçekteki yük aktarma prensiplerine göre ve ayrıntılı bir biçimde modelleme ve analizler yapılmaya çalışılmıştır. Bundan dolayı bulunan yapı davranışlarının ve sonuç değerlerin gerçeğe yakın değerler olduğu düşünülmektedir.

7.2. Öneriler

Yapılan çalışma ve bulunan sonuçlar neticesinde tarihi yapıların daha iyi bir duruma getirilmesi ve başka çalışmalara da örnek teşkil etmesi bakımından bazı öneriler aşağıda verilmiştir.

1. Dursunoğlu (Tahir Paşa) Camisi'nin deprem performansı incelenirken doğrusal (lineer) elastik analiz yapılmıştır. Yapının durumunun daha ayrıntılı incelenebilmesi için hasar oluşabilecek noktalar bölgesel olarak ele alınmalı ve daha detaylı olan, doğrusal olmayan (non-lineer) analizler yapılarak incelenmelidir. Buna göre gerekli güçlendirme yöntemleri ve malzemeleri kullanılarak yapıda hasar oluşabilecek bölgeler güçlendirilmelidir.

2. Bu tür çalışmalar birçok bilim dalının alanıyla ilgili olduğundan, mimarlar, inşaat mühendisleri, jeoloji mühendisleri, malzeme bilimi ile uğraşan diğer meslek kolları ve ilgili mesleki disiplinler birlikte çalışmalıdırlar.
3. Tarihi yapıların malzeme özellikleri tek tek incelenmeli ve bununla ilgili veriler toplu bir şekilde bir araya getirilmelidir.
4. Yapıların ve yapı malzemelerinin özelliklerinin belirlenebilmesi amacıyla üniversitelerde laboratuvarlar kurulmalı ve ilgili meslek grupları burada ve yapı üzerinde ortak çalışmalar yapmalıdır.
5. Yapı analiz programları içerisinde gerçeğe en yakın sonuçları veren programlar seçilmeli ve üniversitelerde bu alanda çalışmak isteyen kişiler için lisans ve lisansüstü dersler verilmeli ve çalışmalar yapılmalıdır.
6. Bu çalışma yapı için ileride yapılacak olan restorasyon ve güçlendirme çalışmaları için bir altlık oluşturmalı ve yapıya yönelik alınacak kararlarda göz önünde bulundurulmalıdır.

KAYNAKLAR

- AFAD, 2021, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Türkiye deprem tehlike haritaları interaktif web uygulaması [online], <https://tdth.afad.gov.tr/TDTH/ozetRapor.xhtml> [Ziyaret Tarihi: 9 Aralık 2021].
- Akan, A. E., 2010, Tarihi ahşap sütunlu camilerin sonlu elemanlar analizi ile taşıyıcı sistem performansının belirlenmesi, *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 2 (1), 41-54.
- Akan, A. E. ve Özen, Ö., 2005, Bursa Yeşil Türbe'nin sonlu elemanlar yöntemi ile deprem analizi, *Deprem Sempozyumu*, Kocaeli, 758-762.
- Aktaş Yasa, A., 2016, Anadolu Selçuklu ve Beylikler Dönemi Konya yapılarında malzeme kullanımı ve yapım teknikleri, *Vakıflar Dergisi*, 45, 143-176.
- Art & Dem Mimarlık., 2011a, Dursun Fakih (Tahir Paşa) Camii restitüsyon raporu, 9328, *Konya*.
- Art & Dem Mimarlık., 2011b, Dursun Fakih (Tahir Paşa) Camii rölöve raporu, 9328, *Konya*.
- Art & Dem Mimarlık., 2012a, Karatay İlçesi Sahipata Mahallesi Tahir Paşa Camii ve Müştemilatların Projelerinin Alınması İş Restorasyon Projesi.
- Art & Dem Mimarlık., 2012b, Tahir Paşa Camii Fotoğraf Albümü.
- Art & Dem Mimarlık., 2014a, Tahir Paşa Cami Şadırvanı Restorasyon Projesi.
- Art & Dem Mimarlık., 2014b, Tahir Paşa Camii Şadırvan Restitüsyon Raporu, 7411, *Konya*.
- Aslan, A. ve Şahin, A., 2016, Karmaşık geometriye sahip tarihi yapıların modellenmesi için bir yaklaşım-Süleymaniye Camii örneği, *Yapı Dünyası*, 242 (243), 44-53.
- Autodesk, 2012, AutoCAD [Design Software].
- Aygör, E., Tokay, K., Baykal, Ş., Türkmen, A., Yörel, Y., İpek, R. ve Doğan, N., 2010, *Konya İl Merkezi Taşınmaz Kültür ve Tabiat Varlıkları Envanteri, Konya Büyükşehir Belediyesi İmar ve Şehircilik Daire Başkanlığı İmar planlama Şube Müdürlüğü Koruma Uygulama Denetim Bürosu*, Konya, 115-117.
- Can, H., Kubin, J. ve Ünay, A. İ., 2012, Düzensiz geometrik şekle sahip tarihi yağma binaların sismik davranışı, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 27 (3), 679-686.
- Can, H. ve Ünay, A. İ., 2012, Tarihi yapıların deprem davranışını belirlemek için sayısal analiz yöntemleri, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 27 (1), 211-217.
- Croci, G., 1998, The Conservation and Structural Restoration of Architectural Heritage, *Computational Mechanics Publications*, Southampton.
- Çavuş, M., 2013, Tarihi Niksar Kulak Kümbetinin deprem altındaki sismik davranışının değerlendirilmesi, *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, 7, 80-90.
- Dabanlı, Ö. (2008), Tarihi yağma yapıların deprem performansının belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Erdemir, M. ve Başar, M. E., 2019, Tarihi Konya Hasbey Dar'ül Huffazı'nın (mescit) sonlu elemanlar analizi yöntemiyle deprem davranışının incelenmesi, *Journal of Awareness*, 4 (4), 419-432.
- Erdoğan, H. A. (2018), Türk minarelerinin sonlu elemanlar analiz yöntemiyle deprem performanslarının karşılaştırılması, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- Gezdiyar, 2017, Dursun Fakih Camii/Tahir Paşa Camii [online], <https://www.gezdiyar.com/konya-k9.html> [Ziyaret Tarihi: 22 Temmuz 2021].

- Haynes, J. H., 1884, Haynes in Anatolia, 1884 and 1887: View to southwest from Alaeddin Tepesi, Konya [online], Cornell Collections of Antiquities, Cornell University, <https://digital.library.cornell.edu/catalog/ss:12579196> [Ziyaret Tarihi: 17 Kasım 2021].
- Hutton, D. V., 2004, Fundamentals Of Finite Element Analysis, *The McGraw-Hill Companies*, New York.
- Karpuz, H., 2009, Türk Kültür Varlıkları Envanteri Konya 42, 1, *Atatürk Kültür, Dil ve Tarih Yüksek Kurumu Türk Tarih Kurumu Yayınları*, Ankara, 139-141.
- Koçak, A. (1999), Tarihi yapıların statik ve dinamik yükler altında lineer ve non-lineer analizi: Küçük Ayasofya Camii örneği, Doktora Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Konya Kent Bilgi Sistemi, 2019, <https://kentrehberi.konya.bel.tr/#/rehber/> [Erişim Tarihi: 11 Kasım 2021].
- Konyalı, İ. H., 1997), Abideleri ve Kitabeleri İle Konya Tarihi, *Enes Kitap Sarayı*, Konya, 345-350.
- Korkmaz, K. A., Zabin, P., Çarhoğlu, A. I. ve Nuhoglu, A., 2014, Rize Merkez Kurşunlu Camisi'nin deprem davranışının incelenmesi, *Sakarya University Journal of Science*, 18 (3), 149-156.
- Korkut, S., 2017, Poisson Oranı Nedir? [online], <https://www.serdarkorkut.com/2017/05/26/poisson-orani-nedir/#:~:text=Poisson%20oran%C4%B1%20bazen%20eksenel%20ve,i%C3%A7in%20%2C25'tir> [Ziyaret Tarihi: 5 Aralık 2021].
- Lourenço, P. B., 2002, Computations on historic masonry structures, *Progress in Structural Engineering and Materials*, 4 (3), 301-319.
- Lourenço, P. B., 2013, Computational strategies for masonry structures: multi-scale modeling, dynamics, engineering applications and other challenges, *Congreso de Métodos Numéricos en Ingeniería*, Bilbao, 1-17.
- Muşmal, H. ve Çetinaslan, M., 2009, Bir Keşif Defteri Işığında Konya Kapı Camii'nin İnşa Süreci ve Mimari Özellikleri, *Journal of International Social Research*, 1 (6), 446-480.
- Oğuzmert, M. (2002), Dynamic Behavior Of Masonry Minarets, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- SAP2000., 2000, Computers and Structures [Computer Program], Berkeley, USA.
- Sözen, Ş., Çavuş, M. ve Öztoprak, B., 2018, Tokat Garipler Camisi'nin sismik davranışının sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak incelenmesi, *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, 7 (3), 27-37.
- Toker, S. (2000), Development Of Arc Form; Exploring Behavior Of Masonry Arches and Arch Bridges By Finite Element Analysis, Yüksek Lisans Tezi, *Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Toker, S. ve Ünay, A. İ., 2004, Kemerli Taş Köprülerin Matematiksel Modellenmesi ve Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Analizi, *GÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 17 (2), 129-139.
- Ülgen, A. S., Konya Dursun Fakih (Tahir Paşa) Camii - Dursun Fakih (Tahir Pasha) Mosque in Konya [online], SALT Araştırma, Harika-Kemali Söylemezoğlu Arşivi, <https://archives.saltresearch.org/handle/123456789/88177> [Ziyaret Tarihi: 12 Ağustos 2021].
- Ünay, A. İ., 2002, Tarihi Yapıların Depreme Dayanımı, *ODTÜ Mimarlık Fakültesi*, Ankara.

wowTURKEY, 2007, Konya Tahir Paşa Camii [online], http://wowturkey.com/t.php?p=/tr129/necati42_tahirpasahutbe1.jpg [Erişim Tarihi: 6 Eylül 2021].

Yazgan, İ. O. ve Ünay, A. İ., 2019, Bursa, yenişehir sinan paşa külliyesi imaretinin sayısal modellenmesi ve yapısal analizi, *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8 (2), 1193-1203.

