



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN
ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TARİHİ İŞHAK PAŞA TÜRBESİ'NİN
DEPREM DAVRANIŞININ SONLU ELEMANLAR
YÖNTEMİ KULLANILARAK İNCELENMESİ

Hilal ALTUNOK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Mayıs-2022
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

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.

Hilal ALTUNOK
25.05.2022

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

INVESTIGATION OF THE EARTHQUAKE BEHAVIOR OF THE HISTORICAL İSHAK PASHA TOMB USING THE FINITE ELEMENT METHOD

Hilal ALTUNOK

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Dr. Öğr. Üyesi Nebi ÖZDÖNER
2022, 64 Sayfa

Jüri

Dr. Öğr. Üyesi Nebi ÖZDÖNER
Dr. Öğr. Üyesi Ali Serdar ECEMİŞ
Dr. Öğr. Üyesi Hakkı ERKAN

Kültürel miraslarımızın korunması, onarılması, güçlendirilip gelecek kuşaklara aktarılması mühendislik ve mimarlık açısından önem arz etmektedir. Bu miraslarımızın deprem gibi yıkıcı doğal olaylar karşısında davranışlarını gerçekçi bir yaklaşımla belirlemek amacı ile tarihi bir yapının modellemesi ve analizi yapılmıştır. Bu çalışmada Konya'da bulunan ve tarihi bir yapıımız olan İshak Paşa Türbesi ele alınmıştır. İncelenen yapının yapısal modellemesi LUSAS ve analizi SAP2000 programında oluşturulmuştur. Analizler sonucunda ele alınan tarihi yapının deprem etkisi altındaki davranışı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güçlendirme, Tarihi Yapı, Türbe, Yapısal Modelleme

ABSTRACT

MS THESIS

**TARİHİ İSHAK PAŞA TÜRBESİNİN DEPREM DAVRANIŞININ SONLU
ELEMENLAR YÖNTEMİ KULLANILARAK İNCELENMESİ**

Hilal ALTUNOK

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
CIVIL ENGINEERING**

**Dr. Instructor Member NEBİ ÖZDÖNER
2022, 64 Pages**

Jury

**Dr. Instructor Member Nebi ÖZDÖNER
Dr. Instructor Member Ali Serdar ECEMİŞ
Dr. Instructor Member Hakkı ERKAN**

Protecting, repairing, strengthening and transferring our cultural heritage to future generations are important in terms of engineering and architecture. In order to determine our herigate's behaviors against destructive natural events such as earthquakes with a realistic approach, the modeling and analysis of the historical building was carried out. In this study, the tomb of İshak Paşa , which is a historical building in Konya, has been examined. Structral modeling of the examined structure was created in LUSAS and its analysis was created in the SAP2000 program. As a result of the analysis, the behavior of the historical building under the influence of earthquakes has been determined.

Keywords: Historical Building, Strengthening, Structural Modeling, Tomb

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmamı hazırlarken büyük desteğini gördüğüm, her türlü bilgi ve kaynak desteğini benden esirgemeyen tez danışmanım Sayın Dr. Öğretim Üyesi Nebi ÖZDÖNER' e,

Çalışmalarım boyunca maddi ve manevi her türlü verdikleri destek ve yardımlarından dolayı çok değerli aileme,

Değerli vakitlerini harcayıp tez çalışmamı inceleyerek bilgi ve tavsiyelerini benimle paylaşan değerli arkadaşım Mimar Şerife AKIL' a sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Hilal ALTUNOK
KONYA-2022

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Çalışmanın Amacı.....	2
1.2. Yığma Yapılar Üzerine Literatürdeki Bazı Çalışmalar.....	4
1.2.1. Zeminin yapı üzerindeki etkisini belirlemeye yönelik çalışmalar	5
1.2.2. Yığma yapılarda kullanılan malzemelerin yapı dayanımına etkisi.....	6
1.2.3. Güçlendirme yapılmış yığma yapıların davranışlarını belirlemeye yönelik yapılan çalışmalar	6
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	8
3. YAPININ GENEL ÖZELLİKLERİ.....	14
3.1. Yapının Tarihçesi	14
3.1.1. Yapı proje detayları	14
3.2. Bölgenin Depremselliği	17
3.2.1. Deprem yer hareketi düzeyi-1 (DD-1).....	17
3.2.2. Deprem yer hareketi düzeyi-2 (DD-2).....	18
3.2.3. Deprem yer hareketi düzeyi-3 (DD-3).....	18
3.2.4. Deprem yer hareketi düzeyi-4 (DD-4).....	18
4. MATERYAL VE YÖNTEM.....	21
4.1. Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesi	21
4.1.1. Kesme taş.....	22
4.1.2. Ot tuğlası.....	23
4.1.3. Harç.....	24
4.1.4. Sıva	24
4.2. Tarihi Yapılarda kullanılan taşıyıcı sistemler	25
4.2.1. Duvarlar	27
4.2.2. Temeller	27
4.2.3. Döşemeler	28
4.2.4. Kubbeler.....	29
4.2.5. Kemerler	30
4.3. Yığma Yapı Dayanım Ölçütleri	31
4.3.1. Basınç dayanımı.....	32
4.3.2. Çekme dayanımı	33
4.3.3. Elastisite modülü.....	33
4.3.4. Kayma dayanımı	34

4.4.	Sonlu Elemanlar Modeli	34
4.4.1.	Lusas program özellikleri	37
4.4.2.	Sonlu elemanlar analizi.....	44
5.	YIĞMA YAPILARIN İNCELENMESİ.....	53
5.1.	Yığma Yapılarda Oluşabilecek Hasar Durumları	53
5.2.	Hasarlara Müdahale Yöntemleri	57
6.	SONUÇLAR.....	60
	KAYNAKLAR	62

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

<i>E</i>	: Elastisite modülü [MPa]
<i>f_m</i>	: Basınç dayanımı [MPa]
<i>G</i>	: Kayma modülü [MPa]
<i>w</i>	: Birim hacim ağırlığı [kN/m ³]
<i>τ_o</i>	: Kayma dayanımı [kPa]
<i>f_{em}</i>	: Basınç emniyet gerilmesi [kN/m ²]
<i>f_{emb}</i>	: Taşıma gerilmesi [kN/m ²]
<i>f_{emç}</i>	: Çekme emniyet gerilmesi [kN/m ²]

Kısaltmalar

DD-1	: 50 yılda aşılma olasılığı %2 (tekrarlanma periyodu 2475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
DD-2	: 50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
DD-3	: 50 yılda aşılma olasılığı %50 (tekrarlanma periyodu 72 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
DD-4	: 50 yılda aşılma olasılığı %68 (tekrarlanma periyodu 43 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
MPa	: Megapaskal
kN/m³	: Kilonewton metre küp
kPa	: Kilopaskal
PGA	: En büyük yer ivmesi [g]
PGV	: En büyük yer hızı [cm/s]
<i>S_{ae}(T)</i>	: Yatay elastik tasarım spektral ivmesi [g]
<i>SDS</i>	: Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
<i>SD1</i>	: 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
<i>SS</i>	: Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
<i>S1</i>	: 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
<i>T</i>	: Doğal titreşim periyodu [s]
<i>TA</i>	: Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu [s]
<i>TB</i>	: Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu [s]
TBDY	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
<i>TL</i>	: Yatay elastik tasarım spektrumunda sabit yer değiştirme bölgesine geçiş periyodu [s]

1. GİRİŞ

Ülkemiz yüzyıllar boyunca birçok medeniyeti bünyesinde barındırmış, tarihi yapılar yönünden zengin bir coğrafyaya sahiptir. Tarihi yapılar kültürel miras kabul edilip geleceğe en iyi şekilde aktarılma konusunda koruma, onarım ve güçlendirme gibi birçok emek verilmiş yapılardır. Bugün inşa edilen betonarme yapıların ekonomik ömürlerinin 40-50 yıl gibi bir süre olmasına karşın tarihi yapılar yüzyıllar boyunca ayakta kalmış ve halen ayakta kalmakta olan yapılardır. Bu durum tarihi yapıların yapısal özelliklerinin incelenmesi gerektiğinin açıkça bir kanıtıdır. Tarihi yapılar yığma yapı olarak inşa edildikleri için yapısal davranışlarını kapsamlı olarak yorumlamak oldukça güçtür. Bunun nedeni ise malzemelerin zamanla kalitesinin ve davranışının maruz kaldığı koşullardan dolayı değişmesidir. Yığma yapıya müdahale etmeden önce yapı hakkındaki tüm bilgilerin araştırılması, bilgilerin toplanması ve gerekli çalışmaların yapılması gerekir. Bu çalışmalarda yapısal durum saptaması yapılır. Yapısal durumlardan bir tanesi de yapının modellenmesi ve üzerine etkiyen yükler altındaki davranışının hesaplanmasıdır. Yığma yapıların özellikle deprem gibi yıkıcı yükler altındaki davranışının bilinmesi ve gerekli hesapların yapılması bu tür yapıların geleceğe daha sağlıklı aktarılmasını sağlar. Kullanılan malzemelerin zamanla dayanımlarında azalmaların olması ya da aynı yapının farklı bölgelerinde ki malzemelerin bile farklı etkilere maruz kalması sonucu farklı davranış göstermeleri deprem etkisinde önem arz etmektedir. Bunların yanı sıra doğal afetler ya da zamanında alınmamış önlemlerde bu farklı davranışın sebepleri arasındadır. Bütün bunlar kapsamlı olarak ele alındığında yapının ilk olarak depreme karşı dayanımlı hale getirilmesi gerekmektedir.

Kültürel değerlerimiz yalnızca mühendislik disiplinlerinin değil farklı birçok bilim dallarının da inceleme alanına girmektedir. Kocaman vd. (2017) yaptıkları çalışmalarında Tarihi Lala Paşa Cami örneğini ele almışlardır ve çalışmalarında taşıyıcı sistem ve malzeme özelliklerinin doğru bir şekilde tespit edilmesi gerektiğinin önemini vurgulamışlardır. Kocaman vd. (2018) Tarihi Erzurum Yakutiye Medresesi'nin yapısal davranışını incelemişler ve yapıda kılcal çatlaklar oluştuğunu gözlemlemişlerdir. Korkmaz vd. (2014) Rize Merkez Kurşunlu Cami'sinin deprem davranışını incelemişler. Yapıya farklı deprem kuvvetleri uygulanarak, yapının zaman tanım alanında dinamik analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu analizler sonucunda gerilme ve yer değiştirme sonuçları ile değerlendirmeler yapılmıştır. Çarhoğlu vd. (2013) Kars ilinde bulunan tarihi Kümbet

Cami'sini Sap2000 sonlu elemanlar programı ile üç boyutlu olarak modellemişler ve yer değiştirme, gerilme kuvvetlerini incelemişlerdir. Sözen vd. (2018) Tokat Garipler Camisini sonlu elemanlar yöntemini kullanarak olası bir deprem etkisi altındaki davranışını incelemişlerdir. Ay vd. (2012) yaptıkları çalışmalarında deprem kuşağında yer alan ülkemizde ki yığma yapıların deprem etkisi altındaki davranışlarının incelenmesi gerektiğinin önemine vurgu yapmışlardır. Çalışmalarında sonlu elemanlar yöntemini kullanarak yığma yapının dinamik analizi yapılmıştır. Işık ve Antep (2018) tarihi bir minareyi sonlu elemanlar yöntemini kullanarak ele almışlardır. Yapı üzerine farklı yüklemeler yapılmış ve yapının deprem etkisi altında davranışını belirlemeye çalışmışlardır. Yığma yapılar üzerinde geçmişte yapılmış ve halen yapılmakta olan birçok çalışma bulunmaktadır. Farklı dallarda farklı şekilde yapılan çalışmalar ve hesaplamalar birbirleriyle bağdaştırıldığında yapı için genel ve doğru yaklaşımlar elde edilmiş olur. Taşın sanata dönüştüğü bu yapılar da farklı dalların ortak noktası bu yapıların korunarak bütün güzelliği ile geleceğe aktarılmasıdır. Bu anlayış doğrultusunda tarihe meydan okuyan birçok kültürü içinde barındırmış ve kültürel birçok özelliği yansıtan bu yapıların yok olması önlenmiş olur. Bunun en önemli basamağı yapıda taşıyıcı sistemlerin güçlendirilmesi, zarar gören parçaların onarılması, gerekli olan temizlik ve bakımın yapılması malzemelerin sahip oldukları özelliklerin uzun yıllar aynı kalabilmesi için yapılan çalışmalardan birkaçıdır.

1.1. Çalışmanın Amacı

Dünyanın birçok yerinde yığma yapı bulunmaktadır. Bu yapılar bulunduğu coğrafyanın tarihi değerleridir. Geçmişten günümüze ulaşmış olan bu eserler ayakta kaldığı süre boyunca birçok olumsuz etkene maruz kalmış ve yapısal değişikliklere uğramışlardır. Tarihi miras olan bu yapılar birçok onarım ve güçlendirmeye ihtiyaç duyar. Bu yapıların günümüz koşullarında korunması, güvenle ayakta kalmaları ve gelecek kuşaklara güvenle aktarılması gerekir. Günümüzde halen kullanılıyor olmaları ve buldukları bölgede tarihi bir sembol haline gelmiş olmaları bu yapıların önemini arz etmektedir. Günümüzde yığma yapılar halen kullanılıyor olsalar da yığma yapı inşa edilmesi geçmişe nazaran azalmıştır. Yığma yapımında ki düşüşlerin birçok sebebi bulunmaktadır. Bunlardan bazıları; yığma yapıların süneklikten yoksun olması, günümüz koşullarında yapılara belli standartların getirilmesi sonucu kırsal alanlardaki gelişigüzel yapıların inşasını azaltması, özellikle kırsal bölgelerde depremler sonucu oluşan hasarlar,

can ve mal kayıpları da yığma yapıların günümüzde tercih edilmeme sebepleri arasında yer almaktadır. Tüm bunların yanı sıra köylerden kentlere yapılan göçler de kırsal alanlarda yığma yapıların kullanımını azaltmıştır. Ancak geçmişe bakıldığında belli standartlarının olmaması, yığma yapıların gelişigüzel tuğla, briket, çamur, horasan harcı ve taş gibi yerel malzemelerden yapılması, kalifiye işçilik gerektirmemesi ve taşıyıcı sitemlerinin basit kutu şeklinde yapılması gibi kolaylıkların olması da tercih edilme sebeplerindedir. Kırsal kesimlerde yapılan yığma yapı tarzındaki yerleşim tiplerinin yanı sıra daha ağır malzemeler kullanılarak yapılan ve birçok olumsuz koşullara maruz kalmış olan anıtsal nitelik taşıyan yapıların deprem altında gösterdikleri performanslar ve hasarları arasında da farklılar mevcuttur. Kesme taş gibi ağır malzemeler kullanılarak yapılan türbe, camii, köprü gibi yapılar günümüze kadar ulaşmış ve halen kullanılmakta olan yapılardır. Anıtsal nitelik taşıyan ya da taşımayan yığma yapılara müdahale edilmeden önce yapı üzerinde titiz araştırmaların yapılması gerekir. Kapsamlı araştırma yapılmaksızın yapılan her müdahale yapıda bozulmalara sebebiyet vermektedir. Yığma yapıya müdahale edilmeden önce yapının kültürel tarihinin araştırılması gerekmektedir. Yapı ile ilgili herhangi bir veri eksikliğinin olmaması, yapım aşamaları ve sırasının bilinmesi gerekmektedir. Müdahale edilecek yapıya ait veri çeşitliliği çalışmaların sonuçlarını olumlu yönde etkilemektedir. Malzeme özellikleri, bağlantı detayları, yapı tarihçesi, yapının dayanımı ile ilgili detaylar bilindiği takdirde yapı için uygun müdahale yöntemleri daha kolay belirlenebilmektedir. Tarihi yapılara müdahale ciddi bir mühendislik disiplini gerektirmektedir. Çalışmalar esnasında yapı üzerinde ki yatay ve düşey hatılların konumu, kapı ve pencere büyüklüklerinin buldukları alan üzerindeki oranı, köşe birleşim bağlantı elemanları, yapım kusurları, yapının üzerinde bulunduğu zemin koşulları, duvardaki derz boşlukları, harç kalınlıkları ve kullanılan malzeme özellikleri dikkat gerektiren hususlar arasında yer almaktadır. Duvarlarda kullanılan malzemeler ve zemin özellikleri yapının deprem esnasında gösterdiği davranışı önemli oranda etkilemektedir. Duvarlar da kullanılan malzemelerin dayanımı, malzemeler arasındaki aderans yapının deprem esnasında alacağı hasar oranlarını önemli oranlarda etkilemektedir. Duvarda oluşabilecek kayma dayanımı tuğla- tuğla arasındaki sürtünmeye ya da tuğla- harç arasındaki aderansa bağlıdır. Harç kalınlığı da yapı için önem arz etmektedir. Bir diğer önemli husus yapının zemin özellikleridir. Yığma yapılar temel oturmalarına karşı son derece hassas olan yapılardır. Zeminde oluşan oturmalar yapının duvarlarında çatlak oluşumu şeklinde gözlenebilmektedir. Zeminlerin oturma tiplerine göre duvardaki çatlak tipleri de değişmektedir. Yapının çatlak hasarına bakılarak

zemindeki oturma tipleri tahmin edilebilir. Bu çalışmamızdaki amaç ise yukarıda belirtilen hususlar dikkate alınarak İshak Paşa Türbesini gerçeğe yakın bir şekilde modellemek ve üzerine etkiyen yükler altındaki yapısal davranışını incelemek ve olası hasarlar sonucunda gerekli önlemleri almaktır. Konya bölgesinde bulunan ve tarihi yapı niteliği taşıyan bu yapının olası muhtemel strüktür zorlanmalarını araştırmak amacıyla üzerine etkiyen yükler altında statik çözümlenmeleri yapılmış ve sonuçlar değerlendirilmeye çalışılmıştır.

Analiz aşamasında ilk olarak, plan ve kesitler üzerinden yapı elemanlarına ait geometrik modeller okunarak Sap2000 programında SHELL elemanlar kullanılarak yapı oluşturulmuştur. Daha sonrasında malzeme özellikleri ve yükler programa girilmiş ve böylelikle lineer statik analiz için gerekli veriler hazırlanmıştır. Daha sonra analizi yapılan modele ait sonuçlar incelenmiştir. Analizdeki aşamalara ait görüntüler bölüm 4'te yer alan şekillerde verilmiştir. Analizleri yapılan İshak Paşa Türbesi'nin, statik olarak dengeli bir yapı olduğu saptanmıştır.

1.2. Yığma Yapılar Üzerine Literatürdeki Bazı Çalışmalar

Kültürel mirasımızın birer parçası olan yığma yapılar geçmişten günümüze kadar barınma, eğitim, sağlık, ibadethane ve ulaştırma gibi birçok farklı alana hizmet etmiş ve birçok farklı kültüre ev sahipliği yapmıştır. Tarihi zenginliklerimizin bu denli farklı alanlara ve farklı medeniyetlere ev sahipliği yapması ve yüzyıllar boyunca ayakta kalması araştırma konusu olmuştur. Tarihi yapılar üzerine yapılan bazı çalışmalar şu şekildedir.

- Zeminin yapı üzerindeki etkisini belirlemeye yönelik çalışmalar,
- Yığma yapılarda kullanılan malzemelerin yapı dayanımına etkisini belirlemek için yapılan çalışmalar,
- Örgü tiplerinin yığma yapı üzerindeki etkilerini belirlemek için yapılan çalışmalar,
- Doğal veya yıkıcı sebeplerden dolayı hasar görmüş yapıların hasar öncesi mevcut durumları ile hasardan sonraki durumlarını incelemeye yönelik yapılan çalışmalar,
- Yığma yapılarda kullanılan malzeme özelliklerini belirlemek için yapılan çalışmalar,

- Yığma yapıların deprem gibi dinamik yükler altındaki davranışını belirlemek için yapılan çalışmalar,
- Yığma yapıların taşıyıcı sistemlerine yönelik yapılan çalışmalar,
- Güçlendirme yapılan yığma yapıların davranışlarının belirlenmesine yönelik yapılan çalışmalar gibi farklı birçok çalışma bulunmaktadır.

1.2.1. Zeminin yapı üzerindeki etkisini belirlemeye yönelik çalışmalar

Kültürel mirasımız olan tarihi yapıların hasar almalarında iki önemli faktör etkilidir. Bunlardan bir tanesi zemin faktörü iken bir diğeri ise dinamik bir faktör olan depremdir. Deprem geçmişten günümüze kadar birçok yığma yapıda çeşitli hasara sebep olmuştur. Bazı yapıları kısmen veya tamamen yıkarken bazı yapılarda ise çatlak oluşumu gibi hasarlara neden olmuştur. Deprem sonucu oluşan bu olumsuz durumlar yapı stoğumuzun değerlendirilmesi gerektiği gerçeğini açık bir şekilde ortaya koymaktadır. Hasar gören yığma yapılarda deprem esnasında üzerine etkiyen yüklerin yanı sıra yapının kendi ağırlığı, yapının geometrik formu, yapıya eklenen dekoratif formlu elemanlarda birçok hasara neden olmaktadır. Karmaşık strüktürel forma sahip bu yapıların analiz için hazırlanan modelde birleşim detaylarını ayrıntılı bir şekilde belirlemek oldukça zordur. Deprem gibi beklenmedik doğal afetler ise bu durumda yapı için büyük bir tehlike oluşturmaktadır. Diğer bir büyük tehlike ise yapı zemininde meydana gelen oturmalarıdır. Zeminlerde meydana gelen ani oturmalar yapının atalet kuvvetlerini, periyotlarını ve mod şekillerini etkilemektedir. Belirtilen bu gibi sebeplerden dolayı yapılar çözümlenirken yapı- zemin etkisi birlikte düşünülerek çözümlenmesi yapılmaması analiz sonuçlarının daha sağlıklı elde edilmesine olanak sağlamaktadır.

Yapılarda meydana gelen dönme ve çökme gibi durumların aynısı zeminlerde de meydana gelmektedir. Bunun yanı sıra farklı zemin özelliklerinin yapı üzerinde farklı etkileri bulunmaktadır. Özellikle salınım periyotları üzerindeki etkileri açık bir şekilde görülmektedir. Kuvvetli yer hareketi olan depremler bu etkilerin ortaya çıkmasında ciddi etkenlerden bir tanesidir. Zemin üzerinde inşa edilecek herhangi bir yapının ileride hangi şiddette depreme maruz kalacağı kesin olarak bilinemediğinden dolayı zemin özellikleri ciddi araştırma ve mühendislik hizmeti gerektiren konulardan bir tanesidir. Literatürde yapı- zemin etkileşimi üzerine birçok araştırma bulunmaktadır. Kılıçer ve Özgan (2018) yaptıkları çalışmada, yapı- zemin etkileşiminde zemin özelliklerinin sadece temel

tasarımını etkilemediği bunun yanı sıra üst yapı tasarımını da etkilediği sonucuna varmışlardır. Günümüzde de havaalanları, köprüler, binalar gibi birçok yapı zemin etüt raporlarına göre boyutlandırılmaktadır.

1.2.2. Yığma yapılarda kullanılan malzemelerin yapı dayanımına etkisi

Ülkemizde son yıllarda meydana gelen depremler yapı dayanımının önemini bir kez daha ortaya çıkarmıştır. Deprem kuşağında yer alan ülkemizde betonarme yapı stoğunun yanı sıra yığma yapı stoğuda bulunmaktadır. Özellikle yığma yapıların deprem altındaki davranışlarının belirlenmesi hem yapının gelecek kuşaklara aktarılmasını hem de can ve mal kaybının en aza indirilmesi bakımından oldukça önem arz etmektedir. Her yapının kendine özgü yapım tekniği ve malzemesi bulunmaktadır. Yığma yapılar genel olarak kesme taş, tuğla, ahşap ve harçtan oluşmaktadır. Yığma yapının deprem altındaki davranışını belirlemede önemli aşamalardan biridir malzeme özelliklerinin belirlenmesi. Her yığma yapı kendine özgü farklı özelliklerdeki malzemelerden oluşmaktadır. Bunun yanı sıra birçoğu mühendislik hizmeti almadan yapılmıştır. Mühendislik hizmeti almadan yapılan bu yapıların yüzyıllar boyunca birçok olumsuz faktöre maruz kalmasına rağmen ayakta kalması malzeme özelliklerinin bilinmesinin ne denli önemli olduğunu ortaya koymaktadır. Üzerinde deney yapılmasına olanak sağlayan yapılarda deneyler üzerinde yapılırken üzerinde deneye olanak sağlamayan yapıların malzeme özellikleri belli varsayımlar kabul edilerek yapılmaktadır. Bunun yanı sıra bazı yığma yapılarda malzeme özellikleri yapı üzerinden numuneler alınarak laboratuvar ortamında incelenerek belirlenmektedir. Uygulamalar sonucunda yapı üzerinde gerçekleştirilecek güçlendirme, onarım, aslına uygun olacak şekilde kısmi olarak yenileme ve koruma önerilerinde bulunmaktadır. Yapılan tüm bu uygulamalardaki ortak amaç yapının özgünlüğünü koruyarak kültürel birer miras olarak gelecek kuşaklara aktarılmasını sağlamaktır.

1.2.3. Güçlendirme yapılmış yığma yapıların davranışlarını belirlemeye yönelik yapılan çalışmalar

Birçok yığma yapı ayakta kaldığı süre boyunca doğal veya beşeri birçok faktöre maruz kalmaktadır. Bazıları tamamen yıkılırken bazıları hafif, orta ve ağır hasarlı olarak ayakta kalmıştır. Bu yapıların hasar durumlarına bakılarak ihtiyaca en uygun güçlendirme yöntemi uygulanır. Güçlendirme çalışmalarının ilk aşamasında temel güçlendirmesi yer

almaktadır. Temel güçlendirmesinde yöntem olarak yapı yükünün kazıklar ile sağlam zemine aktarılması, temel sisteminin radye temel yapılması güçlendirme çalışmalarından birkaçıdır. Temel ile ilgili çalışmalardan sonra üst yapının onarım ve güçlendirilmesi yapılmaktadır. Üst yapının onarım ve güçlendirilmesinde farklı yöntemler bulunmaktadır. Yapılan araştırmalar neticesinde tarihi yapılarda en iyi verimi elde etmek ve olası hasarların önüne geçebilmek için uygulanacak onarım ve güçlendirme çalışmaları şu şekilde özetlenebilir:

- Çimento enjeksiyonu ile onarım yapılması
- Sıva yöntemi ile onarım yapılması
- Taşıyıcı sistemlerin güçlendirilmesi
- Püskürtme beton ile güçlendirme
- Kendiliğinden yerleşen beton uygulaması ile güçlendirme yapılması
- Çelik sargı yaparak güçlendirme yapılması
- Lifli polimerler kullanılarak güçlendirme yapılması
- Yapıda yatay ve düşey düzensizliği ortadan kaldırmak amacı ile; düşeyde devam etmeyen duvarlara mevcut duvarların sürekliliğini sağlayacak şekilde duvar eklenmesi
- Yapıya kolon veya perde duvar eklenmesi
- Yapı temelinde kazıklı sistem yapılması veya temel sisteminin değiştirilmesi
- Yapıya olumsuz etkisi olan sular için drenaj sistemlerinin yapılması

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Mahrebel (2006), yapmış olduğu çalışmasında tarihi yapının tanımı, tarihi yapı türleri, kullanılan malzemeler ve özellikleri, tarihi yapıyı oluşturan taşıyıcı sistem özellikleri ve bu yapılarda meydana gelen hasarlar ve günümüzde uygulanan hasar tespit yöntemlerinden, yığma kagir binaların deprem güvenliğinin incelenmesinden ve tarihi yapılarda uygulanan onarım ve güçlendirme teknikleri anlatılmaktadır. Çalışmanın son bölümünde tarihi yığma kagir üç binada uygulanan güçlendirme teknikleri anlatılmaktadır. İncelenen yapılar Edirne Muradiye Camisi, İstanbul Vefa Lisesi ve Kabataş Erkek Lisesi Eğitim ve Yatakhane Binaları. Bu yapılardan Edirne Muradiye Camisinin temel derinliğinin yetersiz olduğunu, yapının son cemaat mahali hariç, yapı etrafına ve köşe bölgelerine temel yapılması kararı alınmıştır. İstanbul Vefa Lisesi' nde ise kapı ve pencere boşluklarının boyut ve konumları bakımından 1998 Deprem Yönetmeliğine uygun olmadığı belirlenmiştir. Bu yapıda tüm taşıyıcı duvarların her iki yüzüne ve tüm katlarda devam edecek şekilde püskürtme beton uygulamasını uygun görmüşlerdir. İncelenen üçüncü yapı olan Kabataş Erkek Lisesi Eğitim ve Yatakhane binalarında zemin ıslahı, temel ve taşıyıcı duvarların güçlendirilmeleri yapılmıştır.

Aköz (2008), tez çalışmasında, yığma yapıların onarım ve güçlendirilmesi üzerine değerlendirmelerde bulunmuştur. Tarihi yığma bir yapının üç boyutlu sonlu elemanlar modeli hazırlanarak statik ve dinamik analizi yapılmıştır. Deprem güvenliği belirlenen yapının güçlendirme ihtiyacı ve metodu hakkında öneriler verilmiştir.

Gedik (2008), bu çalışmada tarihi Mehmet Ağa Camii, yığma yapıların malzeme özellikleri, elemanları, bu yapılarda oluşan hasarlar ve bu hasarların onarım ve güçlendirilmesi hakkında özet bilgi verilerek incelenmiştir. Yapıda meydana gelmiş olan hasarlar saha çalışmaları ile belirlenmiştir. Yapının modeli hazırlanarak yapı kendi ağırlığı ve deprem yükleri altında analiz edilmiştir. Yapıya gelen yükler ve 50 yılda aşılma olasılıkları %2 ve %10 olan iki farklı deprem yüklemesi ile analiz edilmiştir. Yapıda yükler altında oluşan çekme gerilmesi bölgeleri araştırılmıştır. Yapı kullanım ömrü boyunca muhtemel oluşabilecek hasarların önlenmesi için bazı onarım ve güçlendirme önerilerinde bulunulmuştur.

Çavuş, Dayı, (2013), bu çalışmada Niksar Kırk Kızlar Türbesi'nin yapısal davranışını ve depreme karşı davranışını belirlemek için yapının yapısal analizi yapılmıştır. Yapı, SAP2000 bilgisayar programında sonlu elemanlar yöntemiyle modellenerek analizi yapılmıştır. Ele alınan yapının hesap modeli üzerinde iki ayrı yükleme durumu uygulanmıştır. Yükleme durumları ilki sabit yüklerin, ikincisi ise deprem spektrumu ile tanımlanan yer hareketlerinin yol açtığı zorlamaları kapsamaktadır. Yapının deprem etkisi altındaki performansı incelenmiş ve analiz sonuçları türbenin yapısal performansı hakkında genel bir fikir verilmiştir.

Anadut (2016), tez çalışmasında, tarihi yapıların dinamik davranışlarının belirlemek amacı ile Yozgat ilinde bulunan Elekçi Köprüsü ve Yozgat Saat Kulesi'nin deprem davranışı açısından değerlendirilmiştir. Ele alınan yapılar SAP2000 programında makro modelleme tekniğine göre solid elemanlar kullanılarak modellenmiştir. Modellemesi yapılan yapılar üzerinde 13.03.1992 tarihli Erzincan depreminin deprem ivme kayıtları kullanılmıştır. Kullanılan kayıtlar ile modellerin zaman tanım alanında dinamik analiz yöntemiyle dinamik analizlerini gerçekleştirilerek ele alınan tarihi yapıların deprem etkisi altındaki davranışları belirlenmiştir.

Çavuş (2013), “Tarihi Niksar Kulak Kümbetinin Deprem Altındaki Sismik Davranışının Değerlendirilmesi” adlı bu çalışmada restorasyon çalışmalarında geleneksel yöntemlerin yanı sıra çağdaş malzemelerle yapılan restorasyonlarda yeni malzeme ile geleneksel malzemenin birlikte kullanılmasından kaynaklanan yapısal sorunların ortaya çıkmasından bahsedilmiş ve bu sorunlar göz önüne alınarak yapı SAP2000 bilgisayar programında sonlu elemanlar yöntemiyle modellenerek analizi yapılmıştır. Yapılan bu analizler ile tarihi yapının deprem etkisi altındaki performansı incelenmiştir.

Uğurlu, Günaslan, Karaşin (2017), bu çalışmada Diyarbakır şehir merkezinin Sur ilçesinde yer alan ve 16. Yüzyılda inşa edilmiş olan Şeyh Mutahhar caminin Dört Ayaklı Minaresi incelenmiştir. Sismik direnci zayıf narin bir yapı olan bu yapının, yıllar içinde gelişen birkaç çatlak dışında belirgin bir hasarın söz konusu olmadığı belirtilmiştir. Minarede bulunan ve sebebi henüz belli olmayan yapısal çatlakların nedenini araştırmak için minarenin makro modeli oluşturulmuştur. Dört Ayaklı Minarenin doğrusal olmayan zaman tanım alanı analizleri sonlu eleman programı SAP2000' de gerçekleştirilmiştir. Dört Ayaklı Minarenin analitik modeli oluşturulmuş, dinamik ve statik yükler altındaki

davranışı analiz edilmiştir. Zemin hareketleri ve malzeme özellikleri de hesaba katılmış minarenin analitik modeline üç boyutta etkittirilerek olası durumlar tartışılmıştır.

Usta, Bozdağ, (2021), bu çalışma kapsamında tarihi bir yapı olan Tarihi Başdurak camisinin deprem analizi yapılmıştır. Ele alınan tarihi yapı, mimari ölçülerine uygun bir şekilde SAP2000 sonlu elemanlar yazılımı kullanılarak modellenmesi yapılmıştır. Tarihi yapının sismik değerlendirmesi yapının üç boyutlu olarak zaman tanım alanında dinamik analizleri gerçekleştirilerek yapılmıştır. Yapı üzerine uygulanan deprem yer hareketi X ve Y yönlerinde olmak üzere iki farklı yönde uygulanmıştır. Ele alınan tarihi yapının sismik performansları çeşitli deprem seviyeleri için belirlenmiştir. Analiz sonuçlarından elde edilen deplasman, gerilme ve taban kesme sonuçlarına ait maksimum ve minimum değerler tablo ve grafiksel olarak gösterilmiş ve caminin yapısal performansı hakkında bilgi vermiştir. Analiz sonuçlarına göre caminin yapısal performansı yorumlanmıştır.

Çoban (2018), bu çalışmada Bayburt ili merkezinde bulunan, 1913- 1915 yılları arasında inşa edilmiş olan tarihi Bayburt Yakutiye (yeni) camisi ele alınmıştır. Yapının SAP2000 programında üç boyutlu sonlu eleman modeli hazırlanarak dinamik davranışının belirlenmesi ve bazı gerçek deprem kayıtları uygulayarak taşıyıcı sistem davranışının incelenmesi amaçlanmıştır. Yapının analiz sonuçlarından yapının düşey yükleri güvenli bir şekilde taşıdığı, herhangi bir olumsuz duruma rastlanılmamıştır. Dinamik analizler sonucunda ise genel olarak yapının depreme karşı göstermiş olduğu performansın iyi olduğu fakat kauçuk izolatörler ile güçlendirilmiş modelin daha iyi performans sergilediği açıkça görülmüştür.

Kishalı (2020), bu çalışmada Kocaeli, İzmit Hacıhasan mahallesinde bulunan 18. Yüzyılda inşa edilmiş Yeni Hamam'ın restorasyon projesi kapsamında yapısal davranışı ele alınmıştır. Yapı geçirmiş olduğu koruma ve müdahaleler açısından önemli bir örnek teşkil etmektedir. Yapının uzun süre işlevsiz kalması, 90'lı yıllarda bitişiğine inşa edilen betonarme yapının hamama etkisi ve 1999 yılında deprem geçirmiş olmasından dolayı hasar almıştır. Yapının yeniden kullanılması için 2016 yılında başlayan restorasyon çalışmaları 2018 yılında tamamlanmıştır. Yeni hamam cepheleri için termal kamera görüntüleme testi Schmidt beton test çekici sonuçları ve SAP2000 programı kullanılarak hazırlanan analitik model ile analizler oluşturulmuştur. Yapıda kritik alanların hasar alan bölgelerde olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Doğrusal olarak yapılan analizde, kubbe ve

kemerde yük birikmelerini fazla olduğu görülürken, çekiç ile yapılan ortalama basınç dayanım değerinin altında kaldığı sonucuna varılmıştır.

Kamanlı, Jaihoon, Ünal, (2019), tarihi binaların deprem gibi yıkıcı etkilerden ve insanoğlunun yıpratıcı etkilerine karşı korumak ve gelecek nesillere aktarmanın öneminden söz edilmektedir. Tarihi yapıları korumak için yapısal davranışlarının iyi bilinmesi gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında Konya’ da bulunan Tarihi Sille Ak Camisi ele alınmıştır. Caminin TBDY 2018’ e göre mevcut durumunun statik hesabı yapılmış ve SAP2000 programında yapısal analizi yapılarak performans analizi incelenmiştir. Analizler sonucunda, yapıda en çok zorlanan kısımların kapı ve pencere boşluklarının kenarları, duvarların döşeme ile birleştiği kısımlar ve duvarların birleşim bölgelerinin de olduğu tespit edilmiştir. Duvarlarda basınç ve kayma gerilmesi değerlerinin aşılmadığı, basınç ve kayma yönünden güvenli durumda olduğu sonucuna varılmıştır.

Başgül (2020), Kırşehir Cacabey Medresesi ile ilgili yapılan bu çalışmada yapının tarihçesi, mimari özellikleri, taşıyıcı sistemi, malzeme özellikleri, zemin durumu ve geçirdiği onarımlar hakkında bilgi verilmiştir. SAP2000 programı kullanılarak yapının sonlu elemanlar modeli oluşturulmuş, yapının statik ve dinamik olmak üzere iki ayrı analizi gerçekleştirilmiştir. Analizlerden ilki düşeyde etki eden yükleri, ikincisi ise yatayda etki eden yükleri kapsamaktadır. Analiz değerlerinin yorumlarında, geniş bir alana yayılan plan tipine ve düzensiz kütle dağılımına sahip tarihi yapıların incelenmesinin önemi vurgulanmıştır. Analiz sonuçlarından ele alınan yapının düşey yükler etkisi altında emniyet gerilmesi sınırını aşmadığı, yatay yükler altında ise yapının farklı yapısal özellikler ve yüksekliklerde yapı elemanları içermesinden ve kütle düzensizliğinden kaynaklı olarak emniyet gerilmesi sınır değerine yaklaştığı ancak risk teşkil etmediği sonucuna varılmıştır.

Zabin, Çarhoğlu, Korkmaz, (2013), bu çalışmada Karaman ilinin Ermenek ilçesinde yer alan ve merkezi açık avlulu plan şemasına sahip olan Ermenek Tol Medresesinin deprem davranışı incelenmiştir. SAP2000 programı kullanılarak sonlu elemanlar modeli oluşturulan yapının; çekme gerilmesi, basınç gerilmesi, yer değiştirme ve kayma gerilme değerleri bulunmuştur. Yapı üzerine 7,4 büyüklüğündeki 1999 Kocaeli, 7,1 büyüklüğündeki Düzce ve 6,9 büyüklüğündeki 1992 depremlerinin gerçek verileri esas alınarak dinamik analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçlarından elde edilen değerler

sonucunda; gerilmeler, yer değiştirmeler ve kayma gerilmeleri genel olarak değerlendirildiğinde en yüksek değerlerin Kocaeli depreminde meydana geldiği sonucuna varılmıştır.

zbek, şener, (2021), bu çalışmada 1932 yılında İstanbul ili, Eyüpsultan ilçesinde, Alibeyköy Deresi zerine inşa edilmiş tarihi Fil Köprü's ele alınmıştır. Ele alınan bu tarihi yapı 8 yıl boyunca hizmet vermiş ve 2018 yılında kontrollü bir şekilde yıkılmıştır. Tarihi Fil Köprüsü'nn yapısal ve dinamik özellikleri incelenmiş ve kayıt altına alınmaya çalışılmıştır. Yerinde alınan ölçümler ile köprünün rölevesi çıkarılmış, hasarsız test metotları kullanılarak malzeme özellikleri belirlenmiştir. Elde edilen veriler ile köprü, SAP2000 programında modellenmiş, titreşim periyotları ve mod şekilleri hesaplanmıştır. SAP2000 programında elde edilen bu sonuçlar, yapı üzerinde alınan serbest titreşim ölçümlerinden hesaplanan titreşim periyotları ile de karşılaştırılmıştır.

Dikiciaşık, (2011), bu çalışmada Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığından alınan farklı deprem verilerinin değişik istasyonlardaki karakteristiklerinin değişimleri baz alınarak düzensiz bir yığma yapı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Yığma binaların sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan hesaplarında modelleme aşamasının önemine vurgu yapılmıştır. SAP2000 programı ile analiz yapılmıştır. Elde edilen verilerin bilgisayar ortamına aktarılması ile binanın uzak ve yakın bölge depremleri sonucunda meydana gelecek sismik dalgalar altındaki davranışı, bu dalgaların mesafelere oranla karakteristik değişimleri de dikkate alınarak ortaya konulmuştur.

Çelebi, Aydın, (2021), bu çalışmada Erzurum ili şenkaya ilçesinde bulunan Ynren Köprüsü ele alınmıştır. Yapı zerinde Türkiye' de meydana gelmiş büyük depremler etkisi altında performansının belirlenmesi ve köprünün güçlendirilmesi için mevcut yöntemler kullanılarak çalışma yapılmıştır. SAP2000 programı kullanılarak yapının üç boyutlu modeli oluşturulmuş ve analizi yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre, köprü ayaklarının ileri hasar seviyesinde olduğu grlmştir. Yapıdaki hasarları minimuma indirmek için, yapıda doğrusal olmayan yer değiştirmelerin yoğun olduğu kirişlerin dönme merkezine sismik sönüm cihazı yerleştirilmiştir. Ayrıca, ek güçlendirme olarak kirişlerin deprem sırasında düzlem dışı burkulmasını önlemek için, kirişler yanal stabilite bağlantılarıyla desteklenmiştir. Elde edilen yapının üç farklı durumu, analiz edilmiş ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Yanal stabilite bağlantıları ile oluşturulan yapının

sünek davranış gösterdiği gözlemlenmiştir. Sismik sönüm cihazı yerleştirilen tasarımda da yapının benzer şekilde belirgin hasar düzeyinde kaldığı gözlemlenmiştir. Sonuç olarak yapının meydana gelebilecek deprem esnasında göçmeden ayakta durabilmesi için tasarımı yapılan şekli ile güçlendirilmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

3. YAPININ GENEL ÖZELLİKLERİ

3.1. Yapının Tarihçesi

Türbe, Şerafettin Camii'nin kuzeyinde yer almaktadır. Alt katı kesme taş ile kubbesi tuğla ile yapılan bu yapı kare planlıdır. 1505 yılında yapılan yapının bir Osmanlı eseri olduğu bilinmektedir. Yapının üç penceresi bulunmaktadır ve kapısı batı tarafına doğru açılmaktadır. Yapının kapı girişinde ve içerisinde hiçbir kitabe bulunmamaktadır. Bundan dolayı yapım tarihi ve kim tarafından yapıldığı kesin olarak bilinmemektedir.



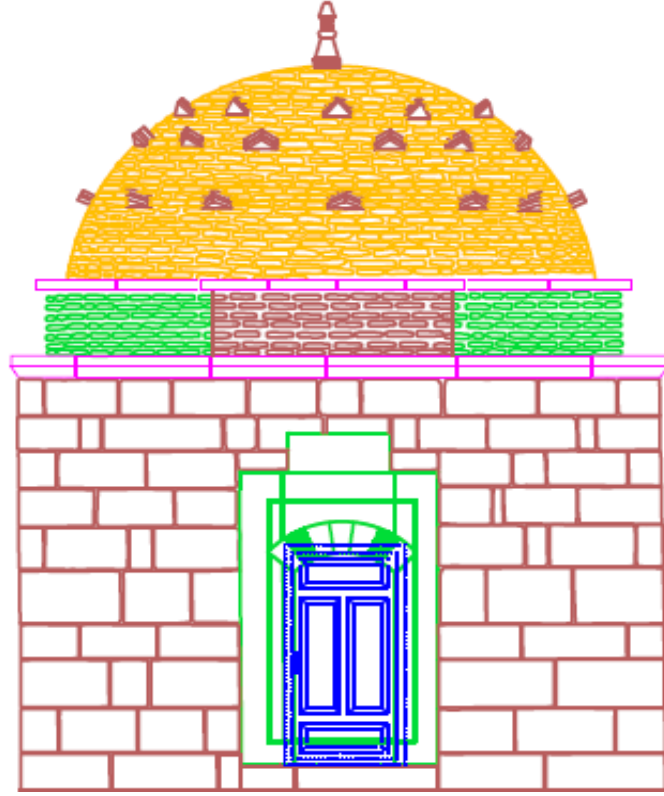
Şekil 3.1. İshak Paşa Türbesi Görünümleri

3.1.1. Yapı proje detayları

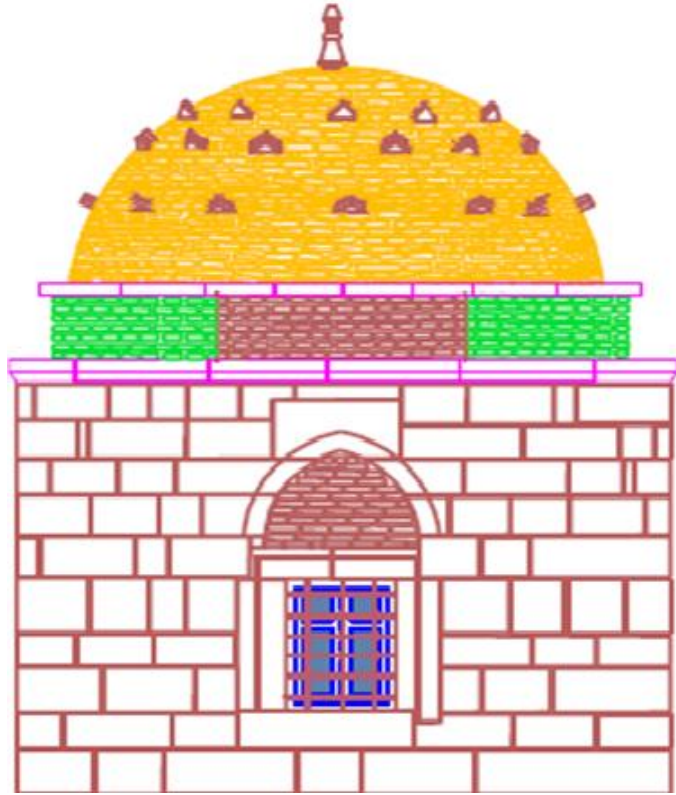
Ülkemiz için Türbeler dini ve kültürel açıdan önem arz etmektedir. Ayrıca Türbeler dinsel ve kültürel izleri yansıtan bir nevi geçmiş ile gelecek arasında köprü olan yığma yapılardır. Toplumların buraları ziyaret etmelerinde ki temel sebep inanç, insan psikolojisi, kültürel ve manevi değerlerdir. Türbe ziyaretlerinde çok sayıda insan maddi ve manevi birçok istekte bulunmaktadır. Bunun sebebi ise orada bulunan veliden dolayı manevi bir hava yaşamalarından kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Kutsal yerler özellikle toplumların manevi özelliklerini yansıtmaktadır. Çalışmada yapısal

dayanımını ve depreme karşı dayanımını belirleyebilmek için Konya' da bulunan İshak Paşa Türbesi incelenmiştir.

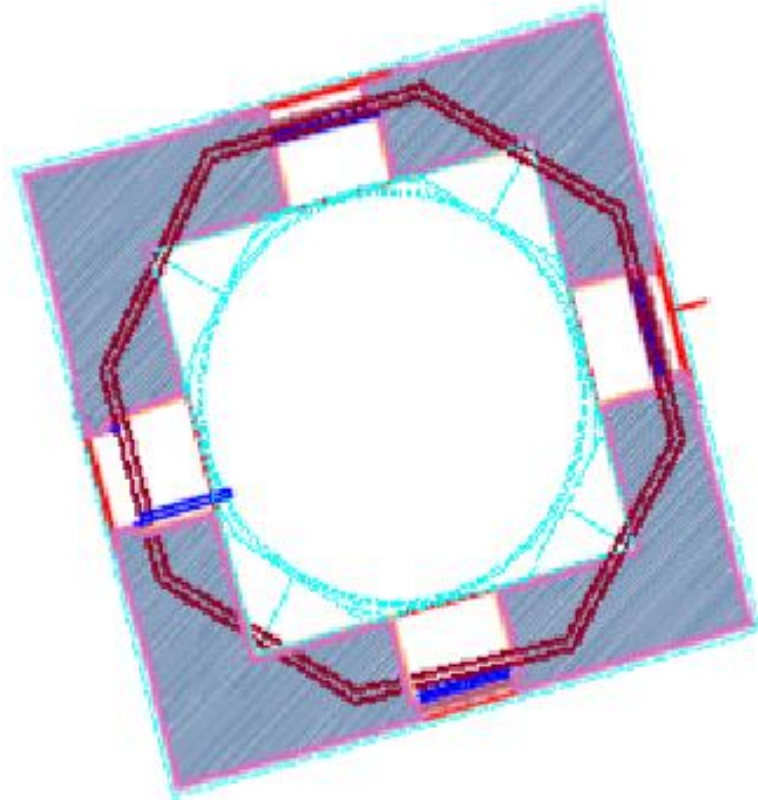
İshak Paşa Türbesi batı cephesinde bir adet kapıya ve diğer üç cephesinde birer adet pencereye sahip bir yapıdır. Yapı kare planlı olup kenar uzunlukları 4,81 metre ile 4,84 metre arasında değişmektedir. Kare bir plana sahip olan yapı kesme taş, ot tuğlası ve bağlama harcı kullanılarak oluşturulmuş bir yığma yapıdır. Yapının taşıyıcı sistemi kesme taş ile inşa edilmiş ve kubbesi ot tuğlası ile oluşturulmuştur. Yapı taşıyıcı sistemi olan ve kesme taştan inşa edilen duvarlar kubbenin mesnetlenmesi ve desteklenmesi doğrultusunda biçimlenmektedir. Küresel bir yapı sistemi olan kubbelerin kare veya dikdörtgen plana göre yapılması her ne kadar zor olsa da yapının biçimlenmesi ve örtülmesi konusunda vazgeçilmez bir yapı unsuru ve yapılar için çıkış noktası olmuşlardır. Yapının taşıyıcı kısmı ile kubbe arasındaki geçiş bölgesi ise ot tuğlası kullanılarak yapılmıştır. Kesme taş gibi kubbelerde basınç altında mukavemet göstermektedirler. Kubbenin dış kısmında kubbe tırnakları bulunmaktadır. Bunun yanı sıra kubbenin en üst kısmında mimari görünüş ve ifadeyi tamamlayan taştan yapılmış bir alem bulunmaktadır. Alemler tarihi yapıların en kıymetli detaylarından bir tanesidir. Alemler sembol olarak kullanılmış ve bir toplumu birlik ve beraberlik içinde tuttuğu düşünülerek alemlere birçok manevi anlam yüklenmiştir. Kapının dış çerçeve kısmında mermer kullanılmıştır. Yapının üst kısımlarında yapıyı çevreleyen taştan süslemeler yapılmıştır. Yapının pencere üstlerinde kemer formunda oluşturulmuş alanda ise ot tuğlası kullanılmıştır. Ot tuğlasının çevresinde ise taştan yapılmış bir kemer bulunmaktadır. Yapıda bulunan pencereler ahşap malzemesi kullanılarak yapılmıştır. Pencerelerin üst kısımlarında ahşap lentolar bulunmaktadır. Pencere dış kısmında demir korkuluklar bulunmaktadır. Kapının üst kısmında yapının isminin yazılı olduğu bir mermer bulunmaktadır. Yapı dışında ve içerisinde yapıya ait yazılı hiçbir bilgi bulunmamaktadır. İshak Paşa Türbesi tek katlı bir yapıdır.



Şekil 3.2. İshak Paşa Türbesi Batı Cephe Görünüşü



Şekil 3.3. İshak Paşa Türbesi Kuzey Cephe Görünümü



Şekil 3.4. İshak Paşa Türbesi Planı

3.2. Bölgenin Depremselliği

Tarihi bir yapının deprem altındaki davranışının belirlenmesi ve modellemede gerekli değerlerin girilebilmesi için yapının bulunduğu bölgenin zemin özelliklerinin bilinmesi gerekir. Daha sonra bu zemin verileri kullanılarak yönetmelik kapsamında tarihi yapılar için tanımlanmış olan tasarım spektrumu göz önüne alınarak yapıya etkiyen deprem yükleri hesaplanır. Deprem tehlikesi beklenmedik doğal bir faktördür. Bu tehlike depremin kendi özelliklerinden kaynaklanan parametrelerin belirli bir bölge için hesaplanan değerlerin tanımlanan bir zaman aralığında önceden belirtilmiş bir değeri aşma olasılığı olarak ifade edilir. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde dört farklı deprem yer hareket düzeyi verilmiştir.

3.2.1. Deprem yer hareketi düzeyi-1 (DD-1)

Spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %2 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 2475 yıl olduğu çok seyrek deprem yer hareketleri olarak

tanımlanır. Bu deprem yer hareketi göz önüne alınan en büyük deprem yer hareketi olarak adlandırılmaktadır.

3.2.2. Deprem yer hareketi düzeyi-2 (DD-2)

Spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %10 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 475 yıl olduğu seyrek deprem hareketini nitelendirmektedir. Bu deprem yer hareketi, standart deprem yer hareketi olarak adlandırılmaktadır.

3.2.3. Deprem yer hareketi düzeyi-3 (DD-3)

Spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %50 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 72 yıl olduğu sık deprem yer hareketlerini nitelemektedir.

3.2.4. Deprem yer hareketi düzeyi-4 (DD-4)

Spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %68 (30 yılda aşılma olasılığı %50) ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 43 yıl olduğu çok sık deprem yer hareketlerini nitelemektedir. Bu deprem yer hareketi, servis deprem yer hareketi olarak da adlandırılmaktadır.

Literatür taraması yapıldığında deprem yer hareket düzeylerine ilişkin çalışmalar aşağıdaki gibi özetlenebilir; Başaran ve Hiçyılmaz (2020) yaptıkları çalışmalarında, farklı deprem yer hareket düzeyleri ve zemin tipleri kullanarak betonarme çerçeve sistemler üzerindeki etkilerini incelemişler ve analiz yapmışlardır. Analiz sonucu elde edilen değerleri karşılaştırmışlardır.

Sucuoğlu (2019) yaptığı çalışmasında, 2019 TBDY deprem yönetmeliğini kapsam bakımından incelemiş ve 2007 deprem yönetmeliğini kapsam bakımından genişlettiğini belirtmiştir. 2019 TBDY yönetmeliği ile uygulamacıların ilerideki gelişmelere daha uyumlu ve hazır olunabileceğini de vurgulamıştır.

Keskin ve Bozdoğan (2018) yaptıkları çalışmalarında, Kırklareli ilinde bulunan ve iki farklı zemin sınıfı üzerinde bulunan yapının deprem analizi hem 2007 DBYBHY

hem de 2018 TB DY göre irdelenmiştir. Analiz sonucunda elde ettikleri veriler ışığında da deprem tehlikesinin daha gerçekçi ortaya konulduğu ve uygulanması ile beraber Kırklareli ilinde bina kalitesinin artacağı sonucuna ulaşmışlardır.



Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması

Kullanıcı Girdileri

Rapor Başlığı:	İshak Paşa Türbesi Depremselliği	
Deprem Yer Hareketi Düzeyi:	DD-3	50 yılda aşılma olasılığı %50 (tekrarlanma periyodu 72 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
Yerel Zemin Sınıfı	ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrışmış, çok çatlaklı zayıf kayalar
Enlem:	37.866667°	
Boylam	32.483333°	

Şekil 3.5. İnteraktif Olarak Konuma Özel Tanımlanan Spektrum Değeri

$$S_S = 0.101$$

$$S_1 = 0.028$$

$$S_{DS} = 0.131$$

$$S_{D1} = 0.042$$

$$PGA = 0.044$$

$$PGV = 2.475$$

S_S : Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

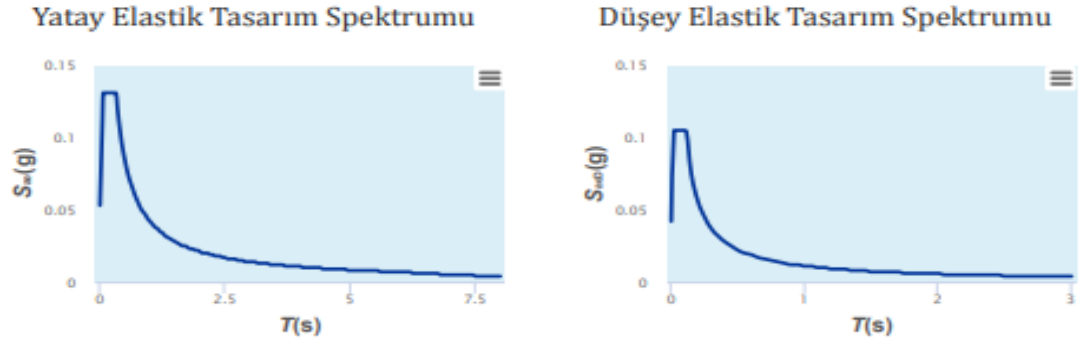
S_1 : 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

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

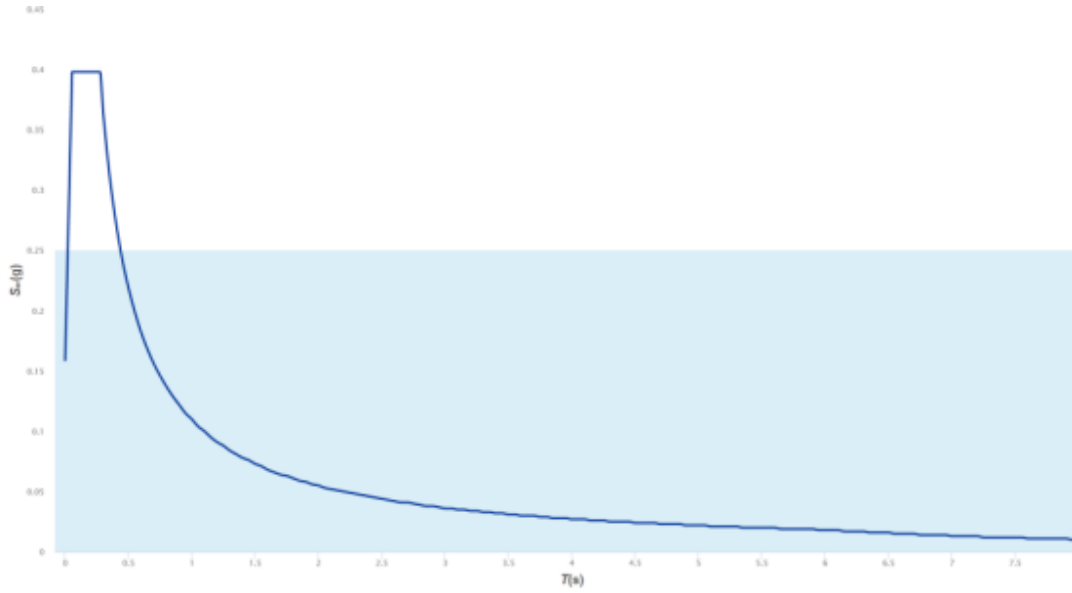
S_{D1} : 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

PGA : En büyük yer ivmesi [g]

PGV : En büyük yer hızı [cm/sn]



Şekil 3.6. Yapıya Ait Sac (g)- T(s) Grafiği



Şekil 3.7. Analizde Kullanılan Spektrum Eğrisi

4. MATERYAL VE YÖNTEM

Tarihi yapıların davranışları belirlemek günümüzdeki yapılara kıyasla daha zordur. Günümüze kadar ulaşmış olan bu yapılar gerek doğal olaylara gerek de mekanik yüklere maruz kalması, malzemenin tabii özelliğinde değişimlere sebep olmaktadır. Bu yapılarda malzeme özelliklerinin belirlenmesi için farklı yöntemler, varsayımlar ve analitik veriler dikkate alınır. Tarihi yapılarda sonlu modellerin oluşturulması ve bu modellere yapılan analizlerin sonucunda alınan değerlerin güvenilir bir yöntem olduğu bilinmektedir. İshak Paşa Türbesi'nin sonlu elemanlar modeli aşağıdaki bilgiler dikkate alınarak oluşturulmuştur.

Yapının modellemesi LUSAS programında yapılmıştır.

Yapının modellemesi SAP2000 programında yapılmıştır.

Kesme taş, tuğla ve harç yapı malzemelerinin doğrusal elastik özelliğe sahip olduğu kabul edilmiştir.

Yapının dinamik analizinde AFAD resmi sitesinden alınan deprem ivme kayıtları kullanılmıştır.

4.1. Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesi

Tarihi yapılar kesme taş, moloz taş, tuğla, harç, kireç harcı, horasan harcı ve sıva gibi malzemeler kullanılarak inşa edilen yapılardır. Taşlar dönemin şartlarınca en kolay bulunan yapı malzemelerinden biridir. Kesme taş basınç dayanımı oldukça yüksek olan bir yapı malzemesidir. Bu malzemedan yapılan yığma yapılar uzun yıllar ayakta kalmaktadır. Bu tür yapılarda meydana gelen hasarların başlıca nedeni kesme taşlar arasında bağlayıcı madde olarak kullanılan harçlardan kaynaklanmaktadır. Bunun başlıca sebeplerinden bir tanesi bağlayıcı maddelerin dayanımlarının kesme taşların dayanımına göre oldukça düşük olmasıdır. Taşıyıcı sistemi oluşturan taş ve tuğlayı dış etkenlerden korumak amacı ile sıva yapılmaktadır. Sıva ısı ve su geçirgenliğini azaltmakta ve malzemenin zarar görmesini önlemektedir. Sıva harcı bulunduğu yüzeyle uyumlu olmalı ve uzun süre malzeme yüzeyinde kalabilmelidir. Koruyucu özellik gösteren sıvanın yenilenmesi veya onarılması bulunduğu yüzeydeki malzemeyi uzun yıllar korumasını sağlar. Periyodik bakım sıva kadar yapıyı oluşturan tüm malzemeler için de kritik önem arz etmektedir. Literatürde; Arun (2005) çalışmasında, yığma kagir yapıların davranışını ele almıştır. Çalışmasında yığma yapıya müdahale etmeden önce malzeme özelliklerinin

bilinmesi gerektiğinin önemini vurgulamıştır. Ayrıca geçmişten bu yana çeşitli sebeplerle yok olan bu yapılara müdahale edilirken geleneksel yöntemlerin kullanılmasının da önemini vurgulamıştır. Bu modelde ise yığma duvarlar için kesme taş, kubbesi için ot tuğlası olmak üzere iki tip malzeme bulunmaktadır. Bu iki farklı tipteki malzemeyi birleştirmek için ise bağlayıcı malzeme kullanılmıştır. Bu üç yapı malzemesi de birbirinden oldukça farklı davranış göstermektedir. Bağlayıcı malzemeler yığma yapılar için oldukça önem arz etmektedir. Yapı elemanlarının birbirlerine bağlanma şekli ve bağlayıcı malzemenin aşınma dayanımı, bağlayıcı malzeme miktarı yapının taşıma gücüne doğrudan etki etmektedir.

Tarihi yapıların malzeme özelliklerini belirlemek oldukça güçtür. Korkmaz vd. (2014) yaptıkları çalışmalarında, Farklı Yapısal Malzeme Özelliklerinin Yığma Yapı Davranışına Etkisini incelemişlerdir. İncelemeler sonucunda kullandıkları dört farklı yapı malzemesine 20 farklı deprem ivme kaydı uygulamışlar ve bu etkiler altındaki davranışını gözlemlemişlerdir ve sonuç olarak bu yıkıcı kuvvetler altında yapının nasıl bir davranış sergileyeceğini belirlemişlerdir. Yüzyıllar boyunca ayakta kalmış bu yapılar gerek doğal şartlar gerekse insanlar tarafından hasara uğramışlardır. Aynı zamanda uzun yıllar ayakta kalan bu yapılarda malzemeler ilk günkü özelliklerin birçoğunu kaybetmiştir. Yığma yapılarda kullanılan malzemeler belirli bir şartnameye göre seçilmediklerinden ve büyük ebatlı yığma yapılarda dışarıdan görünmeyen iç kısımların tam olarak belirlenememesinden dolayı çalışmalarda malzeme özellikleri farklı varsayımlar ve kabuller ile belirlenmektedir. Bu çalışmamızda literatür de bu tür malzemeler için kullanılan genel değerler seçilmiştir.

4.1.1. Kesme taş

Yığma yapılar kullanım sebeplerine ve yapıda kullanılan malzemelere göre farklılıklar göstermektedir. Yığma yapılarda ahşap, tuğla ve taş gibi farklı malzeme seçimlerine göre yapı farklı dayanımlar göstermektedir. Taş insanlığın ilk anlarından beri kullanılmaya başlanmış bir yapı malzemesidir. Doğal taşlar yerbilimlerinin bilgi kaynağı ve jeolojik birer miras olarak kabul görmektedir. Taş insan yaşamında iletişim kurmak, geleceğe mesaj bırakmak ve barınma amacı ile kullanılmış ve kullanılmakta olan insan yaşamı için büyük bir öneme sahip olan yapı malzemesidir. Geçmişten günümüze kadar yapıların döşeme, cephe kaplamaları ve peyzaj düzenlemelerinde birçok çeşit taş

kullanılmıştır. Teknolojinin gelişmesi ile birlikte taşların yüzeyine uygulanan işlemlerde artmış ve her türlü doğal taşın kullanımına olanak tanımlanmıştır. Taşlar yüzeylerine uygulanan işlemler sonucu kumlmalı, honlu ya da cilalı olarak adlandırılmaktadır. Granit, bazalt, traverten ve mermer yapılarda en çok kullanılan kesilmiş ve işlenmiş taşlardır. Bunların yanı sıra parke taşı, küp taş ve bordür taşı kesme taş olarak yapıların çevre düzenlemelerinde kullanılan taşlardır. Ülkemizin zengin doğal taş rezervlerine sahip olduğunun en önemli göstergesi de tarihi yapılardır. Ülkemizin zengin rezervi sayesinde kalıcı tarihi miraslarımızın ortaya çıkmasına olanak vermiştir. Kültürel miraslarımızın en önemli eserleri taştan inşa edilmiştir. Bu yapılara bakıldığında birçok yapı elemanı kesme taş ya da moloz taşlardan yapılmıştır. Kesme taş düzgün işlenmiş bir yüzeye sahip iken moloz taş kesme taşa göre daha düzensiz bir forma sahiptir. Kesme taş ocaktan çıkarıldıktan sonra atölyelerde taş kesme makinaları ile belli ebatlara göre kesilmesi ile elde edilen taşlardır. Moloz taşlar ise ocaktan çıkarıldıkları gibi kullanılan ya da çok az işlem gören doğal taşlardır. Taşlar kullanıldıkları yapıların kültürel ve manevi özelliklerini yansıtmaktadırlar. Yığma yapılarda taşlar genel olarak yapının taşıyıcı sistemini, ara bölme ayrımlarını oluşturmada ve çatıdan gelen yüklerin temele aktarımını sağlamaktadır. Bunun yanı sıra temelleri, istinat duvarları ve çevre duvarları da taşlardan oluşmaktadır. Kesme taş malzeme özelliklerinden dolayı basınç gerilmelerini taşıyabildiği çekme gerilmelerini taşıyamadığı kabul edilmektedir. Kesme taş oldukça ağır bir malzemedir. Bağlayıcı malzemeler kullanılarak üst üste konulması ile bir yapı inşa edilir. Kesme taş ile oluşturulan duvarlar hem mimari açıdan fayda sağlarken hem de yapının taşıyıcı sistemini oluşturmaktadır. Yığma yapılarda taşıyıcı duvar boyutları oldukça büyüktür ve bu duvarlar yapıya etkiyen yükleri temele aktarırlar. Kesme taş hem diğer yapı malzemelerine oranla ağır olması hem de kullanımının zor olması gibi nedenlerle günümüzde kullanım için çok tercih edilmemektedir.

4.1.2. Ot tuğlası

Yapıda kullanılacak malzemenin kullanılabilirlik ölçütü mekanik davranışı, basınç dayanımı, eğilme dayanımı, elastisite modülü, ısıl iletkenliği, porozitesi, fiziksel yapısı, kolay temin edilebilme gibi birçok özelliğe bağlıdır. Kilin pişirilmesi ile elde edilen yapı malzemesine tuğla adı verilir. Bu malzemenin özellikleri üretim şekline, pişirilme sıcaklığına ve karışım oranlarına bağlı olarak farklılık göstermektedir. Ayrıca tuğlalar görünümüne kullanım durumlarına göre de farklılık gösterir. Fırınlanma

durumları da dayanımlarını oldukça etkilemektedir. Tuğlanın içeriğinde bulunan malzemelerin kolay temin edilebilir olması, ucuz olması, diğer yapı malzemelerine göre daha hafif olması ve ısı yalıtımının daha yüksek olması, yangına ve ısıya karşı dirençli olması, içerisinde su tutabilme özelliğine sahip olması, donma çözülme olaylarına karşı dayanıklı olması sebebi ile yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak içerisinde donatı bulunan betona göre gevrek davranış gösterirler.

4.1.3. Harç

Yığma yapılarda elemanları birbirine bağlayan yapı malzemesine harç denir. Harç yapı dayanımında oldukça büyük bir öneme sahiptir. Geçmişte yapılan harçların çoğunluğunda katkı maddesi kullanılmadığı için dayanım olarak pek çok katkı malzemesi ile yapılmış harçlara göre düşük performans göstermektedir. Literatürde harcın dayanımına ilişkin birçok araştırma yapılmıştır. Yapıda elemanları birbirine bağlamak amacı ile kullanılan harcın fiziksel ve mekanik özellikleri, hammadde kompozisyonu, harcın hidrolik, kimyasal ve mineralojik özelliklerinin bilinmesi konusundaki veri çeşitliliği yapıya müdahale esnasında araştırmacılara ışık tutmaktadır. Yapı malzemelerinin sahip oldukları karakteristik özellikleri yapının dayanımı açısından önemli rol oynamaktadır. Geleneksel malzemelerden yapılan tarihi yapılar ayakta kaldığı yıllar boyunca birçok değişime uğramıştır.

4.1.4. Sıva

Sıva harcı; kum, çimento ve suyun belli oranlarda karışımından elde edilmektedir. Sıva harcı yapıda kullanılacağı yere göre farklı özellik kazanmaktadır. Yapılarda kullanılan sıvanın dayanımına etki eden birçok faktör bulunmaktadır. Sıvanın dayanıklılığı: sıvanın karışım oranlarına, uygulama tekniklerine, sıva uygulanacak yüzeyin sıva için uygun olup olmadığına, hava şartları gibi nedenlere bağlıdır. Sıva uygulaması yapılmadan önce belirtilen sebepler dikkate alındığı sürece sıvadan istenilen verim elde edilmiş olur. Sıva uygulaması yapılmadan önce karışım oranları dikkatle hesaplanmalıdır. Uygulanılacak yüzeyin temiz tozdan arındırılmış olması gerekmektedir. Sıva harcı uygulanacak yüzey pürüzsüz ise yüzey pürüzlü hale getirilmelidir. Sıvalar yapıda estetik bir görünüm elde etmesinin yanı sıra, yapının nem miktarı, ısı ve ses yalıtımını

ayarlayıcı etkisi de bulunmaktadır. Tarihi İshak Paşa Türbesi'nin de duvarlarında sıva bulunmaktadır.

4.2. Tarihi Yapılarda kullanılan taşıyıcı sistemler

Yapılarda taşıyıcı sistemler yapının uzun yıllar ayakta kalabilmesini sağlayan en önemli unsurlardan bir tanesidir. Tarihi yapılarda taşıyıcı sistemler kesme taş, doğal taş, tuğla ve ahşap gibi yapı malzemelerinin harçlı veya harçsız üst üste konularak oluşturulmuştur. Bu yapıların taşıyıcı sistemini duvarlar, temeller, döşemeler, kubbeler, kemerler ve tonozlar oluşturmaktadır. Yapıyı oluşturan her bir sistemin yapının ayakta kalması üzerinde farklı etkileri bulunmaktadır. Bir yapının güvenli olmasının yanı sıra estetik olması ve ekonomik bir şekilde inşa edilmesi gerekmektedir. Ancak yapının güvenli bir taşıyıcı sisteme sahip olması vazgeçilmez bir ön şarttır. Yapının dış görünümündeki hatalar veya dış çevre ile uyumlu hale getirilmesi için gerekli çalışmaların hepsi daha sonradan yapılabilir. Ancak doğru bir taşıyıcı sisteme sahip olmayan yapının uzun süre ayakta durması düşünülemez. Taşıyıcı sistem yapının fonksiyonel durumu ile de uyumlu olmak zorundadır. Yapı taşıyıcı sistemlerinin elektrik ve mekanik sistemlerinin yapılabilmesine olanak sağlayacak şekilde olması gerekir. Üzerine etkiyen yükler altında biçim değiştirmeleri küçük kalması gerekmektedir. Taşıyıcı sistemdeki elemanların aldığı yüklere göre boyutlandırılması doğru bir yöntem olmaktadır. Tüm bunların yanında ısı, ses ve neme dayanıklı olmalı, bunlar için izolasyon yapabileceğine olanağını sağlamalıdır. Yapıların taşıyıcı sistemlerini değişik malzemeler ile oluşturmak mümkündür. Her taşıyıcı sistemde kullanılacak malzemeye göre kısıtlanabilir. Yapılarda kat yüksekliği arttıkça, elemanlar arasındaki açıklıklar büyüdükçe tasarımda kısıtlayıcı nitelikler artmış olmaktadır. Malzemenin de sistem üzerinde kısıtlama etkisi bu sebeplerle ortaya çıkmış olur. Bir yapının inşaatına başlanılmadan önce sistem tasarımının doğru bir şekilde yapılması gerekmektedir. Sistem tasarımının doğru şekilde yapılması yapıda oluşabilecek birçok problemin önüne geçilmesine olanak sağlamaktadır. Yapının taşıyıcı sisteminin tasarlanmasında belli seçim ölçütleri bulunmaktadır. Bunlar;

- Yapı için en uygun malzeme seçiminin yapılması (ahşap, çelik, betonarme vb.)
- Malzemenin mekanik özelliklerinin belirlenmesi
- Taşıyıcı sistem için uygun kesitlerin belirlenmesi

- Dış koşullara dayanıklılığının belirlenmesi (deprem, rüzgar, yangın vb.)
- Yapım maliyetinin belirlenmesi
- Dış görünümünün yapı ve çevre için uygunluğunun belirlenmesi
- İşçilik, iş makinesi ve genel giderlerin belirlenmesi

Seçim ölçütlerinden dış koşullara dayanıklılığın belirlenmesi yapının servis ömrünü belirleyen önemli parametrelerden bir tanesidir. Bu noktada yapının taşıyıcı sisteminde kullanılacak malzemenin dikkatle ele alınması gerekmektedir. Ahşap malzeme kullanılarak yapılan yapılarda ahşabın dikkatle korunması gerekir. Ahşap bünyesinde böcek ve kurtçuların barınması ciddi bir hasar durumudur. Ahşap malzemeyi böcek ve kurtçuk gibi organizmaların zararlarından korumak için zehirli kimyasallar kullanılır. Organizmaların verebileceği zararlara karşı korumanın yanı sıra ahşap için gerekli rutin bakımlarının yapılması malzemenin hizmet süresini arttırmada önemli rol oynamaktadır.

Betonarme olarak inşa edilen yapılarda bakım işlemi ahşap ve çelik elemanlara göre daha azdır. Betonun su ve neme dayanımına bakıldığında ahşap ve çelik elemanlarına göre daha iyi olduğu söylenebilir. Ancak betonda donma-çözülme, betonun iç yapısındaki kimyasal reaksiyonların tahribatı (alkali – agrega reaksiyonu) da betonu hasara uğratan nedenler arasında yer almaktadır.

Çelik olarak inşa edilen yapılarda ise korozyon önemli bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Korozyon bir malzemenin çevresel faktörler sonucu bozulması ile gerçekleşir. Korozyon malzemenin bütünlüğünü zayıflatmaktadır. Korozyon başladığında çevre faktörleri ile hızlı bir şekilde ilerleyebilmektedir. Malzemenin bulunduğu ortam koşullarının kontrol altına alınması reaksiyonun gerçekleşmesini önemli ölçüde yavaşlatmaktadır. Çeliğin korozyona karşı korunması amacı ile boyanması gerekmektedir. Buda ekstra bir maliyettir. Korozyon önleme tedbirleri doğru bir şekilde uygulandığında malzemenin ömrü ve dayanıklılığını artmaktadır.

Bunun yanı sıra tarihi yapılar birçok olumsuz faktöre maruz kalmaktadır. Tarihi yapıların rutin bakımının yapılmaması bu yapılarda oluşacak hasarları tetiklemektedir. Hasarlar sonucunda tarihi yapıların bir kısmı ayakta kalmış olsa da bir kısmı ne yazık ki

ayakta kalamamıştır. Ciddi hasarlara sebep olan faktörlerin sürekli ve doğru bir bakımla giderilmesi yapının ayakta kalma süresini uzatmaktadır.

4.2.1. Duvarlar

Duvarlar yapının taşıyıcı sistemini oluşturan düşey elemanlardır. Tarihi yapılarda duvarlar doğal taş, kesme taş, tuğla gibi elemanlardan oluşturulmuştur. Tarihi yapıların uzun yıllar ayakta kalmasında duvar sistemi önem arz etmektedir. Doğal veya beşeri faktörler sonucunda duvarlarda çeşitli hasarlar meydana gelmektedir. Depremlerde duvarlarda kısmı ya da tamamen yıkılma meydana gelebilmektedir. Bunun yanı sıra maruz kaldığı kuvvetlere göre çeşitli çatlaklar veya ayrışmalar olabilmektedir. Tarihi yapılar çekme kuvvetlerine karşı yeterli dayanıma sahip değildir. Dolayısıyla depremin etkisi ile duvarlarda kesme çatlakları veya yatay ötelenmeden dolayı köşe noktalarda ayrışmalar meydana gelebilmektedir. Bunun yanı sıra duvar birleşim bölgelerinde ağır hasarlar meydana gelmektedir. Duvarlarda lento yapılmaması, üst kısımdaki döşemenin yeterli rijitliğe sahip olmaması da duvarın düzlem içi zarar görmesine neden olmaktadır. Bu etkenlerin yanı sıra kapı, pencere hatıllarının tekniğe uygun yapılmaması, duvarlarda hesapsız şekilde açılan kapı ve pencere boşlukları, duvar örüm tekniği, derz kalınlığı, işçilik, kullanılan malzemenin iyi nitelikte olmaması gibi birçok sebep duvar dayanımını etkileyen parametreler arasında yer almaktadır.

İnsanlar barınma, eğitim, sosyal, ulaşım ve sağlık gibi birçok ihtiyacını karşılamak amacı ile geçmişten günümüze kadar yapılar inşa etmişlerdir. Bu yapılara ihtiyaçları doğrultusunda kapı, pencere gibi boşluklar açmışlardır. İhtiyaç dolayısı ile açılan kapı ve pencere boşlukları yapı formunu olumsuz etkilediği durumlar olabilmektedir. Uzun (2017) çalışmasında yığma yapılarda duvarlarda açılan boşlukların duvar çalışma sistemini etkilediğini boşlukların duvarların bir bütün olarak çalışmasına engel teşkil ettiğini vurgulamıştır.

4.2.2. Temeller

Temeller yapı üzerine etkiyen rüzgar, kar, deprem, ölü yük ve hareketli yükleri zemine aktaran yapı elemanlarıdır. Geçmiş zamanlarda yapılan temeller dönemin şartlarından dolayı çeşitlilik bakımından birkaç tanedir. Zaman içerisinde bozulan

temellere farklı zamanlarda güçlendirme ve restorasyon çalışmaları mühendislik ve mimarlık analizleri ışığında yapılmaktadır. Temellerin onarımı dikkatli yapıldığı takdirde yapı ayakta kalmaya devam etmektedir. Temellere müdahale yapılmadan önce titiz çalışmaların yapılması gerekmektedir. Sorunun tespitinden sonra yapılacak her müdahale yapının özgünlüğünü koruması bakımından büyük önem arz etmektedir. Tarihi yapı temelinin taşıma gücünün yeterli olduğu durumlarda çürüyen ve yapıdan ayrılan temel elemanları aslına uygun elemanlar ile değiştirilmelidir. Zeminin taşıma gücü yeterli değil ise zemin iyileştirilmesi yapılmalıdır. Zemin iyileştirme yöntemleri ile zeminin taşıma gücü yükseltilmektedir. Zemin iyileştirme yöntemleri teknolojinin gelişmesi ile birlikte ilerleme kaydetmektedir. Araştırmalar esnasında yapı davranışının yanı sıra temel davranışı da incelenmektedir. Temel davranışına yapılacak müdahalelerde zemin için etüt gerekliliğinin önemini göstermektedir. Temeller için zemin taşıma gücünün yetersiz olmasının dışında temel içerisine sızan sular da yapı için büyük tehlike arz etmektedir. Yapılara zarar veren en önemli faktörlerden biride sudur. Yapılar yağmur, kar, yeraltı suyunun etkisi, yapının ıslak zeminlerinden kaynaklı suların etkisi gibi sulara maruz kalmaktadır. Suyun olumsuz etkisi yapının temellerinde ciddi olumsuzluklar oluşturmaktadır. Yapı temeli mümkün olduğunca sudan muhafaza edilmelidir. Zemin içerisine sızan su zeminin taşıma gücünü kaybetmesine yol açmaktadır. Bunun yanı sıra deprem etkisi ile birlikte zeminde sıvılaşmaya neden olmaktadır. Zeminde belirtilen bu olumsuzluklara karşı zemin çevrelerine galerilerin yapılması, zeminin kazıklı sistemler ile desteklenmesi, temel boyutlarının değiştirilmesi, zemin iyileştirme yöntemlerinin uygulanması ile zeminin hasar görmesinin önüne geçilmiş olacaktır.

4.2.3. Döşemeler

Yapıyı katlara ayıran yatay taşıyıcı elemanlardır. Döşemeler yapı türüne, kullanım alanlarına, işlevlerine, malzeme çeşitlerine, uygulama yöntemlerine, yük aktarma durumlarına göre farklılık gösteren, üzerine etki eden yükleri mesnetlere aktaran yapı elemanlarıdır. Döşemelerde diğer yapı elemanları gibi uygulandıkları yapılara ve üzerine etkileyen yüklere göre farklılık göstermektedir. Teknolojik gelişmelere bağlı olarak döşeme çeşitleri de geliştirilmiş ve birçok farklı döşeme tipi ortaya çıkmıştır. Yapıda kullanım çeşitliklerini getirmesinin yanı sıra çok büyük açıklıklarında geçilmesi sağlanmıştır. Döşemelerin uygulama esnasında ve kullanılacak malzeme seçiminin doğru yapılmaması da birçok sakıncalı durumu ortaya çıkarmaktadır. Döşemede boşlukların bulunması

deprem esnasında yapıda olumsuz sonuçlar ortaya çıkarmaktadır. Seçilen malzeme kalitesi de yapıda ses iletimi, su yalıtımı, dayanıklılık ve yangın gibi olumsuz durumların oluşmaması açısından önem arz etmektedir. Yapının ıslak hacimlerinde kullanılan döşemelerin su yalıtımının yapılması yapının iç suya maruz kalmasını önlemektedir. Malzeme seçimi ve uygulama aşamasındaki titizlikler döşemelerin yapısal anlamda zarar görmemesini sağlamaktadır.

4.2.4. Kubbeler

Kubbe genellikle geniş açıklıkların üzerini örtmek için yapılan yarımküre biçiminde olan yapı örtüsüdür. Mimari kültürde önemli bir yeri olan kubbeler dışbükey formlarından dolayı yapı için değişik bir etkiye sahiptir. Kubbeler çok eski zamanlardan beri kullanılmakta olup teknik özellikleri bakımından yapıya iyi bir çözüm olanağı sunmaktadır. Estetik forma sahip olan kubbeler mimari bütünlük içinde önemli bir yere sahiptir. Kubbeler yapılarda tek olarak kullanıldıkları gibi yapının genişlemesine bağlı olarak pandantif, kemer ve yarım kubbeler ile beraber kullanılmıştır. Kare planlı yapıda uygulanması oldukça güç olan kubbelerde tromp veya pandantifler kullanılarak bu yapılarda uygulanması mümkün hale gelmiştir. Pandantif, kubbenin altında yer alan kemerler ile kubbe kaidesinin arasını kapatan üçgen elemanlardır. Kare planlı bir yapıdan kubbenin dairesel kaidesine geçişi pandantifler ile sağlanmaktadır. Tromp, kare planlı yapıdan kubbe yuvarlağına geçişi sağlayan, yapının üzerini sekiz kenarlı bir şekil haline getirerek kubbenin oturmasına elverişli hale getiren geçiş elemanıdır. Tromp yapısı itibari ile pandantife benzemektedir. Ancak tromplar yapıda içe doğru daha girintili oldukları için nişe benzer bir görünüme sahiptir. Kubbeler küresel yapıları sayesinde yapıların iç kısımlarında hava ve enerjiyi sirküle edebilmesinin yanında yapıya zarif bir görüntüde vermektedir. Tarihi yapılarda yığma taşıyıcı sisteme sahip mekanın üzerini örten kubbelerin stabilitesini sağlayan elemanlar duvarlardır. Duvarlar yapı sisteminin vazgeçilmez elemanlarıdır. Duvarlar mekanı çevrelemesinin yanı sıra yatay ve düşey yüklerin karşılanmasında önemli rol oynamaktadırlar. Depremler tarihi yapının yapısal sistemini bozan en önemli unsurlar arasında yer alır. Taş ve tuğladan yapılmış olan tarihi yapılar ağır bir kütleyle sahiptir. Deprem ağır kütleyle sahip olan bu yapılar için büyük tehlike arz etmektedir. Bu yapılar boyut ve biçimlerinden dolayı ağırdırlar. Ağır oldukları için bu yapılara gelen deprem kuvvetleri de büyük olacağından hasar almaya daha yatkındırlar. Yapının taşıyıcı elemanlarının deprem yüklerine karşı yük taşıma

kapasiteleri hesaplanmalıdır. Ancak bu yapılarda kullanılan malzemelerin mekanik özelliklerinden dolayı yapının gerçek dayanımını belirlemek oldukça güçtür.

4.2.5. Kemerler

Kemerler, iki sütun arasındaki açıklığı geçmek yapılan eğrisel biçimli yapı elemanlarıdır. Kemerin merkezinde bulunan taş kilit taşı, kemerin başlangıç taşına ise üzengi taşı denilmektedir. Kemerler üzerine etkiyen yükleri güvenli bir şekilde mesnet noktalarına aktarmalarından dolayı önemli işlevi olan taşıyıcı elemanlardır. Kemerler tarih boyunca cami, kilise, köprü gibi birçok yapıda kullanılmıştır. Günümüzde ise ticari, sosyal, endüstriyel birçok binada kemer kullanılmaktadır. Kemerler ilk olarak taş, tuğla gibi yığma elemanlar kullanılarak yapılırken, daha sonraları çelik veya betonarme ile inşa edilmeye başlanılmıştır.



Şekil 4.1. Aya Elenia Kilisesi

Yaşamsal boyu insanoğlu yaşam şartları ile ilgili hep bir arayış içinde olmuştur. Bu arayış içerisinde yetersiz gelen her konuda gelişmeye çalışmıştır. İlk barınma biçimi ile günümüzdeki barınma biçimleri bu arayışın sonuçlarını göstermektedir. İlk evler

göçebe yaşam tarzına uygun olarak derme çatma usulü ile yapılırken günümüz şartlarında ekonomik ömrü uzun daha bilinçli olarak inşa edilmektedir. Yine ilk yaşam alanları olan mağaraların yetersiz gelmesi ile birlikte yaşam alanlarını geliştirmişlerdir. İlk çatılar düz yapılırken daha sonra bu çatıların yetersiz gelmesi ile birlikte daha fonksiyonlu çatılar geliştirmişlerdir. İlk yapılar derme çatma usul ile yapılırken zamanla bu yapıların üzerini kaplama ihtiyacı doğmuştur. Zamanla üzerini kapladıkları yapıların daha sağlam daha büyüklerini inşa etmişlerdir. Büyük yapıların üzerini örtme ihtiyacı da kubbe sistemini doğurmuş olmalıdır. Kubbede zaman içerisinde gelişmiş bir yapı elemanıdır. Kubbeler yapıda ilk dönemlerde duvarlar üzerine inşa edilirken zamanla pandantif ve tromplar ile birlikte inşa edilmiştir. Zaman ilerledikçe, imkanlar gelişmiştir. İnsanoğlu çevresindeki malzemeleri tanımaya ve işlemeye başladıkça yeni yapım teknikleri bulmuşlardır. Buldukları bu malzemeler ile de kendilerine yeterli gelen sağlam ve rahat yapılar inşa etmişlerdir. İnsanlığın gelişmesinin ürünü olan yapılarda basitten karmaşığa doğru gelişim göstermiştir. Bu gelişimde mimarlık ve mühendislik hizmetini, yapıda kullanılan malzeme çeşitliliğini geliştirmiştir. Herhangi bir mühendislik ve mimarlık hizmeti almadan yapılan tarihi yapılar yüzyıllar boyunca ayakta kalarak günümüze ulaşmıştır. Tarihi yapıları korumak doğru ve gerekli olan onarımlarını yapmak, rutin bakımlarını yapmak ve gelecek nesillere aktarmak bizlerin sorumluluğundadır.

4.3. Yığma Yapı Dayanım Ölçütleri

Yapı elemanları açısından en önemli kriter malzemenin rijitliği ve dayanımıdır. Rijitlik malzemenin yer değiştirme kuvvetlerine karşı fiziki direncini ifade eder. Dayanım ise malzemenin kırılma olmadan taşıyabileceği en büyük gerilme değerini ifade eder. Bu iki kriter de yapı üzerine etki eden yüklemenin şekline göre değişiklik gösterir. Bunlar sonucunda oluşan değişiklikler ise malzemenin karakteristik özellikleri ve davranışı hakkında bilgi verir. Yığma yapı malzemeleri basınca karşı dirençli iken çekmeye karşı oldukça az dayanım göstermektedir. Yığma yapılarda kullanılan kesme taş, tuğla, ahşap yapı malzemeleri dayanımı yüksek malzemeler iken malzemeler arasında bulunan ve bağlayıcı özelliği olan harç zayıf dayanım göstermektedir. Malzeme özelliklerine ait veri çeşitliliğinin fazla olması analizlerin daha ayrıntılı yapılmasına olanak sağlamaktadır. Ayrıca yapıda bulunan düşey ve yatay taşıyıcı elemanlarda dayanım üzerinde oldukça büyük bir öneme sahiptir. Tarihi yapılarda en önemli hasar nedeni depremlerdir. Depreme maruz kalan yapılarda çekme gerilmelerinden kaynaklı parça kopması, dağılma ve çatlak

oluşumu şeklinde hasarlar meydana gelmektedir. Birçok tarihi yapının taşıyıcı sistemi ağır malzemeler kullanılarak yapılmıştır. Taşıyıcı sistemin çekme dayanımı, taşıyıcı sistemi birbirine bağlayan harcın ise kayma dayanımı düşüktür. Tarihi yapılar ağır ve rijit oldukları için çok büyük deprem kuvvetlerinin etkisi altında ani göçmelere maruz kalabilmektedirler. Tarihi yapılar sismik etkiler altında yetersiz davranış gösterebilmektedir. Bu yapılarda basit onarım türleri yerine taşıyıcı sistemi güçlendirmeye yönelik çalışmalar yapılması doğru sonuçlar vermektedir. Yetersiz onarım yöntemlerinin uygulandığı yapılarda çalışmalar sonrasında yapıda tekrar hasarların meydana gelmesi kaçınılmaz bir durumdur. Doğru teşhis ve doğru güçlendirmenin önemi tarihi yapıların ayakta kalabilmesi için kritik önem arz etmektedir. Tarihi yapıların ayakta kalabilmesi için birçok faktörün önemli olmasının yanında basınç, çekme, eğilme dayanımlarının da önemi büyüktür. Güçlendirme aşamasına geçilmeden önce yapıda kullanılan malzemelerin dayanımlarının belirlenmesi gerekmektedir. Ancak birçok tarihi yapı üzerinden numune alınmasına elverişli olmadığından bu değerler kesin olarak belirlenmemektedir. Bu aşamada literatür taraması yapılmakta ve genel değerler baz alınarak çalışmalar yapılmaktadır.

4.3.1. Basınç dayanımı

Yapı malzemesinin dayanabileceği en yüksek basınç kuvveti basınç dayanımı olarak tanımlanır. Tarihi yapılar basınç dayanımı oldukça yüksek yapılardır. Yığma yapıların basınç dayanımları; yapıda kullanılan elemanların geometrik yapısına, bağlayıcı malzemenin cinsine, miktarına, harç kalınlığına, nem miktarına ve dayanımına bağlıdır. Yığma yapı elemanlarında basınç dayanım kriteri yapıya etki eden en büyük basınç kuvvetinin net kesit alanına bölünmesi ile belirlenir. Kesme taş ile yapılmış olan bu yapı tarzlarında basınç dayanımı oldukça yüksektir ve yapı öz ağırlığı oldukça fazladır. Ağırlığı fazla olan bu yapılar ani göçmelere karşı ciddi risk taşımaktadırlar. Tarihi yapıların deprem etkisindeki dayanımları, düşey ve yatay yük taşıma düzenleri, taşıyıcı elemanlarında oluşan gerilmelerin hesabı yeterince bilinmemektedir. Tarihi yapılarda kullanılan malzemelerde donatı olmadığında dolayı çekme dayanımına karşı düşük mukavemet gösterirken, basınç dayanımına karşı oldukça mukavemet göstermektedirler. Yığma yapıların çekme dayanımı altındaki bu zayıf davranışı karşılamak için eğilme etkisi altında çalışacak elemanlarını tonoz, kubbe ve kemer şeklinde tasarlanmaktadır. Bunun sonucunda çekme gerilmeleri altında oluşabilecek kalıcı hasarlar önlenmektedir.

Cami, türbe, hamam gibi tarihi yapılarda yapı üstünü örten kubbeler yapının ağırlık merkezini oluşturmaktadır. Kubbeler kendi ağırlığının yanı sıra yapı üzerine etkileyen kar, deprem, rüzgar gibi yükleri yüzeyleri üzerinde taşıyan yapı elemanıdır. Kubbeler üzerine etkileyen yükleri ağırlık merkezinden mesnet bölgelerine doğru iletmektedirler. Kubbelerin yapıya bağlandığı noktalar yapı için kritik önem arz etmektedir. Yapıya bağlanma ve yapı üzerini örtme durumlarına göre ana kubbe, yarım kubbe, altıgen, sekizgen ve kare kubbe gibi birçok farklı kubbe türü bulunmaktadır.

4.3.2. Çekme dayanımı

Malzemelerin çekmeye karşı gösterdiği maksimum direnç olarak tanımlanır. Yığma yapı malzemelerinde bu durum oldukça önemlidir. Yığma yapılar çekme dirençleri düşük yapılardır. Tarihi yapılarda çekme dayanımı en çok eğilmeye karşı gösterilen direnç sonrasında ortaya çıkmaktadır. Bu direnci ise harcın yoğunluğuna ve yapının yüzey dokusuna doğrudan bağlıdır. Yapı çekmeye karşı gösterdiği belli bir dirençten sonra limit değer aşırsa kalıcı deformasyonlar oluşmaya başlar. Bu deformasyonlar da yapı üzerinde olumsuz etkiler oluşturmaktadır. Yapının uzun süre neme ya da ısıya maruz kalması yapıda uzama ya da kılma durumlarına sebep olur ve bunun sonucunda yapıda çekme gerilmeleri oluşur. Yığma yapıda çekme gerilmeleri genel olarak eğilmeye yatkın elemanlarda görülmektedir. Ayrıca harç faktörü ile yapının sahip olduğu formda çekme gerilmelerinde etkili olan faktörlerden bazılarıdır.

4.3.3. Elastisite modülü

Mühendislik açısından malzemenin mekanik özelliklerinden biri olan elastisite modülü çok büyük bir öneme sahiptir. Elastisite modülü malzemeye uygulanan gerilme altında malzemede meydana gelen şekil değişiminin, gerilmeyi oluşturan bu yükün kaldırıldıktan sonra malzemenin ilk şekline dönmesini ifade eden bir değerdir. Elastik limit değeri aşıldığında ise malzeme ilk haline geri dönmez. Bu durum kısaca gerilme-birim deformasyon arasındaki ilişkidir. Yapıda kullanılan malzemelerin her birinin elastisite modülü oldukça önemlidir. Malzemelerin elastisite modülünün bilinmesi deformasyonlarının hesaplanmasına katkı sağlar. Elastisite modülü düşük olan malzemelerin yer değiştirmesi oldukça büyük iken elastisite modülü büyük olan malzemelerin yer değiştirmesi oldukça düşüktür. Çok uzun bir süre boyunca

elastisite modülü araştırılmış ve birçok metotla belirlenmeye çalışılmıştır. Elastisite modülünü belirlemeye yönelik günümüz şartlarında beton üzerinde yapılan birçok çalışma bulunmaktadır.

4.3.4. Kayma dayanımı

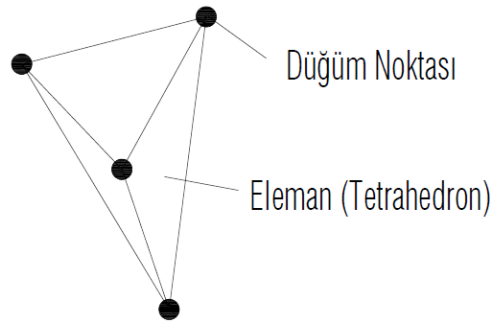
Yapılarda kullanılan malzemelerin dayanıklı olması yapının uzun yıllar ayakta kalmasını sağlar. Yığma yapı elemanlarında basınç ve çekme dayanımlarının yanı sıra kayma dayanımı da oldukça önem arz etmektedir. Kayma dayanımı blok halinde değerlendirilen yığma yapılarda bağlayıcı malzeme ve taşıyıcı malzeme arasında ki uyuma bağlıdır. İki malzemenin de karakteristik özellikleri bu dayanımı fazlası ile etkilemektedir.

4.4. Sonlu Elemanlar Modeli

Türbeler Türk-İslam coğrafyalarında çok yaygın olan yığma yapı tarzlarından bir tanesidir. Taşın sanata dönüştüğü bu yapıların basit, dört köşeli, çeşitli motifler işlenmiş ya da mimari süslemeler yapılmış çeşitlerinin olması çok geniş bir mimari yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Genellikle devlet adamları veya Alimler için yapılmış olan ve içinde o zatın mezarının bulunduğu yığma yapılardır. İnşa edildiği dönemin özelliklerini günümüze yansıtan bu yapılar oldukça dayanıklı yapılar olarak kabul edilmektedir. Yığma yapıların analizlerinde genellikle sonlu elemanlar yöntemi kullanılır. Yapının modellenmesinin amacı yapının çeşitli yükler altında gerçek davranışını ve dayanımını tespit etmektir. Yığma yapıların mimari özelliklerinin karmaşık olmasından dolayı gerçek davranışını tespit etmek oldukça karmaşıktır. Bundan dolayı yapıyı modellemek için birçok sadeleştirmenin ve kabullerin yapılması gerekir. Sonlu elemanlar yöntemi yığma yapılar gibi karmaşık özelliklere sahip birçok yapının çözülmesine olanak sağlayan bir yöntemdir. Sonlu elemanlar yöntemi yapı mühendisliğinde, zemin mühendisliğinde, hidrolikte, nükleer enerji gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Bu yöntem çeşitli mühendislik problemlerine kabul edilebilir varsayımlar ile çözüm arayan çok güçlü bir sayısal hesaplama yöntemidir. Farklı taşıyıcı formlarının aynı yapıda kullanıldığı ve mimari detaylarının oldukça karmaşık olduğu bu yapıların çözümü teknolojinin gelişmesi ile daha kolay çözümlenebilir bir hal almaktadır. Yığma yapıların yapısal analizlerinde genel olarak sonlu elemanlar yöntemi kullanılmaktadır. Sonlu elemanlar yöntemi ile

yapılan analizlerde, analiz yapının tamamı ya da belirli elemanlarının matematiksel modelinin hazırlanması ile başlar. Yapı, uygun sayıda sonlu elemanlara ayrıştırılır. Yapıyı oluşturan elemanlar, yapıya etki eden yükler, strüktür elemanların geometrik boyutları, yapı elemanlarının birleşim noktalarındaki durumları model içerisinde tanımlanır. Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılan analizler sonucunda, yapı üzerine etki eden yükler altındaki deplasmanlarını, kesme kuvveti ve eğilme momenti gibi değerler hesaplanabilir. Toker ve Ünay (2004) çalışmalarında taş ve tuğla kullanılarak yapılan yığma yapılar için en iyi hesap yönteminin sonlu elemanlar yöntemi olduğunu belirtmişlerdir. İshak Paşa Türbesinin deprem analizi yığma yapılar için oldukça uygun bir metot olan sonlu elemanlar yöntemi ile yapılmıştır. Sonlu elemanlar yöntemi ile yapı elemanları sonlu sayıda düğüm noktası ile belirlenmektedir. Bu düğüm noktasında oluşan hareketlerden yola çıkılarak modellenen yapının gerçek davranışı hakkında bilgiler edinilir.

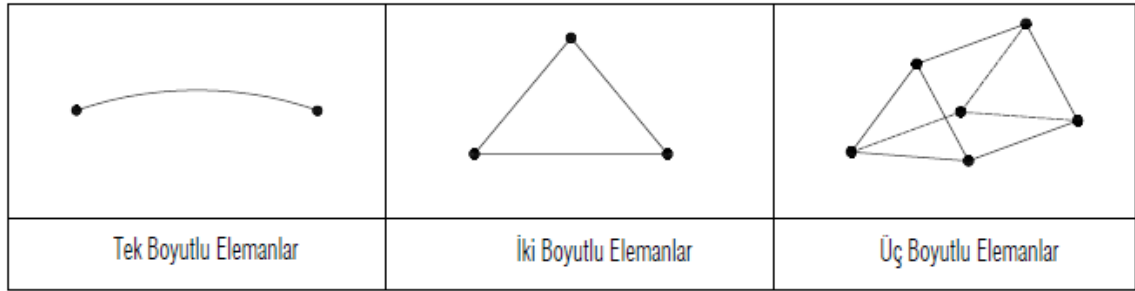
Sonlu elemanlar yöntemi yapıdaki fiziksel problemlerin matematiksel bir ifade olarak tanımlanarak çözümlendirilmesidir. Sonlu elemanlar yönteminin kullanılmasının amacı gerekli optimizasyonlar yapılarak daha verimli sonuçlar ortaya çıkarmaktır. Bu yöntem belirli sınır koşulları altında yapının nasıl davrandığını tahmin etmek amacı ile kullanılmaktadır. Yapı için doğru modelleme yapıldıktan sonra model için uygun olan mesh boyutu belirlenir. Mesh; modeli belirlenmiş yapıyı küçük alanlara bölme işlemidir. Mesh elemanları kuvveti ileten çizgiler ve düğüm noktalarından oluşmaktadır.



Şekil 4.2. Sonlu Elemanlar Metodunda Kullanılan Elemanlar

Mesh kalitesi analiz sonuçları için büyük bir öneme sahiptir. Meshi oluşturan ve kuvvet ileten çizgiler birbirine ne kadar eşit ise mesh kalitesi o kadar iyidir denilebilir. Sonlu elemanlar analizi yapılacak olan bir yapı modeli mesh yapılarak basite indirgenmiş olur. Modellemesi yapılan yapı, parça veya montaj için uygun meshleme yöntemi

belirlenmelidir. Çelik konstrüksiyondan yapılan kafes bir yapının sonlu elemanlar modelini oluşturmak için tek boyutlu elemanlar kullanılmaktadır. Bu şekilde yapı basitleştirilmiş ve analiz süresi kısalmış olacaktır. Kabuk elaman dediğimiz yüzeysel formlarda iki boyutlu elemanlar kullanılmaktadır. Hacimsel modeller olarak bilinen katı modellerde üç boyutlu elemanlar kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin ortak noktası işletme koşullarındaki yapının, parçanın veya montajın bilgisayar ortamında en iyi şekilde ifade edilmesidir. Veriler doğru bir şekilde bilgisayar ortamına girilirse ve uygun meshleme yapılır ise analiz sonuçları da yüksek tutarlılıkta olacaktır.



Şekil 4.3. Sonlu Elemanlar Metodunda Kullanılan Elemanlar

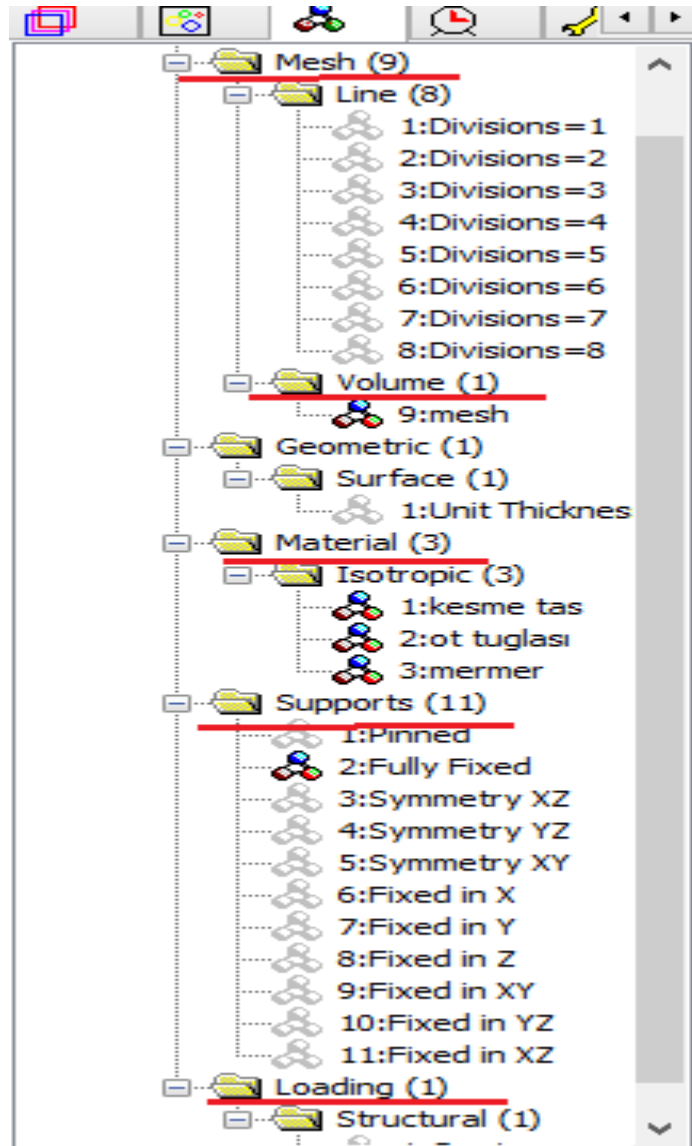
Sonlu elemanlar yöntemi için diğer önemli bir kriter ise sınır koşullarının doğru olarak tanımlanmasıdır. Mesnet noktaları ve uygulanan yükler sınır koşullarından bazılarıdır. Analizi yapılacak yapı modelinde bilinmeyen en aza indirmek çözümleme süresini kısaltmaktadır. Kısacası sonlu elemanlar yöntemi; farklı yüklemelere veya sınır şartlarına maruz kalan bir yapının çözümlenmesinde kullanılan pratik bir yöntemdir. Analiz sonuçları belirli yükler altında veya belirli sınır şartlarında yapının istenilen performansı sağlayıp sağlamayacağını göstermektedir. Sonlu elemanlar yöntemi ile gerilme, deformasyon, dinamik, termal analiz gibi birçok analiz yapılmaktadır. Sonlu elemanlar yöntemi kullanılırken;

- Dikkatli bir modelleme yapılmalı
- Yüklemeler ve sınır şartları doğru bir yaklaşım ile oluşturulmalı
- Optimizasyonu doğru bir şekilde yapılmalı
- Analiz sonuçlarının değerlendirilmesi doğru bir yaklaşımla ele alınmalı
- Uygun olan mesh boyutu ve sınır koşullarının belirlenmesi esnasında iyi bir planlama yapılması

Bu yöntem kullanılırken dikkat edilecek hususlardan birkaçıdır.

4.4.1. Lusas program özellikleri

Teknolojinin gelişmesi her alanda olduğu gibi mühendislik alanında da birçok kolaylık sağlamış ve gelişme göstermiştir. Yığma yapılar gibi karmaşık yapıya sahip yapıların çözülmesi ve modellenmesini kolaylaştırmıştır. Bu karmaşık yapıları modelleyen ve analizini yapan programlardan biride LUSAS adlı programdır. Lusas; sonlu elemanlar metodunu kullanarak yapıların analizini yapan bir programdır. Lusas programı her türlü doğrusal ve doğrusal olmayan gerilme ve dinamik analiz problemlerini çözer. Lusas programı ile köprüler, camiler, binalar ve türbeler modellenebilir ve analiz edilebilir.

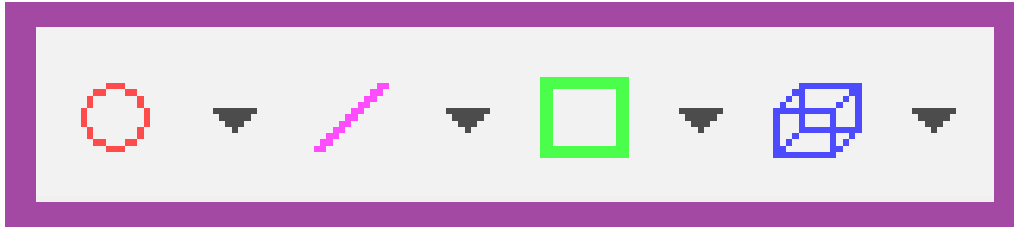


Şekil 4.4. Lusas Yapı Ağacı

LUSAS programının sol köşesinde bulunan yapı ağacını sırası ile açıklanacak olur isek;

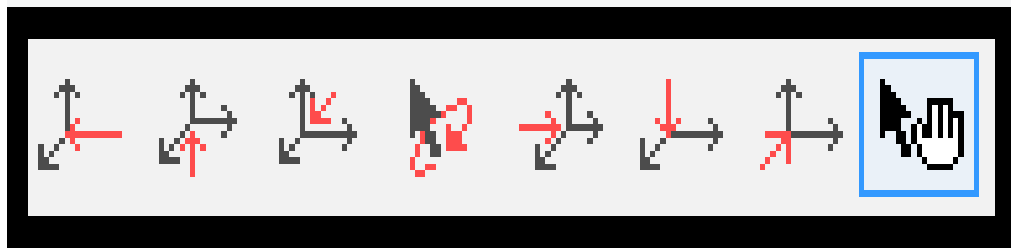
MESH'leme kısmına tıklanır ve yapı için uygun mesh değeri tanımlanır. Katı modelleme yapılmış ise VOLUME olarak meshlenmesi daha uygundur.

- MATERIAL kısmından yapı için gerekli malzeme özellikleri tanımlanır.
- SUPPORTS kısmından yapının mesnet özellikleri tanımlanır.
- LOADING kısmından yapıya etkiyen yük değerleri tanımlanır.
- YEŞİL EŞİTTİR simgesinden yapının analizi yapılmaktadır.



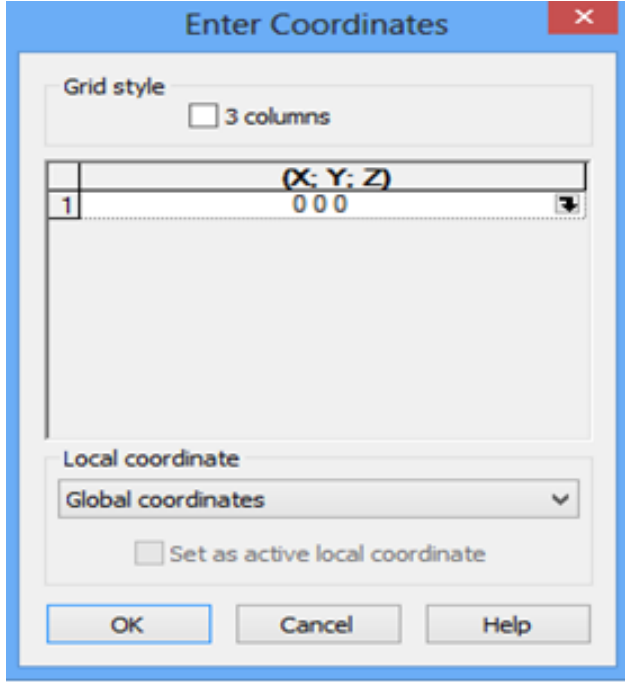
Şekil 4.5. Lusas Programı Ana komutları

Mor dikdörtgen seçiminin içinde kalan işaretlerden ilki POINT seçeneğidir ve noktaya çizmeye yarar. İkinci simge ise LINE' dır ve çizgi çizmeye yarar. Üçüncü seçenek ise SURFACE 'dir. Ve çizilen düzlem elemanı yüzey oluşturmaya yarar. Bu seçim tıklandıktan sonra seçilen alan yeşil rengi alır ise yüzey oluşumu başarılı demektir. Dördüncü seçenek ise VOLUME' dür ve hacim oluşturmaya yarar.



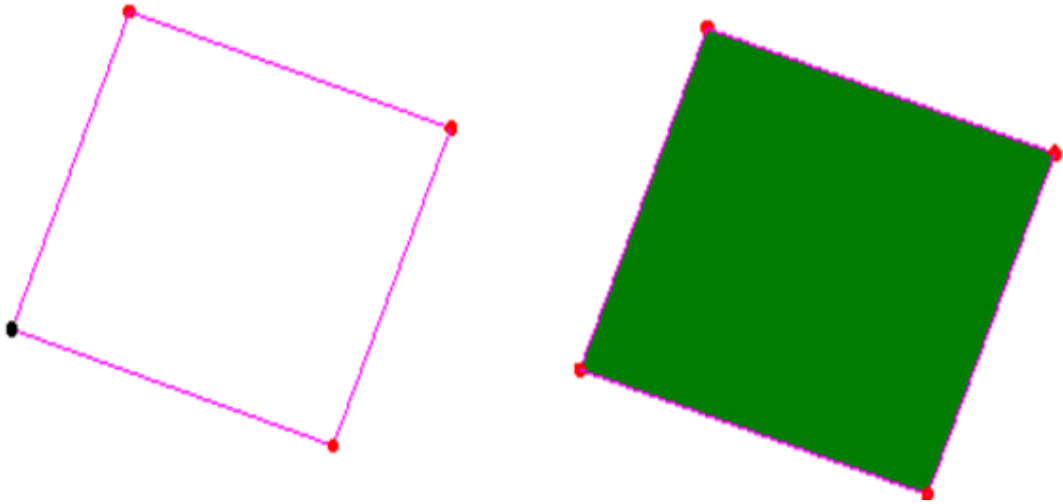
Şekil 4.6. Lusas Kordinat Görünümleri

Yukarıdaki simgeler ise yapıya hangi açıdan bakılacağını sağlayan simgelerdir. Bir yapının LUSAS' ta modellenme aşamaları ise şöyledir. İlk olarak programda New Point kısmından koordinat noktasına bir nokta tanımlanır. Daha sonra bu noktayı seçip mouse sağ tıklayıp Sweep seçeneği tıklanır ve verilen uzaklık değeri girilir. Bu işlem sonucunda çubuk eleman oluşturulmuş olur.

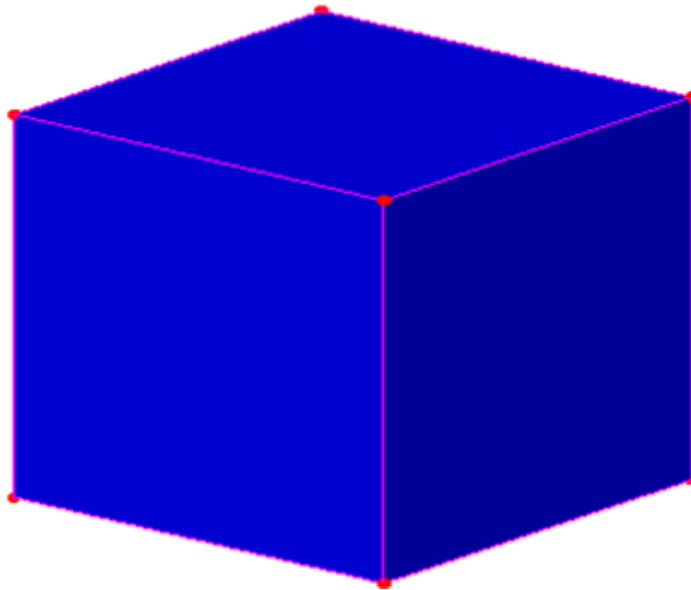


Şekil 4.7. Nokta ve Çubuk Eleman Oluşturma

Daha sonra bu noktaları sürükleyerek düzlem eleman oluşturulur. Daha sonra düzlem elemandaki çubuklar mouse ile seçilerek Surface kısmından yüzey haline getirilir.



Şekil 4.8. Düzlem Eleman ve Yüzey Oluşturma



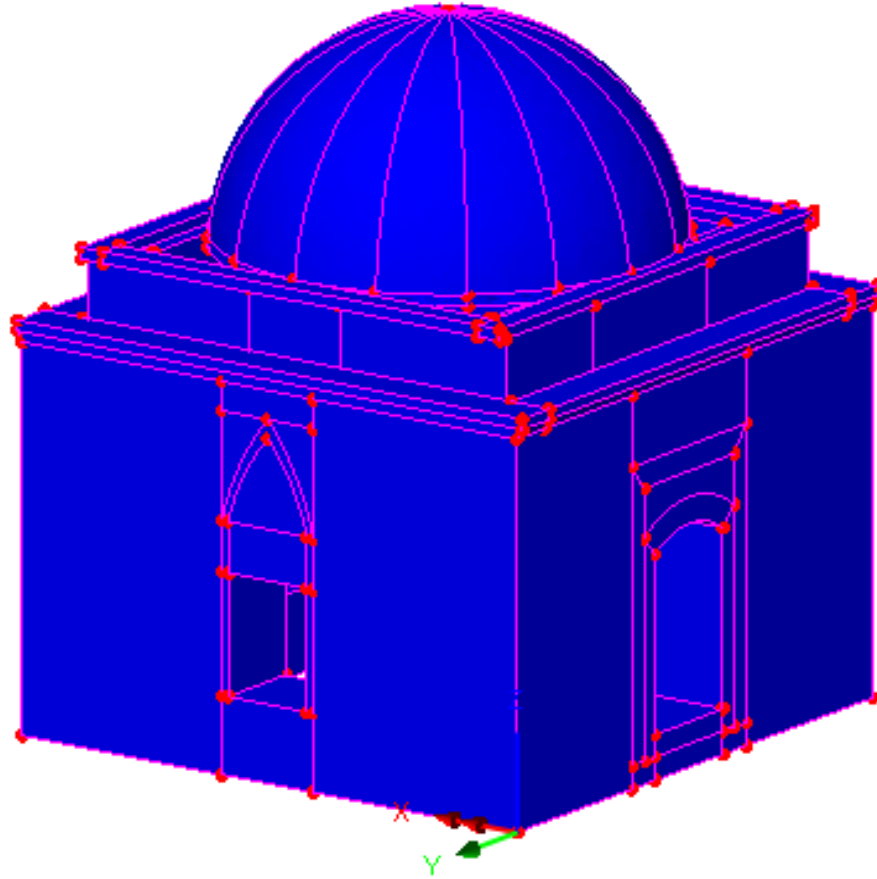
Şekil 4.9. Katı Model Oluşturma

Bu çalışmamızda İshak Paşa Türbesi ele alınmıştır ve LUSAS programında modellenmesi yapılmıştır. İshak Paşa Türbe yapısının genel formu kesme taş ve ot tuğlası kullanılarak yapılmıştır. Programda kesme taş ve ot tuğlasının gerekli bilgileri girilerek yapıya atanmıştır. Daha sonra yapının mesnetleri tanımlanır ve son olarak da yapıya etkiyen yükler belirlenerek yapının analizi yapılır. Kesme taş ve ot tuğlasından oluşmuş bu yapının depreme karşı ne kadar güvenli olduğunu tespit etmek amacı ile SAP2000 programında analizi yapılacaktır.

Yığma yapılar geçmişin kültürel ve tarihi birçok özelliğini yansıtan kıymetli yapılardır. Bu çalışmamızda Konya'da ki tarihi İshak Paşa Türbesi değerlendirilmiştir. Türbe dıştan düz bir görünüme sahip alt kısmı kubbe kısmına kadar kesme taştan oluşmuş ve kubbe kısmı ot tuğlasından yapılmıştır. Yapı gövdesi 22,2 metre karelik bir alana oturmaktadır. Kare bir yapıya sahip olan bu yapı 4,16 m boyunda bir kasnak üzerine oturan 1,73 m yüksekliğine sahip bir kubbe ile örtülmektedir. Türbe dıştan ve içten sade bir görünüme sahip bir yığma yapıdır.

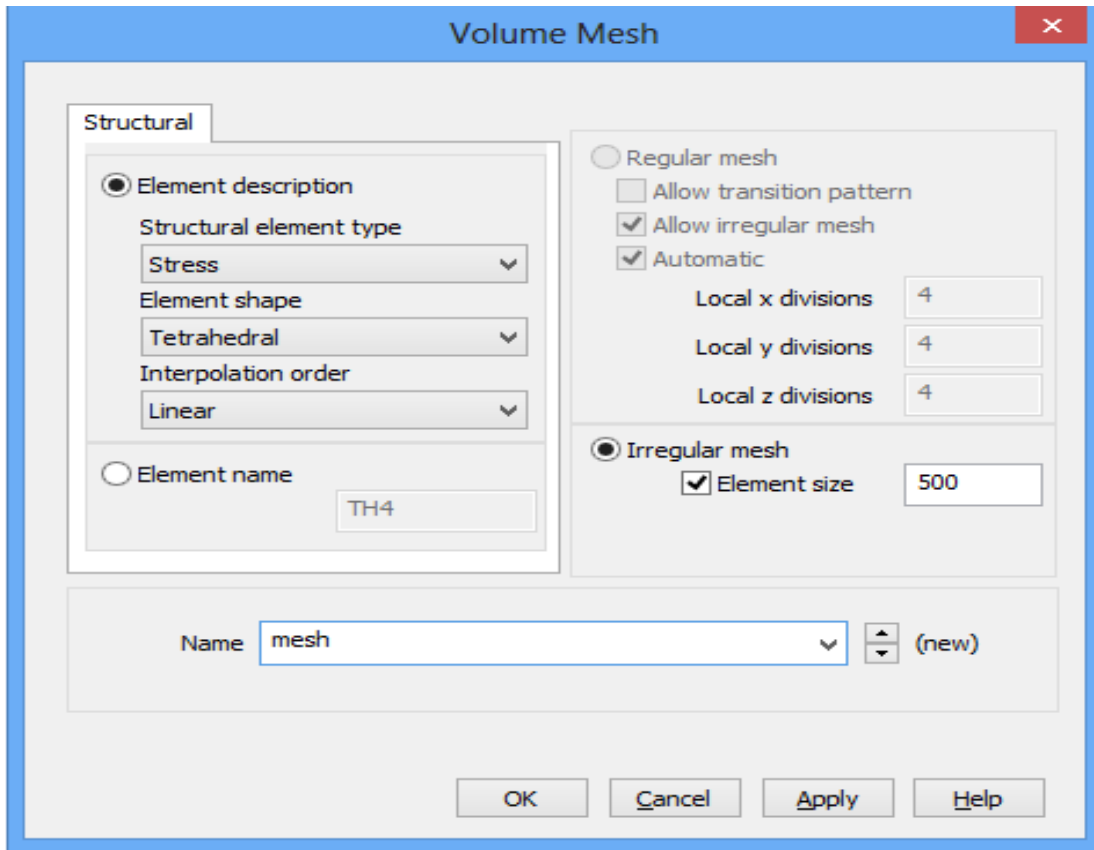
Yığma yapılarda kullanılan malzemeler yapının yük taşıma kapasitesini doğrudan etkiler. Bu yapılarda dayanıklılık; kayma dayanımı, çekme dayanımı, basınç dayanımı ve donma çözülme olaylarına karşı gösterdiği direnç ile ölçülür. Yığma yapıyı oluşturan malzemelerinin taşıma gücü laboratuvar çalışmaları ile saptanması oldukça zordur. Ancak tarihi değerlerimiz olan bu yapılarda yapıya zarar vermeden alınabilecek örnekler

laboratuvar ortamlarında test edilebilmektedir. Ancak alınan bu küçük örneklerden elde edilen sonuçlar mevcut yapının davranışlarını tam olarak yansıtmaz. İshak Paşa Türbesinin LUSAS programında modellenmesi şu şekilde yapılmıştır.

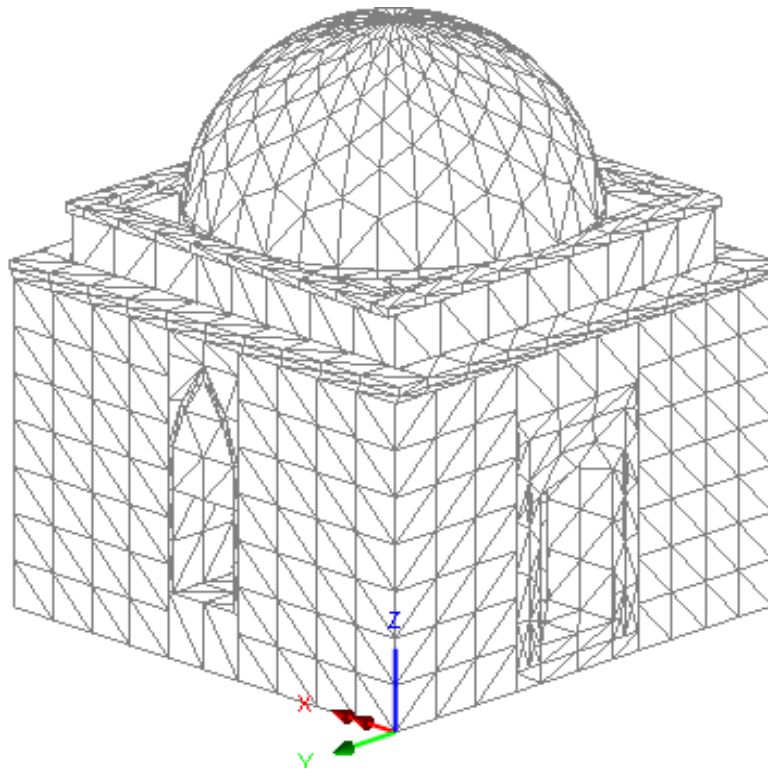


Şekil 4.10. Emir İshak Bey Türbesi Katı Model Görünümü

Yapı LUSAS programında modellendikten sonra ikinci adımda ATTRIBUTES kısmından MESH seçeneğine tıklıyoruz ve buradan da VOLUME kısmını seçiyoruz. Açılan pencere de ELEMENT SIZE kısmına yapı için uygun meshleme değerini giriyoruz. Meshleme; sonlu eleman analizi yapılacak olan bir yapının uygun parçalara bölünmesidir. Oluşan her bir parça düğüm noktaları ile bağlanmaktadır. Sonlu elemanlar yöntemi ise bu düğüm noktalarında ki hareketleri çözer ve düğüm noktasında ki hareketlere bakılarak tüm yapıdaki yer değiştirme hareketleri bulunmaya çalışılır. Programda meshleme değeri manuel olarak değiştirilerek yapının analiz sonucunda ki değerleri kıyaslanır. Meshleme değeri uygun büyüklükte girildiğinde analiz sonuçları gerçeğe yakın değerleri vermektedir. Bu çalışmamızda uygun meshleme değerini 50 cm seçilmiştir.

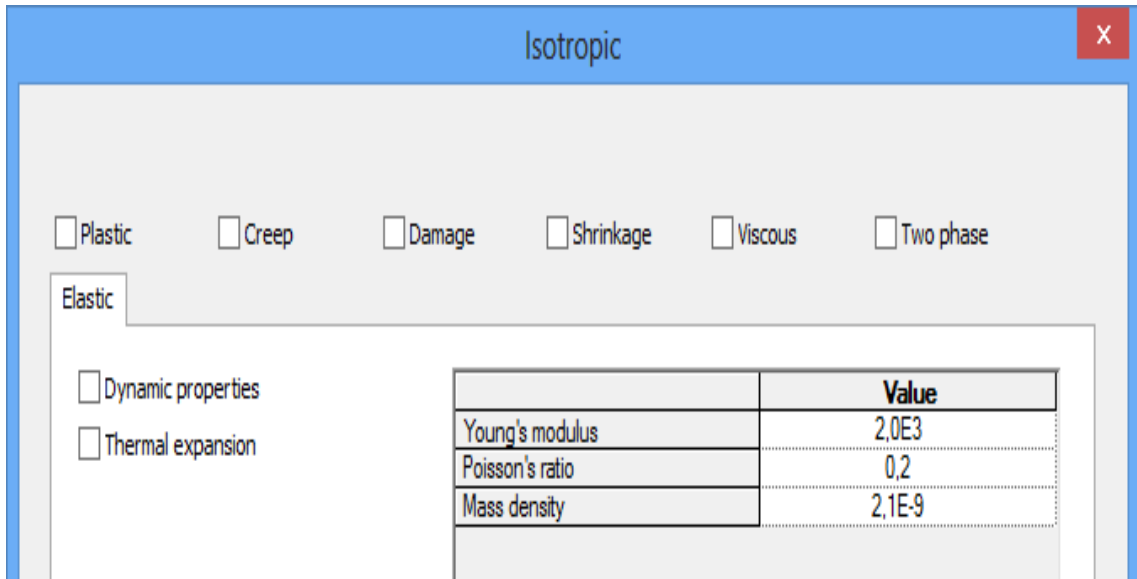


Şekil 4.11. Lusas Mesh Gösterimi

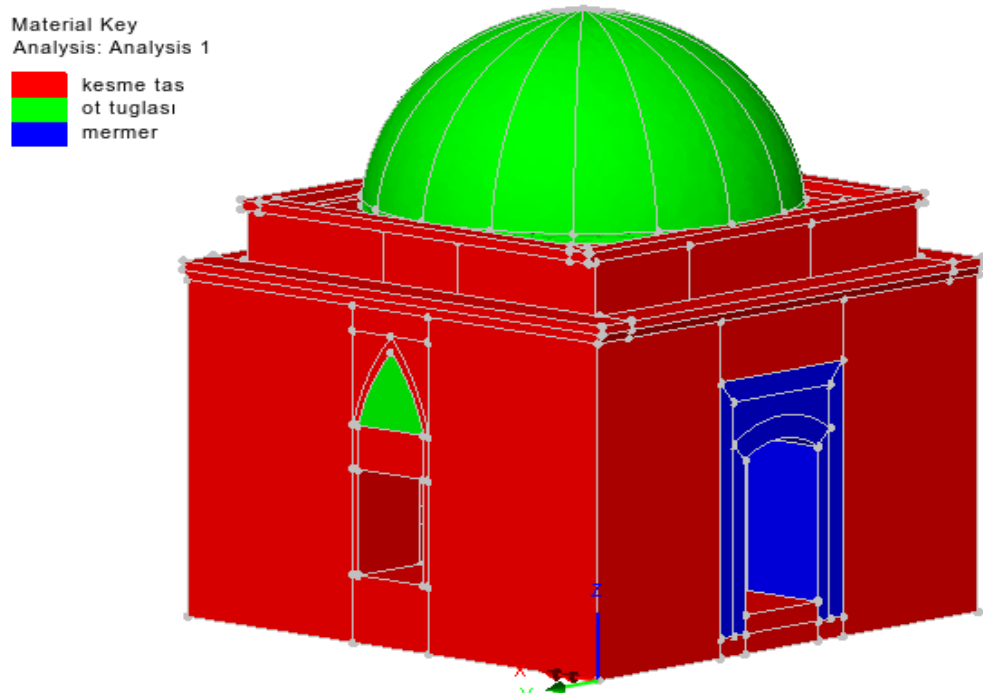


Şekil 4.12. Meshlenmiş Yapı Görünümü

ATTRIBUTES sekmesinden MATERIAL seçeneğine tıklıyoruz. Buradan ISOTROPIC kısmına tıklayıp malzeme özelliklerini buradaki alanlara tanımlıyoruz.



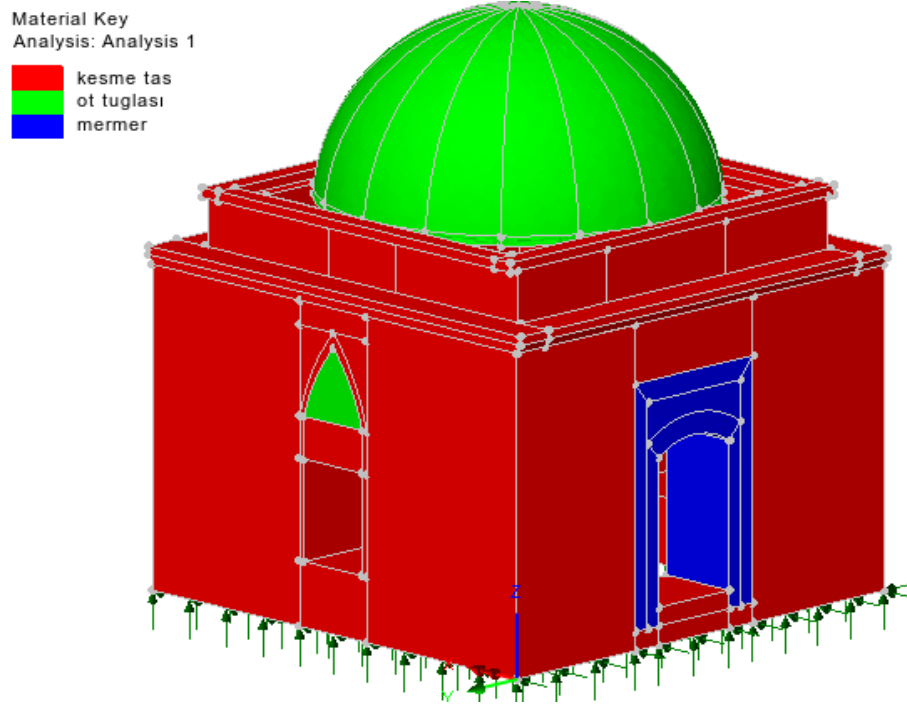
Şekil 4.13. Malzeme Özelliklerini Tanımlama



Şekil 4.14. Tanımlanmış Malzemelerin Yapıdaki Görünümü

Son olarak ise ATTRIBUTES seçeneğine tıklanır buradan SUPPORT seçeneğine tıklanır ve yapının mesnetleri tanımlanır. Daha sonra üzerine etki eden yükler

ATTRIBUTES seçeneğinden LOADING kısmına tıklanır ve açılan pencerede yapıya etki eden yük değerleri açılan kısımdaki ilgili alanlara tanımlanır.



Şekil 4.15. Yapıda Tanımlanmış Mesnetlerin Görünümü

4.4.2. Sonlu elemanlar analizi

Tarihi yapıların analizinde genellikle sonlu elemanlar yöntemi kullanılmaktadır. Analizler sonucunda gerçeğe yakın sonuçlar elde edebilmek için yapı uygun olan sayı ve ebatlarda sonlu elemanlara bölünür. Yapı üzerine etkiyen yükler ve yapıdaki sınır koşulları dahil gerekli tüm veriler programa girilir. Tarihi İshak Paşa Türbesinin sonlu elemanlar modeli Sap2000 programında hazırlanmıştır. Yapının matematiksel modelinin oluşturulması için gerekli tüm veriler VGM den alınan daha önceden çizilmiş rölöveler kullanılarak elde edilmiştir. Sonlu elemanlar analizi yapılan tarihi yapı için gerçek davranışına yakın değerler elde edilmeye çalışılmıştır. Model oluşturma ve hesap parametreleri aşağıda verilmiştir.

- Yapının duvarları, kubbe geçiş elemanları ve kubbesi Shell eleman olarak modellenmiştir.
- Yapıda Solid eleman kullanılmamıştır.
- Yapı için oluşturulan modeldeki eleman sayıları şu şekildedir;
- Shell Eleman Sayısı: 746

- Node (Düğüm Noktası) Sayısı: 728
- Hazırlanan hesap modeli üzerinde birçok sadeleştirme yapılmıştır. Bu sadeleştirmeler;
- Kapının dış kısmında bulunan mermerden yapılmış süslemeler modellenmemiştir.
- Pencere dış kısımlarında yer alan kemer formundaki süslemelerde modele dahil edilmemiştir.
- Yapı dış kısmında bulunan taş silme süslemeler ve kubbe üzerinde yer alan Kubbe Tırnakları modele dahil edilmemiştir.
- Yapı ile zemin arasına ankastre mesnet tanımlanmıştır.
- Malzemelerin elastisite modülü ve birim ağırlıkları tanımlanırken kesme taş ile harcın ve ot tuğlası ile harcın birlikte tek bir malzeme gibi davrandığı varsayılmıştır.
- Analizi yapılacak olan model üzerinde, sabit yükler ve deprem spektrum eğrisi ile tanımlanan yer hareketinin neden olduğu gerilmelerin göz önüne alındığı iki ayrı yükleme durumu tanımlanmıştır. EQx ve EQy olmak üzere ayrı ayrı iki asal doğrultuda deprem spektrumları tanımlanmıştır.
- G + EQx (Sabit yükler + x eksenini doğrultusundaki deprem yüklemesi) ve G + EQy (Sabit yükler + y eksenini doğrultusundaki deprem yüklemesi) olmak üzere iki farklı yük kombinasyonu tanımlanmıştır.
- Deprem etkilerini belirten spektrum hesabında ilk 6 mod dikkate alınmıştır.

Tablo 1. Modellemede kullanılan yapı malzemesinin mekanik özellikleri

Eleman Tipi	Elastisite Modülü E MPa	Birim Hacim Ağırlığı γ (kN/m ³)	Poisson Oranı (ν)
Taş duvarlar (harç ile birlikte)	450 Mpa	24	0.20
kubbe	3000 Mpa	18	0.18

Deprem Yönetmeliğinde, taş yığma duvarlar için basınç emniyet gerilmesi $f_{em}=0,3 \text{ MPa} = 300 \text{ KN/m}^2$, tuğla yığma duvarlar için basınç emniyet gerilmesi $f_{em}=0,8 \text{ MPa}$ olarak önerilmektedir. Buna karşılık, emniyet gerilmeleri 3 katsayısıyla büyütülmüştür. Bu durumda ise, taş duvarlar için taşıma gerilmesi;

$$f_{emb} = 0,3 \times 3 = 0,9 \text{ MPa} = 900 \text{ KN/m}^2 \quad (1)$$

Tuğla duvarların taşıma gerilmesi;

$$f_{emb} = 0,8 \times 3 = 2,4 \text{ MPa} = 2400 \text{ KN/m}^2 \quad (2)$$

olarak kabul edilmiştir.

Çekme emniyet gerilmeleri, basınç emniyet gerilmesi olarak belirlenen değerin %15' i olarak kabul edilebilir. Taş duvar için çekme emniyet gerilmesi;

$$f_{em\check{c}} = 0,9 \times 0,15 = 0,135 \text{ MPa} = 135 \text{ KN/m}^2 \quad (3)$$

Tuğla duvarlarda ise çekme emniyet gerilmesi;

$$f_{em\check{c}} = 2,4 \times 0,15 = 0,36 \text{ MPa} = 360 \text{ KN/m}^2 \quad (4)$$

olarak kabul edilmiştir.

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

$$\tau_m = \tau_o + \mu\sigma \quad (5)$$

Bu denklemde τ_m =kayma sınır gerilmesi, τ_o = çatlama emniyet gerilmesi, μ =sürtünme katsayısı, σ = duvar düşey gerilmesidir. Taş duvarlar için çatlama gerilmesi;

$$\tau_o = 0,10 \times 3 = 0,30 \text{ MPa} \quad (6)$$

tuğla duvarlar için duvar çatlama gerilmesi;

$$\tau_o = 0,15 \times 3 = 0,45 \text{ MPa} \quad (7)$$

olarak kabul edilmiştir.

Deprem yönetmeliğinde önerildiği gibi duvar düşey gerilmelerinin ilgili yapı elemanları için belirlenen basınç emniyet gerilmelerinden büyük olmadığı varsayımı ile; taş duvarlar için kayma emniyet gerilmesi,

$$\tau_m = 0,30 + 0,5 (0,9/2) = 0,53 \text{ MPa}$$

tuğla duvarlar için kayma emniyet gerilmesi,

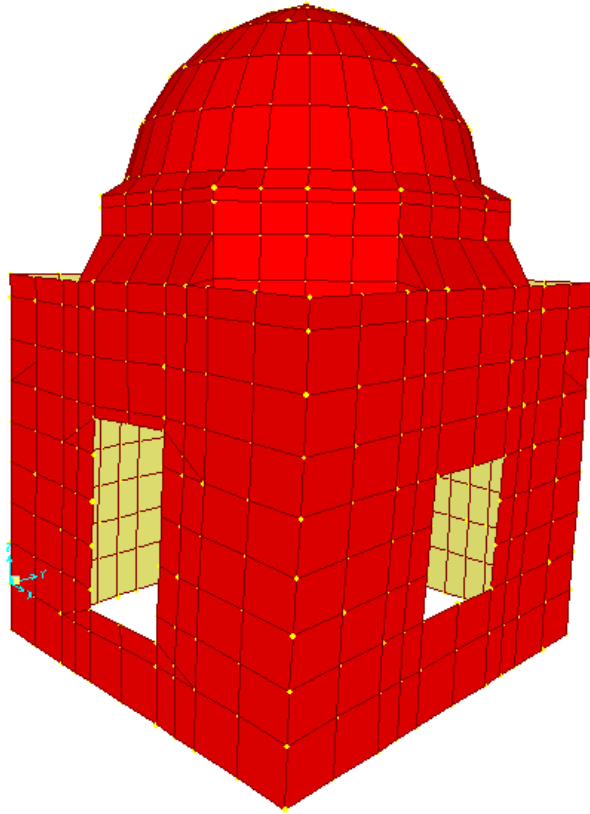
$$\tau_m = 0,45 + 0,5 (2,4/2) = 1,05 \text{ MPa}$$

olarak kabul edilmiştir.

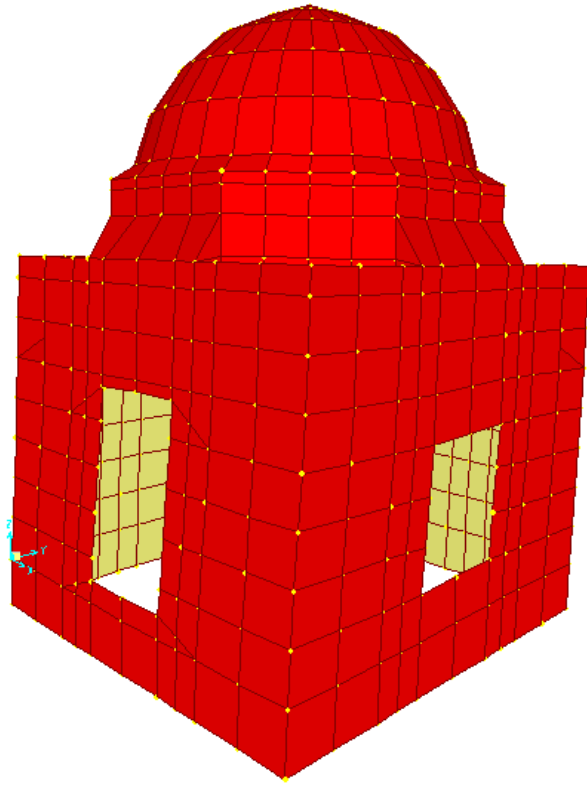
Taş ve tuğla için emniyet gerilmeleri Tablo 2' de verilmiştir.

Tablo 2. Malzeme grupları için kabul edilen emniyet gerilmeleri

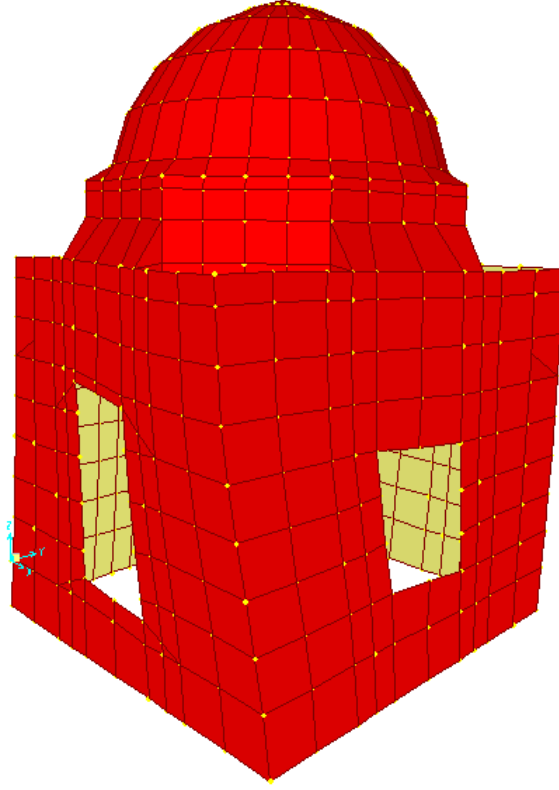
Malzeme Tipi	Basınç Emniyet Gerilmesi (MPa)	Çekme Emniyet Gerilmesi (MPa)	Kayma Emniyet Gerilmesi (MPa)
Tuğla (harçla birlikte)	2,4	0,36	1,05
Taş (harçla birlikte)	0,9	0,135	0,53



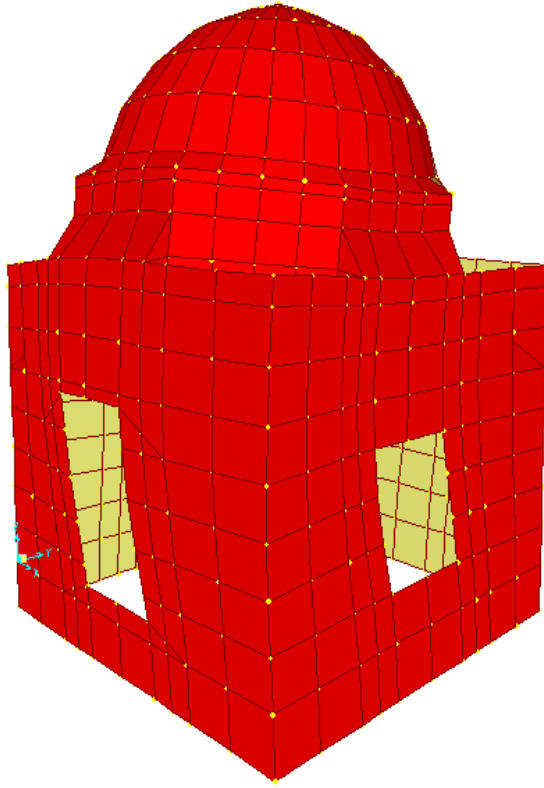
Şekil 4.16. Tarihi İshak Paşa Türbesi 1. moduna ait şekil değiştirmeler periyotlar



Şekil 4.17. Tarihi İshak Paşa Türbesi 2. moduna ait şekil değiştirmeler periyotlar



Şekil 4.18. Tarihi İshak Paşa Türbesi 3. moduna ait şekil değiştirmeler periyotlar



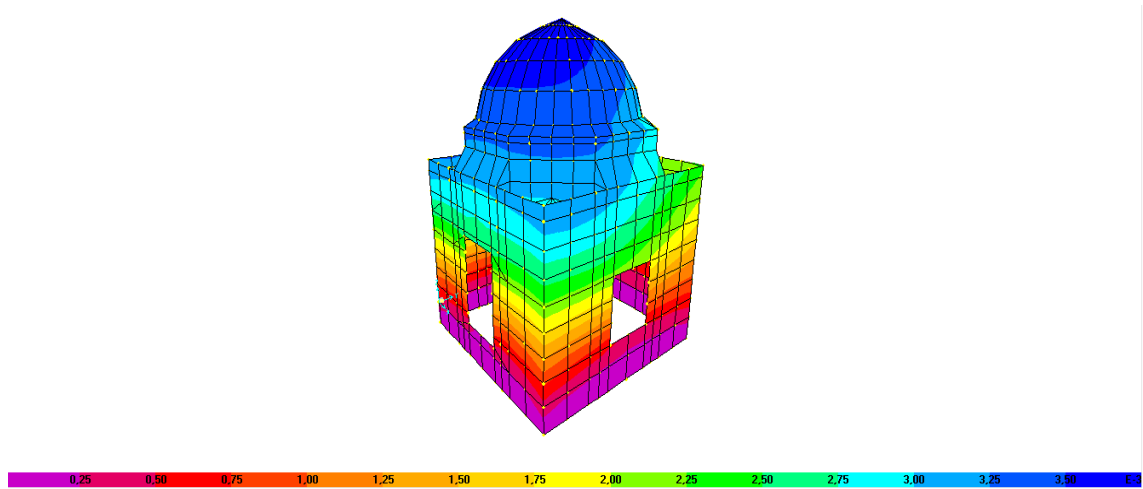
Şekil 4.19. Tarihi İshak Paşa Türbesi 4. moduna ait şekil değiştirmeler periyotlar

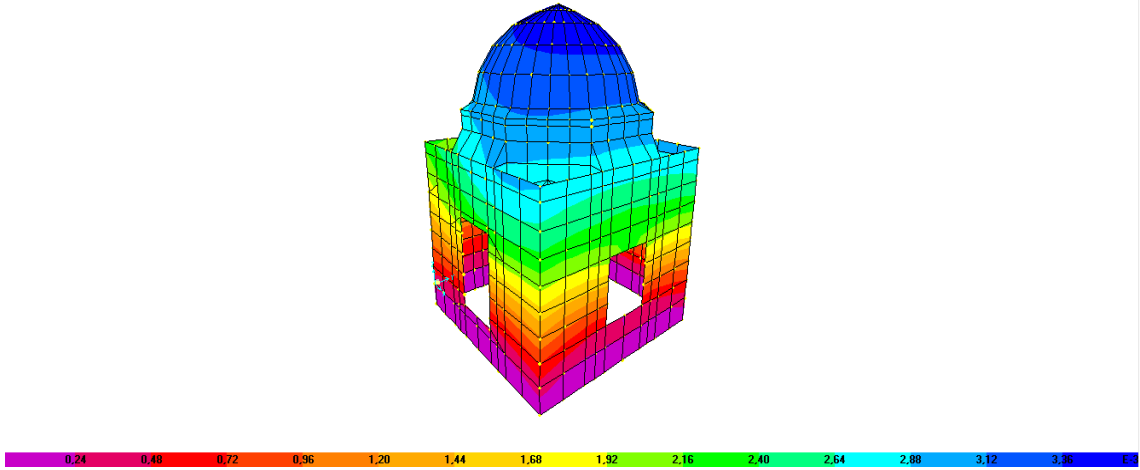
Tablo 3. Modlara göre periyotlar

Mod	Periyot (Sn)
1	0,13
2	0,12
3	0,07
4	0,07
5	0,06
6	0,06

Toplam yapı ağırlığı **1468 kN**, modelde X eksenini doğrultusunda uygulanan deprem etkisi sonucunda oluşan toplam taban kesme kuvveti **410 kN**, Y doğrultusunda uygulanan deprem etkisi sonucundaki toplam taban kesme kuvveti ise **396 kN** olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar doğrultusunda yapıda oluşan taban kesme kuvveti, X yönünde toplam yapı ağırlığının %28'ine, Y yönünde ise %27'sine denk gelmektedir.

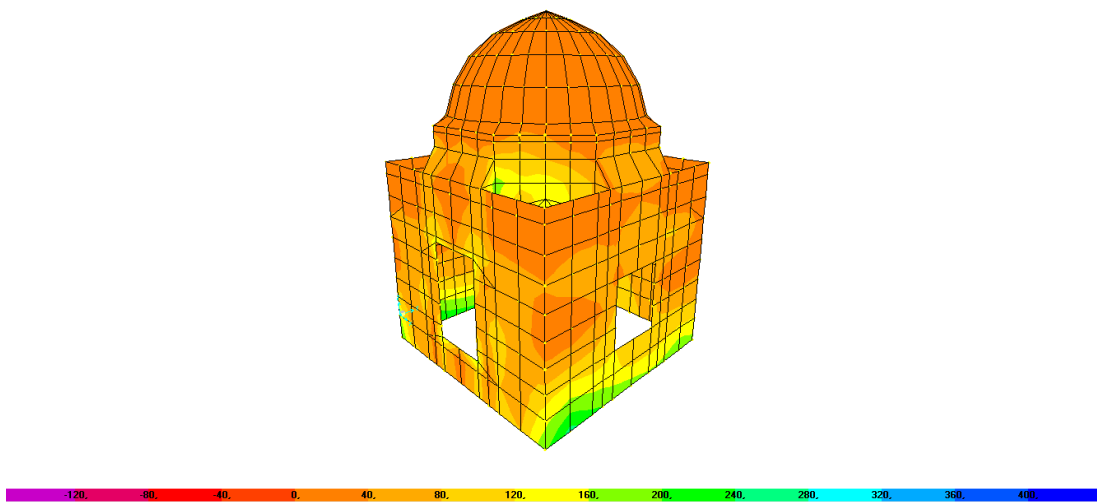
Analizler sonucunda elde edilen en büyük ötelenme değerleri yapının kubbe kısmında görülmüştür. X yönündeki deprem yüklemesi sonucunda x yönündeki en büyük ötelenme $\Delta x=3$ mm ve Y yönündeki deprem yüklemesi sonucunda y yönündeki en büyük ötelenme değeri ise $\Delta y=3$ mm' dir. Şekil 4.20 ve Şekil 4.21' de deprem yüklemeleri sonucunda X ve Y yönündeki ötelenmeler gösterilmiştir.

**Şekil 4.20.** X doğrultusundaki deprem yüklemesi neticesinde bulunan ötelenmeler

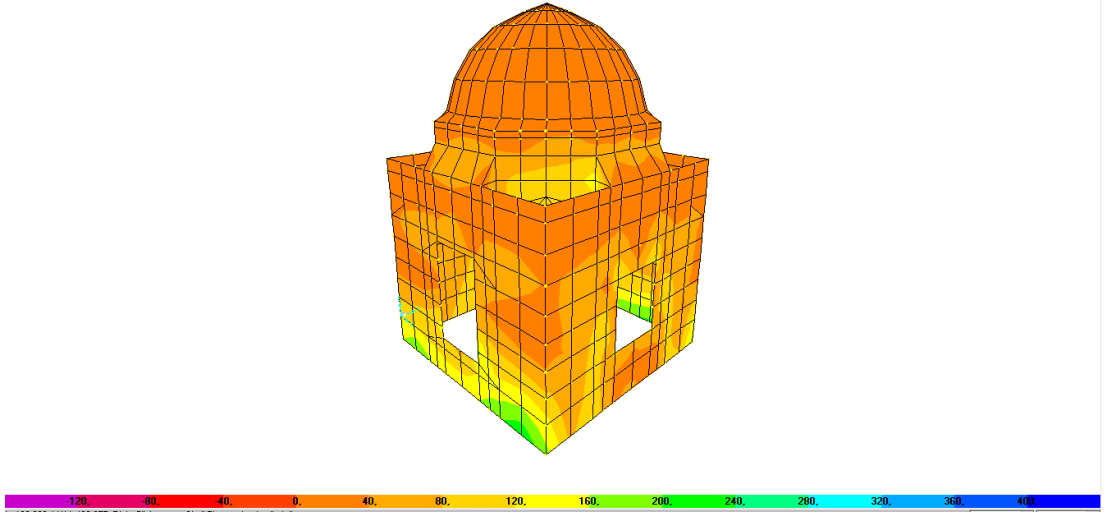


Şekil 4.21. Y doğrultusundaki deprem yüklemesi neticesinde bulunan ötelemeler

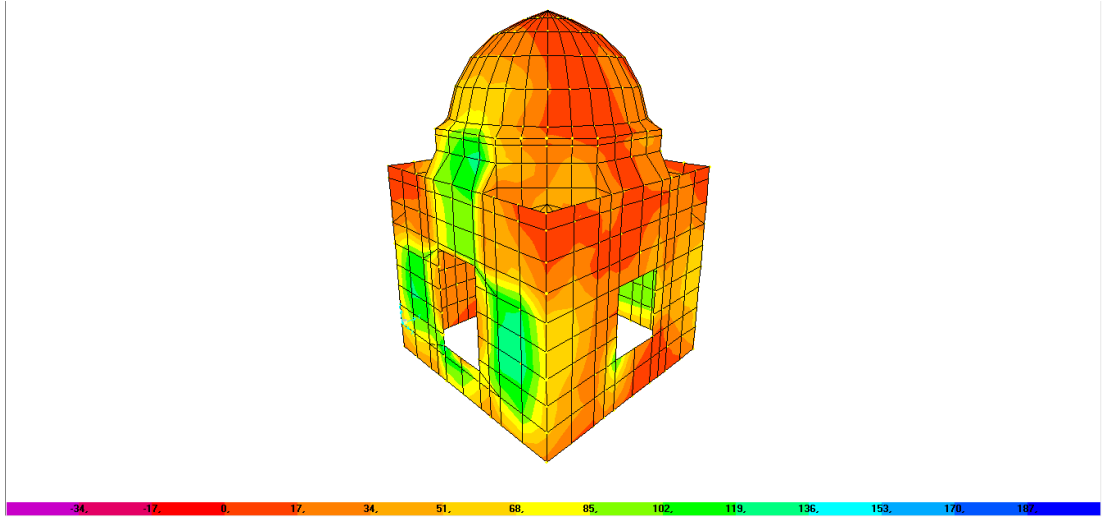
İshak Paşa Türbesi'nin strüktürel performansını belirlemek için yapılan sonlu elemanlar analizinin, SHELL elemanlarında hesaplanan gerilmelerden, her elemanın kendi yerel eksenine göre düşey doğrultuda (SAP2000 programının formatına göre S22 olarak tanımlanan) meydana gelen çekme veya basınç gerilmeleri ile (SAP2000 programının formatına göre S12 olarak tanımlanan) kayma gerilmeleri yapının dayanımı hakkında en açıklayıcı sonucu vermektedir. G+EQx ve G+EQy yüklemesinde meydana gelen maksimum çekme gerilmesi taş duvar kısmında 0,038 Mpa olarak gerçekleşmiştir. Basınç gerilmelerinde G+EQx ve G+EQy yüklemelerinde 0,12 Mpa olarak gerçekleşmiştir. Her iki değerde Tablo.2' deki gerilme değerlerinin altında kalmıştır. Diğer taraftan yine G+EQx ve G+EQy yük birleşimlerine göre hesaplanan maksimum kayma gerilmesi 0,142 Mpa olarak gerçekleşmiştir. Bu değerde Tablo.2' de verilen emniyetli kayma gerilmesi değerinin altında kaldığı görülmüştür.



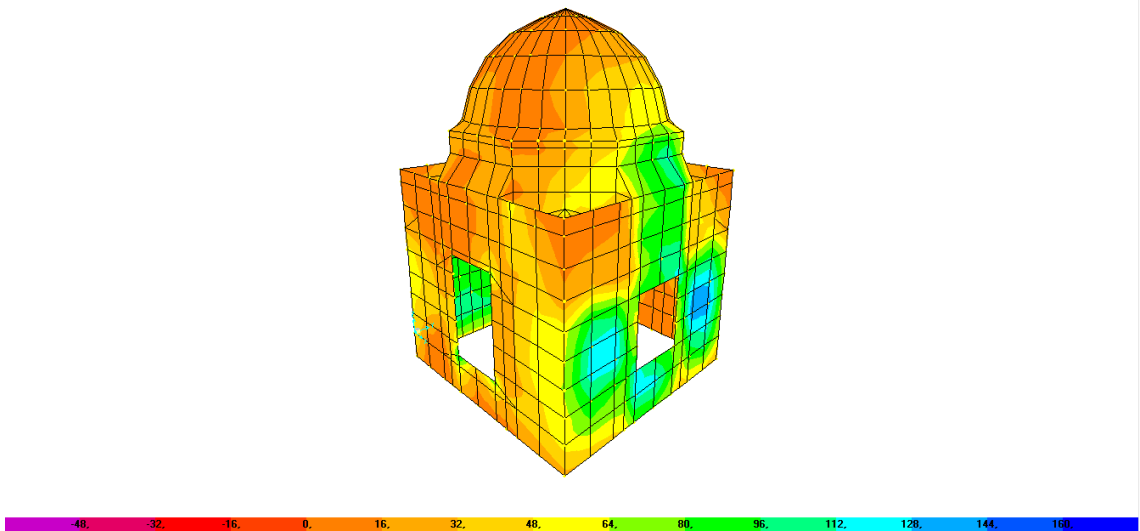
Şekil 4.22. G + EQx yüklemesi neticesinde meydana gelen S22 basınç ve çekme gerilmeleri



Şekil 4.23. G + EQy yüklemesi neticesinde meydana gelen S22 basınç ve çekme gerilmeleri



Şekil 4.24. G + EQx yüklemesi neticesinde meydana gelen S12 kayma gerilmeleri



Şekil 4.25. G + EQy yüklemesi neticesinde meydana gelen S12 kayma gerilmeleri

Tablo 4. Farklı eleman gruplarında bulunan maksimum gerilmeler

ELEMEN GRUBU			G + EQx YÜKLEMESİ Mpa	G + EQy YÜKLEMESİ Mpa
KUBBE	ÜST YÜZEY	BASINÇ	-0,03	-0,03
		ÇEKME	0,008	0,007
	ALT YÜZEY	BASINÇ	-0,05	-0,05
		ÇEKME	0,004	0,004
KUBBE KASNAĞI	ÜST YÜZEY	BASINÇ	-0,16	-0,18
		ÇEKME	0,03	0,03
	ALT YÜZEY	BASINÇ	-0,04	-0,04
		ÇEKME	0,18	0,17
DUVARLAR	ÜST YÜZEY	BASINÇ	-0,23	-0,21
		ÇEKME	0,038	0,038
	ALT YÜZEY	BASINÇ	-0,12	-0,12
		ÇEKME	0,014	0,011

G+EQx ve G+EQy yüklemeleri sonucunda yapının davranışını etkileyen yapı elemanlarının Şekil 4.22 ve Şekil 4.23’ de gösterildiği gibi S22 (basınç ve çekme) gerilme değerleri, Şekil 4.24 ve Şekil 4.25’de gösterildiği gibi S12 (kayma) gerilmeleri incelenmiştir. Şekillerde de görüldüğü gibi G+EQx ve G+EQy yüklemeleri sonucu tuğla ve kesme taş malzemeleri için kabul edilen basınç, çekme ve kayma sınır değerleri yapının neredeyse hiçbir yerinde aşılmamıştır. Yapı elemanlarının basınç ve çekme değerleri, “Kubbe”, “Kubbe Kasnağı”, “Duvarlar” olarak 3 gruba ayrılmış ve G+EQx ve G+EQy yük kombinasyonları için S22 (basınç ve çekme) gerilmeleri detaylı olarak incelenmiştir. Grupların basınç ve çekme gerilmeleri SHELL elemanlarının alt ve üst yüzeyleri için ayrı ayrı Tablo 4’te gösterilmiştir.

5. YIĞMA YAPILARIN İNCELENMESİ

Tarihi yapılara müdahale etmeden önce onları tanımak, yapım dönemi ve yapım tekniklerini, malzeme özelliklerini ve taşıyıcı sistemini detaylı olarak bilmek, zaman içerisinde maruz kaldıkları etkileri bilmek, geçmişteki hasar kayıtlarını ve müdahale yöntemlerini, yapı üzerinde yapılmış çalışmaları ve yayınları incelemek gerekir.

5.1. Yığma Yapılarda Oluşabilecek Hasar Durumları

Yığma yapılarda geçmişte meydana gelmiş ve halen meydana gelmekte olan birçok hasar durumu vardır. Tarihi yapılarda kullanılan malzemeler mekanik, fiziksel, kimyasal, çevresel, doğal ve beşeri gibi kaçınılması mümkün olmayan birçok etkiye maruz kalmıştır. Tekrarlı ve zaman zaman şiddetli olan bu etkiler yapıda birçok farklılığa sebep olmaktadır. Bu etkiler yapılarda yorulmaya, hacimsel kayıplara, dayanımında azalmaya, yapı görünümünde bölgesel kayıplara ve hatta bazı yapıların tamamen yok olmasına sebep olmaktadır. Birçok kültürel mirasımız doğal faktörlerin yanı sıra kullanım sırasında uygulanan yanlış müdahaleler sonucunda zarar görmüştür. Yapı üzerinde olumsuz durumlar oluşturan bu etkiler şu şekilde özetlenebilir.

Sıcaklık farkı; yapılar üzerinde olumsuz etki yaratan atmosferik koşullardan bir tanesidir. Sıcaklığın gerek gün içerisinde gerekse mevsimsel olarak değişmesi yapıda kullanılan malzemeler üzerinde bazı değişiklikler yapmaktadır. Bu değişiklikler de yapı malzemesinin zaman içerisinde dayanımında kayıplara yol açmaktadır.

Donma-çözülme olayları; birçok yığma yapının maruz kaldığı çevresel bir etkidir. Malzemelerdeki gözenekler içerisine giren su olumsuz hava koşulları ile birlikte donma reaksiyonu gösterir. Donan su da hacim genişmesi meydana gelir ve gerilmeler artar. Tekrarlanan bu reaksiyon sonucunda malzeme yorulur ve çatlaklar oluşur. Çiçeklenme olarak adlandırılan olayda bu etki sonucunda ortaya çıkmaktadır.

Rüzgar; bu etki yapı üzerinde toz gibi birçok farklı malzemenin birikmesine, yapının zaman içerisinde görünümde kirlenmeye ve aşınmaya sebep olur.

Nem; yapıda bozulmalara neden olan etkilere bir tanesidir. Maruz bıraktığı malzemede kimyasal ve hacimsel değişiklikler yapmaktadır. Neme maruz kalan bölgelerde kısmi yıkılmalar meydana gelmektedir.

Yer altı suları; yapı üzerine olumsuz etkisi önlenemeyen sular yapıda ciddi dayanım kayıplarına sebep olmaktadır. Yapıya etkiyecek olası çevresel sular yapıya ulaşmadan gerekli önlemler alınmalıdır.

Deprem etkisi; çoğu hasar verici etkisi olan bu kuvvetler için yapılarda önceden önem alınmalı, gerekli güçlendirme ve onarımlar yapılmalıdır.

Tüm bu çevresel etkiler incelendiğinde yapı üzerinde farklı hasarlara sebep olmaktadır. Bu hasarlar ise şu şekilde isimlendirilir.

- Çatlak oluşumu
- Yüzey kaybı
- Yüzey kirliliği
- Oyuklanma
- Çiçeklenme
- Kabuk oluşumu
- Renk değişimi
- Aşınma
- Biyolojik hasarlar

Malzemedeki kaynaklı sebepler; bazı yığma yapılar kesme taş gibi ağırlığı fazla olan malzemelerden yapılmıştır. Bu malzeme kullanılarak yapılan yığma yapıların öz ağırlığı oldukça fazladır. Deprem sırasında bu gibi gevrek ve ağır malzemedeki yapıların ani göçme ile hasar görme olasılığı oldukça fazladır. Bazı yığma yapılarda ise yapım sırasında mühendislik hizmeti almamasından kaynaklı yapıda yapı ağırlığını artıran yapı elemanları söz konusudur. Bunlardan bazıları ise şöyledir; döşeme kalınlığının oldukça fazla olması, gereksiz yatay ve düşey taşıyıcı elemanların bulunması. Bu vb. durumlar yapının ölü yükünü arttırmakla birlikte deprem sırasında gereksiz yük almasına ve zarar görmesine sebep olmaktadır. Malzemedeki kaynaklı hasar sebeplerinden bir tanesi de bağlayıcılık özelliği bulunan harçtır. Harç kalınlığının yetersiz

veya olması gerekenden fazla olması durumu ile harcın yeterli çekme dayanımına sahip olmamasından kaynaklı hasar durumları oluşabilmektedir.

Renk değişimi: Taşların yüzeylerinde fiziksel, kimyasal, biyolojik sebeplere bağlı olarak taşın renginin değişmesi durumudur. Atmosferik etkenlerle taşın yüzeyinde biriken yabancı maddeler taşın yapısındaki malzemeler ile birleşmektedir. Zamanla bu birleşim taşın orijinal rengini kaybetmesine ve yapısının bozulmasına sebep olmaktadır. Renk değişimleri de tarihi yapılar için önem arz eden bir durum içermektedir. Renk değişimleri tarihi yapının hem mimari görünümünü hem de yapı formunu bozan hasar durumudur. Renk değişimlerinin birçok sebebi vardır. Güneşin etkimesi, malzemenin yapısı, çok gözenekli malzemelerde yabancı maddenin hızlı birikmesi, yangın oluşumu gibi birçok etken bulunmaktadır. Renk değişimlerinin oluşma nedenleri belirlenmeli ve bu sebeple oluşabilecek hasarlar tespit edilmelidir. Renk değişiminin teşhisi konulduktan sonra uygun müdahale yöntemi belirlenmeli ve yapıya gerekli müdahaleler yapılmalıdır.

Malzeme kaybı: Yapının bir bölümünde bulunan malzemenin çeşitli faktörler nedeni ile yapıdan ayrılması durumudur. Yüzyıllar boyunca ayakta kalmış olan bu yapılar doğal ve beşeri birçok faktöre maruz kalmıştır. Bunlardan en önemli etkenler arasında yer alan atmosferik nedenler zamanla malzemenin fiziksel ve kimyasal özelliklerinde değişimlere sebep olmaktadır. Gün içindeki ısı farkları sonucunda donma çözülme olayları meydana gelmektedir. Donma çözülme olayları sonucunda malzemenin hacminde genişlemeler meydana gelmektedir. Bu olaylar sonucunda yapısı bozulan malzeme zamanla yapıdan ayrılmakta ve hasarlara, yapının mimari formunda bozulmalara sebep olmaktadır. Bunun yanı sıra yapının maruz kaldığı depremlerde yapıda malzeme kaybına neden olmaktadır. Bunlara ek olarak onarım sırasında yapılan yanlış müdahaleler, yapı ile uyumlu olmayan malzemenin yapıya eklenmesi, sel baskınları, insanların bilinçsiz kullanımı, yapıda kullanılan demir elemanların korozyona uğraması, ahşap elemanların doğru bakımının yapılmaması da malzeme kayıplarının sebepleri arasında yer almaktadır.

Tarihi yapılarda drenaj sisteminin olmaması veya var olan drenaj sisteminin sağlıklı işlevini yerine getirememesi sonucu yapıda problem oluşmaktadır. Suyun yeterli drenajının gerçekleşmediği yapılarda yapı suya maruz kalabilmekte bunun sonucunda da yapı uzun süre ıslak kalmaktadır. Islak kalan yapı ısı değişimlerinden çabuk etkilenmekte

ve fiziksel bozulmalar meydana gelmektedir. Su malzeme bünyesindeki boşluklardan ilerlerken malzeme bünyesinde bulunan tuzlar ile kimyasal bir etkileşime girmekte ve bunun sonucunda malzemenin formunda dökülmelere, çiçeklenmelere, kabarmalara, yüzey kayıplarına, malzemenin parçalanması gibi değişikliklere sebep olmaktadır. Malzeme yüzeyi yapının maruz kaldığı etkiler için oldukça önemlidir. Gözenekli ve mukavemeti düşük malzemeler su, nem, donma çözülme ve tuz gibi etkilerden kolayca etkilenebilmektedir. Malzemede gözeneklerin çok olması kimyasal maddelerin birikmesi için uygun bir zemin oluşturmaktadır. Tarihi yapıların birçoğu gözenekli malzemeler kullanılarak yapılmıştır veya zaman içerisinde maruz kaldıkları stresler sonucu yüzeylerinde gözenekler oluşmuştur. Yapı için ciddi bir tehdit olan tuzların yapıdan doğru bir şekilde uzaklaştırılması gerekmektedir. Bunun için yapıda yeterli drenaj sistemi oluşturulmalı ve etken kaynak olan suyun kesilmesi gerekmektedir. Bunun sonucunda yapıya etki eden suyun etkileri ortadan kaldırılmış olacaktır. Daha sonrasında yapı için uygun onarım metotları belirlenmelidir. Onarımlar esnasında doğru müdahalelerin yapılmaması ciddi kültürel kayıplara yol açabilmektedir. Yapının onarımı yapıldıktan ve gerekli koşullar sağlandıktan sonra yapının periyodik bakımlarına devam edilmesi yapının özgün formunu korumasına imkan sağlamaktadır.

Yapıyı oluşturan elemanların yüzeyinde oluşan kayıplar malzeme şeklinin değişimine sebep olmaktadır. Büyük boyutlara sahip elemanların yüzeylerinde kabuklanma veya parça kaybına, küçük boyutlu elemanların ise ufalanması ile sonuçlanmaktadır. Malzeme yüzeyi dikkatli incelendiğinde bozulmanın sebepleri ortaya çıkmaktadır. Bu bilgiler ışığında yapılacak doğru müdahale yöntemleri yapıda malzeme kaybının önüne geçilmiş olacaktır. Tüm bunlar incelendiğinde yapı formunun bozulması, yapıda stabilite problemlerinin ortaya çıkması, tarihi yapı hakkında bilgi veren yazıtlarda ki malzeme kayıpları anıtsal nitelik taşıyan yapılar için önemli kayıplara neden olmaktadır. Tarihi yapının kimliği niteliğinde ki yazılarda oluşabilecek malzeme kaybı yapıya ışık tutan bilgilerin yok olmasına ve bunun sonucunda yapı hakkında bilgi edinilmemesine sebep olmaktadır. Günümüz şartlarına yapılan araştırmalar ve teknolojinin gelişmesi ile malzeme kayıplarının teşhisi konusunda önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Teknoloji ile birlikte hız kazanan koruma ve onarım bilimi, geçmişe oranla koruma ve onarım alanında başarılı çalışmaların yapılmasına olanak sağlamaktadır. Bozulmaya neden olan faktörlerin belirlenmesi kültür varlıklarının açık olduğu tehditlerin önlenmesine olanak sağlamaktadır. Teşhisler sırasında bozulma türleri,

bozulma nedenleri, bozulmaya sebep olan etkenlerin tespiti, önlenmesi ve birbirleri ile olan ilişkileri dikkatle incelenmelidir. Teşhisler yapılırken kullanılan yöntemler, malzemeler ve müdahale alanlarının belirlenmesi ve bu veriler doğrultusunda neden sonuç arasında kurulacak doğru bağlantı yapının özgün yapısını korumasına olanak sağlamaktadır.

5.2. Hasarlara Müdahale Yöntemleri

Yığma yapılara müdahalelerdeki asıl amaç yapısal bütünlüğün bozulmadan gelecek nesillere aktarılmasıdır. Bu amaç doğrultusunda da yapının öngörülen performans düzeyinin belirlenmesi ve yapının mevcut işletme koşullarının korunarak müdahale edilmesi ortaya çıkmaktadır. Her yapının deprem gibi yıkıcı kuvvetler ve çeşitli dış etkiler karşısında gösterdiği mukavemet ve titreşim hareketi farklıdır. Türkiye’ de tarihi binaların güçlendirilmesinde beton, çelik ve karbon fiber gibi malzemeler kullanılır. Genellikle bu tür malzemelerle yapılan güçlendirmeler yapı durumuna göre avantaj veya dezavantaj olabilmektedir. Tarihi bir yapının hasar görmüş kolonlarını çelik bir malzeme ile onarmak avantaj olurken; daha eski betonun üzerine daha yüksek bir dayanıma sahip olan beton ile kaplanması kolonda yapı yükünü arttıracığından dezavantaj bir durum oluşturabilir. Benzeri bir durumda çelikte şekil verme sorunlarından dolayı olumsuz sonuçlar doğurabilir. Bu ve benzeri olumsuzlukların yaşanmaması için yapı formuna müdahale etmeden önce sistemin özü kavranmalı, yapının var olan formuna uygun tasarımlar düşünülmeli, mimari nitelikler göz önüne alınmalı ve en önemlisi depreme dayanıklılık öncelik olmalıdır. Sallio (2005) çalışmasında yığma yapıların deprem dayanımlarının arttırılması gerektiğini ve depreme dayanıklı yapılar inşa edilmesi gerektiğinin önemini vurgulamışlardır. Yapıların deprem güvenliğine göre yapılmasındaki en önemli adımın yürürlükteki yönetmeliğin kural ve koşullarına uyarak yapıların yapılmasının sağlanması gerektiğini vurgulamışlardır.

Bir diğer güçlendirme malzemesi olan karbon fiber bina güçlendirme yöntemleri içerisinde en kısa sürede uygulanan güçlendirme yöntemidir. Karbon fiber içerisinde bulunan elyaf ve karbon sayesinde uygulandığı yüzeye sarılarak yüksek mukavemette güçlendirme sağlar. Bunların yanı sıra filiz ekimi ile güçlendirme, epoksi enjeksiyonu, mantolama, duvar örme, temel kuvvetlendirme, eski ve yeni yapı elemanlarını kaynaştırma da eşitli güçlendirme yöntemleri arasında yer almaktadır. Alternatif

müdahale yöntemleri belirlenirken yapının mevcut halinde değişiklik yapılmamasına, müdahalenin maliyetine, ekipman ve iş gücü yeterliliğine dikkat edilmesi gerekir. Müdahaleler sonucunda yapının deprem performansı artırılır deprem riski azaltılır. Müdahale yöntemleri ise onarım türüne göre şu şekildedir.

Basit onarım; tarihi yapılarda yapılması gerekli olan yöntemlerden bir tanesidir. Eğer yapının basit onarımları düzenli olarak yapılmaz ise daha büyük ve maliyetli onarımlara gerek duyulmaktadır. Basit onarım yönteminde tarihi yapının özgün yapısının bozulmaması esastır. Basit onarım; tarihi yapıların bozulan, yok olan malzeme, kaplama ve sıva gibi detayların aslına uygun olarak yenilenmesi işlemidir. Çalışmalar sonucunda tarihi yapının mevcut görünüşünde değişiklik olmaması gerekmektedir.

Kapsamlı onarım; basit onarım işleminden daha kapsamlı olarak yapılan onarım işlemidir. Tarihi yapının taşınması, sağlamlaştırılması, yenilenmesi, yeniden yapılması ve tarihi yapıdaki uygun olmayan eklerin kaldırılması işlemleri esaslı onarım kapsamına girmektedir.

Taşıyıcı elemanlara yönelik müdahaleler; yığma yapılar gerek kullanılan malzemelerden dolayı gerekte o dönem şartlarından dolayı oldukça geniş inşa edilmiş yapılardır. Bu yapıların taşıyıcı sistemlerini en çok yoran durum ise düşey ve yatay yüklerin aynı anda etki etmeleridir. Bunun sonucunda da taşıyıcı sistemde zorlanmalara ve hasar görmelerine sebep olmaktadır. Taşıyıcı elemanların zaman içerisinde fiziksel ve mekanik özelliklerini yitirmesi gibi sebeplerden dolayı da farklı tür ve seviyelerde dayanım kayıpları olmaktadır. Taşıyıcı elemanların onarım işlemlerinde kullanılan malzemelerin mevcut yapıdaki malzemeler ile uyumlu olması gerekmektedir. Bazı yığma yapılarda taşıyıcı duvarlar arasına ahşap hatıllar konulmaktadır. Bu ahşap hatıllar zamanla çürümekte ve sonunda duvarda süreksizlikler oluşmaktadır. Ahşap hatıllar çelik bağlantı elemanları ile birbirine bağlanarak taşıyıcı elemanda süreklilik oluşturulmaktadır.

Bağlantılara yönelik müdahaleler; yığma yapılarda hasarlar genellikle bağlantı noktalarında meydana gelmektedir. Yığma yapılarda duvar-tonoz, duvar-kemer, duvar-duvar ve duvar-döşeme gibi bağlantıların stabilitesini kaybetmemesi güçlendirmelerin önemli amaçlarından bir tanesidir. Kemer ve tonoz gibi sistemlerde itki kuvvetini

karşılılamak için ahşap veya demir gergi çubukları kullanılmaktadır. Bu geleneksel yöntem ile bu bölgelerdeki dayanım arttırılmış olur.

Zemin ve temele yönelik müdahaleler; yığma yapının üzerine oturduğu zeminin zamanla dayanım değerlerinin değişmesi ya da taşıma gücündeki düşüş sebebi ile yapılan müdahale yöntemidir. Bu yöntemdeki asıl amaç ise şev stabilitesine dikkat etmek ve yapının mesnet koşullarında değişim yapılmadan gerekli müdahalenin yapılmasıdır. Kontrol edilmeyen yeraltı suları zeminin dayanımında azalmaya ya da deprem gibi sismik hareketler zeminin sıvılaşmasına neden olur. Bu gibi sorunlar için yapılan birkaç müdahale yöntemi şu şekildedir.

- Zemin iyileştirmesi
- Temelin genişletilmesi
- Kazık uygulaması
- Zemindeki suyun drenajı

Tarihi yapılarda ki zemin güçlendirmesindeki amaç zeminlerin dayanım ve rijitliğini muhafaza etmesidir. Zemin özellikleri yapı ömrü için hassas olan faktörlerden bir tanesidir.

Döşemelere yönelik müdahaleler; döşemeler yapılarda yatay taşıyıcı elemanlardır. Döşemeler üzerlerine etkileyen düşey yükleri döşemelere mesnet olan duvar, kiriş, sütun gibi elemanlara iletmektedirler. Döşemeler ile döşemelere mesnet olan elemanlar arasında sürekliliğin sağlanması ile yatay yük aktarımı dengeli bir şekilde aktarılır. Böylece sehimler azalması sağlanır.

Yukarıda belirtildiği üzere yığma yapıya müdahale yöntemleri yapıdaki hasar durumuna göre belirlenmektedir. Tarihi yapının mevcut hasarının sebebi belirlenerek gerekli müdahale yöntemleri uygulanır. Bazı tarihi yapılarda zamana bağlı olarak hasarlar meydana gelmiş olsa da bazı yapılarda da yanlış müdahaleler sonucu oluşmuş hasarlar mevcuttur. Müdahaleler sonucunda yapının performansı arttırılırken yapıda yorulmalara neden olacak eklemeler ve uygulamalardan kaçınılması gerekmektedir.

6. SONUÇLAR

Bütün yapı ile uyumlu olacak şekilde belirlenen modelleme yaklaşımının seçimi, analiz sonuçlarında yapının davranışının belirlenmesi bakımından önemlidir. Modelleme seçimi yapının geometrisine, modelden beklenen hassasiyete göre değişmektedir. Analizlerin gerçeğe yakın sonuçlar verebilmesi için yapıda kullanılan malzeme özelliklerinin bilinmeside modelleme yaklaşımının seçimi kadar önem arz etmektedir. Bu çalışmada kesme taştan yapılmış yığma yapılara tipik bir örnek teşkil eden İshak Paşa Türbesi ele alınmıştır. Farklı yapısal özelliklere sahip malzemelerle inşa edilmiş bu yapının statik ve dinamik analizleri yapıldı ve türbenin deprem gibi yıkıcı yükler altında yapısal davranışı incelenmiştir.

Yapılan modelleme ve analizler her ne kadar gerçek durumla birebir aynı olmasa da ayrıntılı ve gerçeğe yakın olacak şekilde modelleme ve analizleri yapılmaya çalışılmıştır. Bu sebeple analizler sonucunda elde edilen değerlerin gerçeğe yakın değerler olduğu düşünülmektedir. Daha doğru sonuçlara ulaşabilmek için yapının malzeme özelliklerinin deneysel çalışmalar ile elde edilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada Konya' da bulunan Tarihi İshak Paşa Türbesi' nin sonlu elemanlar yöntemi ile deprem davranışları incelenmiş ve değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre yapıda meydana gelen gerilmeler sınır değerlerin altında olup yapı için herhangi bir risk söz konusu değildir. Şekillerde de görüldüğü üzere G+ EQx ve G+ EQy yüklemeleri sonucunda kesme taş ve tuğla malzemeleri için kabul edilen kayma ve basınç sınır değerlerinin aşılmadığı, çekme sınır değerinin ise kubbe ile duvar geçiş elemanlarının birleştiği bölgelerde az miktarda aşıldığı görülürken yapının diğer kısımlarında aşılmadığı görülmüştür. Çekme sınır değerinin aşıldığı alan küçük bir alan olduğu için yapıda çekme sınır değerinin de aşılmadığı varsayılmıştır.

Tarihi İshak Paşa Türbesi'nin rijit bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Analizde kullanılan spektrum eğrisindeki deprem etkisi doğrultusunda yapılan analizler neticesinde bulunan maksimum yer değiştirme değerleri kubbenin en üst noktasında x ve y doğrultusunda 3'er mm'dir. Bu noktanın modelde kabul edilen zemine göre kotu 6 m olduğundan görelî yer değiştirme oranı 0,0002 olarak bulunur. Bu değer kabul edilebilir sınırlar içerisinde kalmaktadır ve yapının yıkılma olasılığı neredeyse hiç yoktur.

Tablo 1. Farklı eleman gruplarında bulunan basınç ve çekme değerlerin literatürdeki değerlerle karşılaştırılması

ELEMAN GRUBU			G + EQ _x YÜKLEMESİ Mpa	G + EQ _y YÜKLEMESİ Mpa	LİTERATÜRDEKİ DEĞERLER	
					BASINÇ Mpa	ÇEKME Mpa
KUBBE	ÜST YÜZEY	BASINÇ	-0,03	-0,03	2,4	0,36
		ÇEKME	0,008	0,007		
	ALT YÜZEY	BASINÇ	-0,05	-0,05		
		ÇEKME	0,004	0,004		
KUBBE KASNAĞI	ÜST YÜZEY	BASINÇ	-0,16	-0,18	2,4	0,36
		ÇEKME	0,03	0,03		
	ALT YÜZEY	BASINÇ	-0,04	-0,04		
		ÇEKME	0,36	0,35		
DUVARLAR	ÜST YÜZEY	BASINÇ	-0,23	-0,21	0,9	0,135
		ÇEKME	0,038	0,038		
	ALT YÜZEY	BASINÇ	-0,12	-0,12		
		ÇEKME	0,014	0,011		

KAYNAKLAR

- Anadut, H.O., 2016, Tarihi yapıların dinamik davranışlarının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yozgat.
- Akan, A.E., 2010, Tarihi ahşap sütunlu camilerin sonlu elemanlar analizi ile taşıyıcı sistem performansının belirlenmesi, *SDU International Technologic Science*, Vol. 2, No 1, 41-54.
- Aköz, A.H., 2008, Deprem etkisi altındaki tarihi yağma yapıların onarım ve güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Arun, G., 2005, Yağma kagir yapı davranışı, *Yağma Yapıların Deprem Güvenliğinin Arttırılması Çalıştayı*, 1-8.
- Başaran, V., ve Hiçyılmaz, M., 2020, Betonarme çerçevelerde farklı deprem yer hareketi düzeyi etkilerinin incelenmesi, *Journal of Innovations in Civil Engineering and Technology*, 2(1), 27-41.
- Başgöl, M., 2020, Tarihi cacabey medresesinin yapısal davranışının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Çarhoğlu, A. İ., Zabin, P., ve Korkmaz, K. A., 2013, Kars kümbet camisinin deprem davranışının incelenmesi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 2(1), 189-196.
- Çavuş, M., 2013, Tarihi niksar kulak kümbetinin deprem altındaki sismik davranışının değerlendirilmesi, *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, (7), 80-90.
- Çavuş, M., ve Dayı, M., 2013, Tarihi Niksar kırk kızlar türbesinin sismik davranışı. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, (2), 25-34.
- Çelebi, O., ve Aydın, A. C., 2021, Tarihi Şenkaya Yünören köprüsünün deprem performansının incelenmesi, *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10(1), 284-300.
- Çoban, K., 2018, Tarihi Bayburt Yakutiye (Yeni) camisinin dinamik performansının belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bayburt.
- Dikiciaşık, Y., 2011, Uzak ve yakın bölge depremleri altında düzensiz yağma bir bina davranışının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi. *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta.
- Gedik, Y.H., 2008, Tarihi yağma yapıların analizi, onarım ve güçlendirilmesi: Mehmet ağa camii örneği, Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Işık, E., ve Antep, B., 2018, Ahlat ilçesinde yer alan tarihi yağma minarenin yapısal analizi, *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 7(1), 46-56.

- Kamanlı, M., Jaihoon, E. H., ve Ünal, A. 2019, TBDY 2018'e göre tarihi sille ak caminin statik analizi, *Selcuk University Journal of Engineering Sciences*, 18(3), 134-151.
- Sallio, N., 2005, Mevcut yığma yapıların deprem bakımından incelenmesi ve güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli.
- Keskin, E., ve Bozdoğan, K. B., 2018, 2007 ve 2018 Deprem Yönetmeliklerinin kırklareli ili özelinde değerlendirilmesi, *Kırklareli Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 4(1), 74-90.
- Kılıçer, S., ve Özgan, K., 2018, Deprem yükü etkisindeki betonarme yapıların tasarımında yapı- zemin etkileşiminin incelenmesi, *Doğ Afet Çev. Der.* 4(1): 1- 10.
- Kışhalı, E., 2020, İzmit tarihi yeni hamam restorasyon projesi: Yapısal değerlendirme, *Mimarlık ve Yaşam*, 5(1), 215-234.
- Kocaman, İ., Okuyucu, D., ve Kazaz, İ., 2017, Tarihi yığma yapıların dinamik davranışlarının hesabında gerekli malzeme özelliklerinin tayini: Lala Paşa cami örneği, *Uluslararası Katılımlı 6. Tarihi Yapıların Korunması ve Güçlendirilmesi Sempozyumu*, Trabzon.
- Kocaman, İ., Okuyucu, D., ve Kazaz, İ., 2018, Tarihi Erzurum Yakutiye medresesinin yapısal davranışının incelenmesi, *Dokuz Eylül Üniversitesi-Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, Cilt 20, Sayı 58, 36-51.
- Korkmaz, K.A., Çarhoğlu, A.I., Orhon, A.V., ve Nuhoglu, A., 2014, Farklı yapısal malzeme özelliklerinin yığma yapı davranışına etkisi, *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Cilt 3(1), 69-78.
- Korkmaz, K., Zabin, P., Çarhoğlu, A., ve Nuhoglu, A., 2014, Rize merkez kurşunlu camisi'nin deprem davranışının incelenmesi, *Sakarya University Journal of Science*, 18(3), 149-156.
- Lusas, Finite element analysis software products. Finite Element System FEA Ltd, (UK 2019).
- Mahrebel, H. A., 2006, Tarihi yapılarda taşıyıcı sistem özellikleri, hasarlar, onarım ve güçlendirme teknikleri, Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Özbek, M., ve Şener, S., 2021, Tarihi Fil Köprüsü'nün yapısal ve dinamik özelliklerinin incelenmesi, *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(1), 47-61.
- URL-1, 2021, <https://www.turkiye.gov.tr/afad-turkiye-deprem-tehlike-haritalari>.
- URL-2, 2021, https://www.afad.gov.tr/kurumlar/afad.gov.tr/2309/files/TBDY_2018.pdf.
- Usta, P., ve Bozdağ, Ö., 2021, Tarihi Başdurak Camisinin deprem analizi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 27(3), 244-250.

SAP 2000, Computer Program, Computers and Structures, Berkeley, USA, 2000

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.

Sucuoğlu, H., 2019, 2019 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde başlıca yenilikler, *Türk Deprem Araştırma Dergisi*, 1(1), 63-75.

Toker, S., ve Ünay, A.İ., 2004, Kemerli taş köprülerin matematiksel modellenmesi ve sonlu elemanlar yöntemiyle analizi, *G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi*, 17(2), 129-139.

Uğurlu, M. A., Günaslan, S. E., ve Karaşin, A., 2017, Dört ayaklı minarenin modellenmesi ve yapısal analizi, *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 8(2), 413-422.

Uzun, M., 2017, Yığma yapıların deprem performansının değerlendirilmesi ve bir güçlendirme örneği, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, Konya*.

Zabin, P., Çarhoğlu, A. I., ve Korkmaz, K. A., 2013, Ermenek tol medresesinin deprem etkisi altındaki davranışının incelenmesi, *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 5(3), 1-7.