T.C.
DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TARİHİ YAPILARIN YAPISAL ANALİZİ: DİYARBAKIR SURLARI ÖRNEĞİ

Rojbin İZGİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DİYARBAKIR
Ocak 2020

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasını hazırlarken bilgi ve birikimlerini benimle paylaşan, çalışmamın her aşamasında bana yol gösteren, kıymetli zamanını bana ayıran değerli hocam Dr. Öğretim Üyesi Mehmet Emin ÖNCÜ' ye teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Ayrıca verdiği değerli tavsiyeleriyle çalışmama sağladığı katkılarından dolayı sayın Prof. Dr. Alemdar BAYRAKTAR' a, elindeki dokümanlarını benimle paylaşarak çalışmamın ortaya çıkmasında büyük katkıda bulunan sayın Dr. Öğretim Üyesi Mehmet CEBE' ye teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca desteklerini esirgemeyen, bana hep inanan babam Fethi İZGİ ve annem İnci İZGİ' ye, kız kardeşim, en yakın arkadaşım Elif Cemre İZGİ' ye ve bana destek olan tüm sevdiklerime teşekkür ederim.

Rojbin İZGİ

İnşaat Mühendisi

İÇİNDEKİLER

		Sayfa
TEŞEKKÜR		**I**
İÇİNDEKİLER		**II**
ÖZET		**IV**
ABSTRACT		**V**
ÇİZELGE LİSTESİ		**VI**
ŞEKİL LİSTESİ		**VII**
KISALTMALAR VE SİMGELER		**IX**
1.	**GİRİŞ**	**1**
1.1.	Diyarbakır Surları Tarihçesi	1
1.2.	Diyarbakır Surlarının Yapısal Özellikleri	3
1.3.	Yedikardeş Burcu Tarihçesi	3
1.4.	Yedikardeş Burcunun Yapısal Özellikleri	5
2.	**KAYNAK ÖZETLERİ**	**9**
3.	**MATERYAL VE METOT**	**17**
3.1.	Tarihi Yapıların Sınıflandırılması	17
3.1.1.	Malzemelerine Göre Sınıflandırma	17
3.1.2.	Taşıyıcı Sistemlerine Göre Sınıflandırma	18
3.1.3.	Kullanım Amaçlarına Göre Sınıflandırma	18
3.1.3.1.	Sağlık, Sosyal ve Kültürel Yapılar	18
3.1.3.2.	Eğitim Yapıları	19
3.1.3.3.	Ulaştırma Yapıları	19
3.1.3.4.	Dini Yapılar	20
3.1.3.5.	Ticaret Yapıları	20
3.1.3.6.	İdari Yapılar	21
3.1.3.7.	Savunma Yapıları	21
3.1.3.8.	Sivil Yapılar	22
3.1.3.9.	Özel Yapılar	22
3.2.	Tarihi Yapıları Oluşturan Elemanlar	23
3.2.1.	Temel Sistemleri	23
3.2.2.	Duvarlar	23
3.2.3.	Döşeme Sistemleri	25
3.2.4.	Sütunlar ve Ayaklar	26

3.2.5. Kemerler ve Tonozlar……..…….……..……..….. 26
3.2.6. Kubbeler…….…….…….... 28
3.3. Tarihi Yapılarda Kullanılan Yapı Malzemeleri……..…….. 29
3.3.1. Doğal Taş…….. 30
3.3.2. Ahşap…….……..…….. 31
3.3.3. Tuğla…….…..…... 31
3.3.4. Kerpiç……. 32
3.3.5. Harç…… 32
3.3.5.1. Kireç Harcı……. 32
3.3.5.2. Horasan Harcı…… 33
3.4. Tarihi Yapıların Modelleme Teknikleri ve İdealleştirmeler……. 33
3.4.1. Yığma Yapılarda Kullanılan Modelleme Teknikleri……. 34
3.4.1.1. Detaylı Mikro Modelleme……. 34
3.4.1.2. Basitleştirilmiş Mikro Modelleme…… 35
3.4.1.3. Makro Modelleme……. 36
3.4.2. Tarihi Yapı Modelinin İdealleştirilmesi……. 37
3.4.2.1. Geometrinin İdealleştirilmesi……. 37
3.4.2.2. Gerilme-Şekil Değiştirme Diyagramlarının İdealleştirilmesi……. 37
3.4.2.3. Farklı Yapı Malzemelerinin Homojenize Edilmesi…….. 38
3.5. Yedikardeş Burcunun Özellikleri ve Malzemenin Homojenleştirilmesi…… 39
4. BULGULAR VE TARTIŞMA……. **45**
4.1. Yedikardeş Burcunun Konumunun Depremselliği…….. 45
4.2. Yedikardeş Burcunun Sonlu Eleman Modeli……..….. 47
4.3. Yedikardeş Burcunun Yapısal Analizleri……..… 52
5. SONUÇ VE ÖNERİLER……. 61
6. KAYNAKLAR…….. 63
ÖZGEÇMİŞ……. 69

ÖZET

TARİHİ YAPILARIN YAPISAL ANALİZİ: DİYARBAKIR SURLARI ÖRNEĞİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Rojbin İZGİ

DİCLE ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİGİ YAPI ANABİLİM DALI

2020

Tarihi yapılar geçmişten günümüze aktarılan bulundukları coğrafyaya ait sosyolojik, ekonomik ve kültürel öğeler barındıran yapılardır. Tarihi yapılarda zamanla oluşan deformasyonlar yapıların stabilitesini korumasında büyük bir engel oluşturmaktadır. İklim şartları, doğal afetler, hatalı yapılan onarımlar gibi nedenler yapıların orijinalliğinin bozulmasına veya yok olmasına sebep olabilmektedir.

Günümüzde tarihi yapıların korunması, meydana gelen deformasyonların onarılması ve geleceğe güvenle aktarılmasını amaçlayan birçok çalışma mevcuttur. Bu doğrultuda yapılar üzerinde deneysel ve nümerik çalışmalar yapılarak yapıların dinamik davranışları incelenmiş, zayıf yönlerinin güçlendirilmesi amaçlanmıştır. Bununla birlikte tarihi yapı davranışlarının analizi önemli zorluklardan biri olmaya devam etmektedir. Tarihi yapıların büyük bir kısmı yığma yapı şeklinde inşa edilmiştir. Bu yapılarda farklı mekanik özelliklere sahip yapı malzemelerinin bir arada kullanılması yapının nümerik analizini zorlaştırmaktadır.

Bu çalışmada Diyarbakır'ın en önemli kültürel mirası Diyarbakır Surlarının en büyük burçlarından biri olan Yedikardeş Burcu (41 nolu burç) incelenmiştir. Yığma yapı (bazalt taşı) şeklinde inşa edilmiş olan burcun duvarı, dış ve iç duvarlar ile bu duvarların arasına harç ve moloz bazalt parçalarının yerleştirilmesi şeklinde inşa edilmiştir. Burç, sonlu elemanlar metoduyla üç farklı biçimde modellenmiştir. Yapı modellerinin statik ve dinamik analizleri yapılmıştır. Modellerin spektral analiz sonucu deprem performansları karşılaştırılmıştır. Yapılan analiz sonuçlarına göre yapının sınırlı hasar performans seviyesinde olduğu değerlendirilmiştir. Sonraki çalışmalarda taş ve harcın ayrı modellendiği mikro modelleme yönteminin kullanılması amaçlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Tarihi yapılar, Diyarbakır Surları, Üç Boyutlu Sonlu Elemanlar, Spektrum Analizi

ABSTRACT

STRUCTURAL ANALYSIS OF HISTORICAL STRUCTURES: A CASE STUDY ON THE DİYARBAKIR CITY WALLS

MSc Thesis

Rojbin İZGİ

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DICLE UNIVERSITY

2020

Historical structures are structures that contain sociological economic cultural elements of the geography in which they are transferred from the past to the present. Deformations in historical buildings over time constitute a major obstacle to maintaining the stability of buildings. Causes such as climate conditions, natural disasters, human destruction, faulty repairs may lead to the deterioration of the authenticity or even destruction of the buildings.

Today, there are many studies on the preservation of historical structures, repair of the deformations occurred and transfer them to future safely. In these studies, it's aimed to the experimental and numerical analysis of the structures were conducted to examine the dynamic behavior of the structures and to strengthen their weaknesses. However, the analysis of historical building behavior remains one of the major challenges in this field. Most of the historical buildings were built in the form of masonry construction. The use of materials with different mechanical properties in these structures makes it difficult to analyze the structure numerically.

In this study, Yedikardeş bastion (bastion 41) one of the largest bastions of Diyarbakir Walls, the most important cultural heritage of Diyarbakir, was examined. The wall of the bastion, which built as masonry, was built by placing mortar and rubble basalts between the outer and inner walls and between these walls. The bastion is modelled in three different ways by finite element method. Static and dynamic analyses of construction models were performed. Seismic performances of models were compared as a result of spectral analysis. Accordingly, performance level of the structure was evaluated as limited damage. In the following studies, it is aimed to use the micro modeling method where the stone and mortar are modeled separately.

Keywords: Historical Buildings, Diyarbakır City Walls, Three-Dimensional Finite Element Method, Spectrum Analysis

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge No		Sayfa
Çizelge 3.1.	Duvardaki gerilme düzeyine bağlı olarak kullanılacak malzemenin minimum basınç dayanımı	29
Çizelge 3.2.	Doğal taşların ortalama fiziksel özellikleri	31
Çizelge 3.3.	Tuğla elemanlarının ortalama mekanik özellikleri	31
Çizelge 3.4.	Malzeme özellikleri	43
Çizelge 3.5.	Yığma taşıyıcı duvarların karakteristik basınç dayanımları	43
Çizelge 4.1.	Model 1, Model 2, Model 3'de oluşan maksimum ve minimum asal gerilmeler	55
Çizelge 4.2.	Spektral analiz sonucu Model 1, Model 2,Model 3'de oluşan maksimum gerilme ve şekil değiştirmeler	60

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil No		Sayfa
Şekil 1.1.	Diyarbakır surlarının güneybatı görünüşü	2
Şekil 1.2.	Diyarbakır şehir merkezini çevreleyen surlar	2
Şekil 1.3.	Yedikardeş burcunun gecekondulaşmanın başlamadan önceki hali	4
Şekil 1.4.	Yedikardeş burcu güney cephesinden kesitler	5
Şekil 1.5.	Yedikardeş burcu duvarlarında mevsimsel harç kayıpları ve deformasyonlar	7
Şekil 3.1.	Mor Gabriel Kilisesi, Midyat	17
Şekil 3.2.	Safranbolu evleri, Karabük	17
Şekil 3.3.	Cumalıkızık Köyü, Bursa	18
Şekil 3.4.	Çatalhöyük, Konya	18
Şekil 3.5.	Yıldırım Darüşşifası, Bursa	18
Şekil 3.6.	Roma Tiyatrosu, Libya	18
Şekil 3.7.	Kasımiye Medresesi, Mardin	19
Şekil 3.8.	Doğa Tarihi Müzesi, Viyana	19
Şekil 3.9.	Malabadi Köprüsü, Diyarbakır	19
Şekil 3.10.	Karaağaç Tren Garı, Edirne	19
Şekil 3.11.	Divriği Ulu Camii, Sivas	20
Şekil 3.12.	Barselona Katedrali, İspanya	20
Şekil 3.13.	Hasan Paşa Hanı, Diyarbakır	20
Şekil 3.14.	Selçuklu Kervansarayı, Kars	20
Şekil 3.15.	Blenheim Sarayı, İngiltere	21
Şekil 3.16.	Montpellier Adalet Sarayı, Fransa	21
Şekil 3.17.	Rochester Kalesi, İngiltere	21
Şekil 3.18.	Carcassonne Surları, Fransa	21
Şekil 3.19.	Ihlamur Kasrı, İstanbul	22
Şekil 3.20.	Sarıkamış Katerina Köşkü, Kars	22
Şekil 3.21.	Üç Kümbetler, Erzurum	22
Şekil 3.22.	Torumtay Türbesi, Amasya	22
Şekil 3.23.	Duvar örnekleri	24
Şekil 3.24.	Kagir duvar çeşitleri	25
Şekil 3.25.	Zeus Tapınağı, Yunanistan	26

Şekil 3.26. Aziz Sofia Kilisesi, Makedonya 26
Şekil 3.27. Kemeri oluşturan bölümler 27
Şekil 3.28. Tonoz örnekleri 28
Şekil 3.29. Lichfield Katedrali, İngiltere 28
Şekil 3.30. Toledo Katedrali, İspanya 28
Şekil 3.31. Selimiye Cami, Edirne 29
Şekil 3.32. Burgos Katedrali, İspanya 29
Şekil 3.33. Doğal taş örnekleri 30
Şekil 3.34. Örnek yığma yapı elemanı 34
Şekil 3.35. Detaylı mikro modelleme tekniği 35
Şekil 3.36. Basitleştirilmiş mikro modelleme tekniği 36
Şekil 3.37. Makro modelleme tekniği 36
Şekil 3.38. Yığma yapılarda malzemenin homojenleştirilmesi için kullanılan birim hücre yöntemi 38
Şekil 3.39. Yedikardeş Burcu Google Earth görüntüleri 41
Şekil 3.40. Yedikardeş Burcunun zemin kat planı 42
Şekil 4.1. Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması 46
Şekil 4.2. Yedikardeş Burcu yatay elastik tasarım spektrumu 46
Şekil 4.3 Yedikardeş Burcu düşey elastik tasarım spektrumu 47
Şekil 4.4. Yedikardeş Burcu için yapılan modellemeler 49
Şekil 4.5. Yedikardeş Burcunun sonlu eleman modelleri 51
Şekil 4.6. Üç boyutlu katı eleman modeli 52
Şekil 4.7. Model 1'de oluşan maksimum ve minimum asal gerilmeler 53
Şekil 4.8. Model 2'de oluşan maksimum ve minimum asal gerilmeler 54
Şekil 4.9. Model 3'de oluşan maksimum ve minimum asal gerilmeler 55
Şekil 4.10. Model 3'ün frekans değerleri ve mod şekilleri 56
Şekil 4.11. Spektral Analiz sonucu Model 1 de oluşan gerilme ve şekil değiştirmeler 57
Şekil 4.12. Spektral Analiz sonucu model 2 de oluşan gerilme ve şekil değiştirmeler 58
Şekil 4.13. Spektral Analiz sonucu model 3 de oluşan gerilme ve şekil değiştirmeler 59

KISALTMA VE SİMGELER

AFAD : Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı

$CaCO_3$: Kalsiyum karbonat

CO_2 : Karbondioksit

CaO : Kalsiyum oksit

$Ca(OH)_2$: Kalsiyum hidroksit

E : Homojenleştirilmiş malzemenin elastisite modülü

E_m : Harcın elastisite modülü

E_u : Taş veya tuğlanın elastisite modülü

f_b : Taş veya tuğlanın basınç mukavemeti

f_m : Harcın basınç mukavemeti

TBDY : Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği

t_m : Harç kalınlığı

t_u : Taş veya tuğla yüksekliği

PGA : En büyük yer ivmesi

PGV : En büyük yer hızı

S_1 : 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı

$S_{ae}(T)$: Yatay elastik tasarım spektral ivmesi

$S_{aeD}(T)$: : Düşey elastik tasarım spektral ivmesi

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

S_S : Kısa periyot bölgesi için harita spektral ivme katsayısı

UNESCO : Birleşmiş Milletler Eğitim Bilim ve Kültür Örgütü

1. GİRİŞ

Tarihi yapılar geçmişten günümüze insanlığın ortak değerlerini oluşturan, taşıdıkları anlam ve değerleri bakımından önem arz eden yapılardır. Tarihi yapılar, inşa edildikleri dönemin tarihi, dönemin toplumunun sosyal ve ekonomik özellikleri gibi unsurları günümüze taşımalarıyla tarihi bir belge niteliğindedir. Bu yapıların özgün kimlikleri korunmalı, eğer gerekliyse doğru onarım yöntemleri kullanılarak varsa hasar gören dokular orijinaline uygun olarak onarılmalı ve bozulmadan geleceğe aktarılmalıdır.

Diyarbakır, M.Ö. 3000'li yıllardan günümüze kadar uzanan, farklı kültür ve devletlere ev sahipliği yapmış ve tarihin her döneminde medeniyetlerin ilgi alanı olmuş kadim bir şehirdir. Tarih boyunca "Amidi, Amida, Amid, Diyarbekir, Diyarbakır" gibi isimlerle anılan kent, tarihin her döneminde önemini korumuş olup, Anadolu ile İran, Irak ve Suriye arasında bir köprü görevi görmüştür. Oldukça zengin tarihi geçmişi olan Diyarbakır kentinde yaşayan toplumlar kente birçok tarihi eser bırakmışlardır. Günümüze kadar ulaşan ve dünyaca ünlü olan Diyarbakır Surları kuşkusuz bu eserlerin içinde en kıymetli olanıdır.

1.1. Diyarbakır Surlarının Tarihçesi

Dünyada ve Türkiye'de varlıklarını sürdüren tarihi yapılardan olan kale ve surlar genellikle savunma amaçlı inşa edilen yapılardır. Dünyada uzunluk bakımından Çin Seddinden sonra ikinci sırada, tarihi bakımından en eski yapılış tarihiyle birinci sırada gelen Diyarbakır Surlarının bugünkü haline IV. yüzyılda ulaştığı bilinmektedir. Bu kapsamda Güneydoğunun önemli tarihi kentlerinden olan Diyarbakır'da inşa edilen ve kentin en önemli simgelerinden olan Diyarbakır kalesi ve surlarının modellenmesi bu tarihi yapıların geleceğe güvenle aktarılması açısından oldukça önemlidir (Şekil 1.1).

Tarihi eski Diyarbakır şehir merkezini çevreleyen, kuzeyinde Dicle güneyinde Benu Sen vadisi bulunması sebebiyle biçimini bu topografyadan alan surlar, kente egemen olan onlarca medeniyetin izlerini taşımakta olup, zaman içerisinde şekillenerek çok katmanlı ve çok kültürlü bir oluşumla günümüze kadar ulaşmıştır. Bölgede hüküm sürmüş medeniyetlerin, ve dönemin ihtiyaçları doğrultusunda şekillenerek özgünlüğünü ve tarihsel varlığını Diyarbakır Kalesi, Surları ve Burçları sürdürmektedir. Türkiye ve Dünya tarihi için önemli bir evrensel miras özelliğini korumaktadır.



Şekil 1.1. Diyarbakır surlarının güneybatı görünüşü (Nabikoğlu ve Dalkılıç 2013)

2015 yılında UNESCO (Birleşmiş Milletler Eğitim, Bilim ve Kültür Örgütü) Dünya Kültür Mirası listesine alınan Diyarbakır Surları, İç Kale ve Dış Kale olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır. Tamamına yakın kısmı günümüze ulaşan Diyarbakır Kalesi ve Surları, zamana meydan okuyarak yüzlerce yıldır ayakta durmaktadır (Şekil 1.2). Diyarbakır Surlarında yer alan burçlardan Yedi Kardeş, Evli Beden, Keçi, Nur, Melik Şah ve Fındık Burcu, üzerindeki yazıtları ve formlarıyla en görkemli olanlarıdır.



Şekil 1.2. Eski Diyarbakır şehir merkezini çevreleyen surlar (unesco)

1.2. Diyarbakır Surlarının Yapısal Özellikleri

Diyarbakır surların yapım malzemesi kentin yöresel yapı malzemesi olan bazalt taşıdır. Sur duvarlarının ve burçların dış yüzeyleri kesme taş, iç yüzeyler genellikle daha az işlenmiş moloz taştan örülmüştür. Ancak, çok sayıda onarım geçiren surların dış yüzeylerinde farklı işlenmiş taş yüzeyleri görmek mümkündür. Surların çevre uzunluğu yaklaşık 5200 metredir. Sur duvarlarının çevrelediği toplam alan yaklaşık olarak 1.57 km^2'dir. Dış surlar üzerinde 82 adet, İç Kale üzerinde ise 19 adet burç bulunmaktadır. Yapılan incelemeler sonucunda 82 burcun üçünün 1930'lu yılların başında yıktırıldığı, 4 burcun ise zamanla yıkıldığı tespit etmiştir.

Diyarbakır Surları üzerinde olan burçlar genellikle üç veya dört katlı olarak inşa edilmişlerdir. Burçlar dairesel, dörtgen veya çokgen planlıdırlar. Burçların zemin katları depo, üst katları ise askerlerin kaldığı bölümler olarak kullanılmıştır. Üst katlarına, sur içine bakan yüzlerindeki merdivenlerle veya iç kısımlarında bulunan merdivenlerle bağlantı sağlanır. Burçların ve sur duvarlarının yüksekliği yaklaşık olarak 8-22 metre arasında değişir. Günümüzde surların etrafında bulunan toprak dolgu göz önüne alındığında özgün yapıda yüksekliğin daha fazla olduğu söylenebilir. Burçların üst bölümleri tahrip olduğundan, birçok yerde net bir ölçü almak mümkün değildir. Burçların ve sur duvarlarının kalınlığı yaklaşık 1.40-5.00 metre arasında değişmektedir (Nabikoğlu ve Dalkılıç 2013).

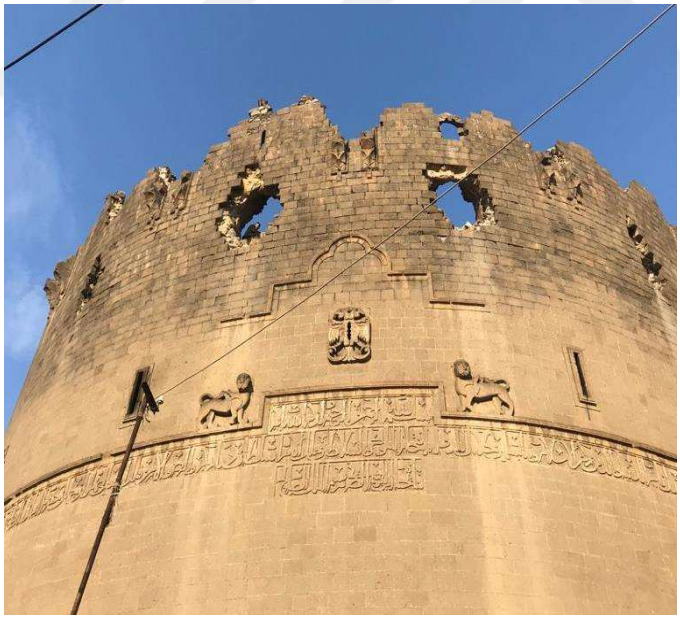
1.3.Yedikardeş Burcunun Tarihçesi

Diyarbakır Belediyesi arşivlerinde yer alan bilgiye göre, surların güneyinde yer alan Yedikardeş Burcu Artuklu Hükümdarı Melik Salih adına 1208 yılında Mimar İbrahimoğlu Yahya tarafından yapılmıştır. Burç üzerinde yer alan çift başlı kartal, kanatlı aslan kabartmaları ve burcu etrafını saran kitabesi ile oldukça görkemli bir görüntü vermektedir. Yedikardeş Burcunun ön yüzünde Besmele-i Şerif 'in yer aldığı bir kitabe bulunmaktadır. Bu kitabenin üzerinde bulunan çift başlı kartal motifi, aslan figürlerini bir anlamda simetrik olarak ikiye bölmüştür.

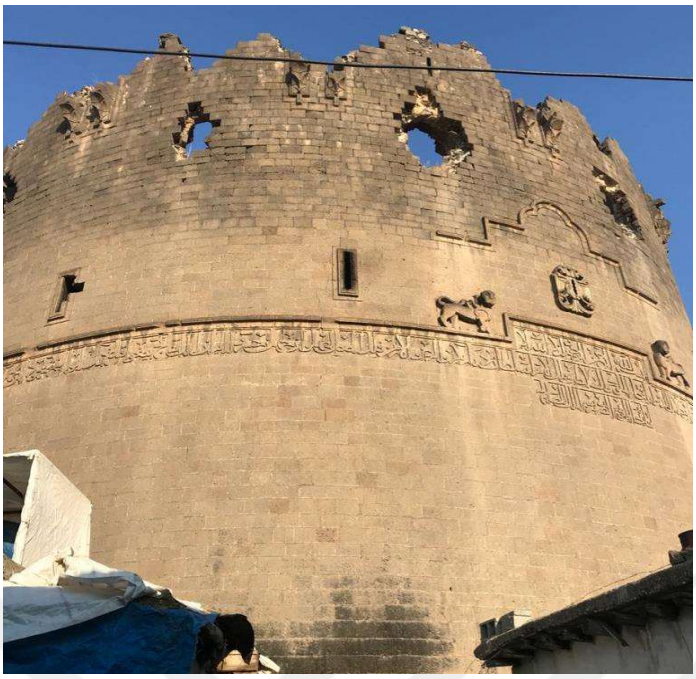
Yıllar içerisinde Diyarbakır kentinin aldığı göçler neticesinde Diyarbakır Surları'nın iç ve dış kısımlarında gecekondulaşma meydana gelmiştir. Aşağıda Yedikardeş Burcu etrafında gecekondulaşmanın oluşmadan önceki durumu ve günümüzdeki durumu gösterilmiştir (Şekil 1.3, Şekil 1.4).



Şekil 1.3. Yedikardeş burcunun gecekondulaşmanın başlamadan önceki hali (anonim)



(a)



(b)

Şekil 1.4. Yedikardeş burcu güney cephesinden görünümler

1.4.Yedikardeş Burcunun Yapısal Özellikleri

Yedikardeş burcu, ince yonu kesme bazalt taş ve klasik tip tuğla kullanılarak inşa edilmiştir. Yapının dış yüzeyinde bazalt taşı, kubbe ve tonozlarda harman tuğlası kullanılmıştır. Yapıda bağlayıcı malzeme olarak söndürülmüş kaymak kireci kullanılmıştır.

Burcun taş işçiliği fazla olup, dairesel planlı burçların içerisinde bu plana sahip en büyük burçtur. Yedi Kardeş Burcunun silindirik iç duvarı yaklaşık 32 cm yüksekliğindeki düzgün taşlarla örülür. Sur içerisine toprak zeminden hafifçe yükseltilmiş zemin kata niş şeklinde içeri çekilmiş geniş bir kemerin altındaki basit bir kapıyla girilir. İçinde üzeri tuğla tonozla örtülü bir salon mevcuttur (Kahveci 2008).

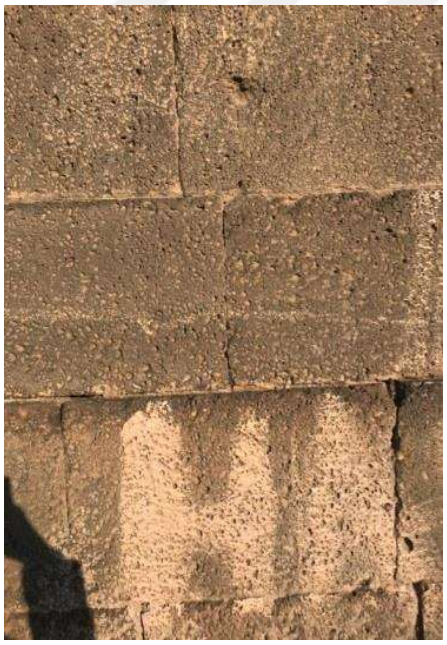
Yedikardeş burcunun zemin katında dışarıya açılan herhangi bir mazgal veya pencere bulunmazken üst kattan dışarıya açılan 7 adet mazgal bulunmaktadır. Burcun Yedikardeş ismi üst katta bulunan bu yedi adet mazgal ve arkasındaki mekanlardan gelmektedir.

Yedikardeş burcu uzun yıllar bakımsız kalmıştır. Bu sebeple yapıda ciddi mevsimsel deformasyonlar meydana gelmiştir. Yapının özellikle üst katında tonozlarda ve duvarlarda yıkılmalar ve kayıplar meydana gelmiştir. Bakımsızlıktan kaynaklı olarak yapının genelinde

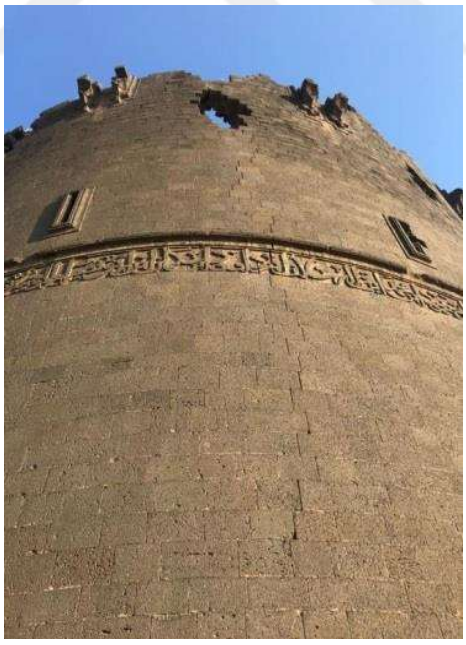
moloz yıkıntıları bulunmaktadır. Mevsimsel etkilerin yanısıra bölgede meydana gelen terör olayları dolayısıyla sur ve burç duvarlarında tahribatlar oluşmuştur. Duvarları oluşturan taşların yöre halkı tarafından sökülüp inşa edilen evlerde kullanılması da yapıların dokularında önemli bozulmalara sebebiyet vermiştir (Şekil 1.5).

2013 yılında hazırlanan Dr. Mimar Mehmet Cebe tarafından çizilerek Diyarbakır Kültür Varlıklarını Koruma Bölge Kurulu'na sunulan raporda, burcun restorasyonuna yönelik önerilerde bulunulmuştur. Bunlar arasında burca sonradan eklenen duvarların kaldırılması, atıkların ve kalıntıların yapıdan uzaklaştırılması, yapının sonradan eklenmiş olan çimento esaslı harçtan arındırılması önerilmiştir. Ayrıca yapıda meydana gelen çatlakların onarılması, dökülen derzlerin ve taşların orijinaline uygun olarak yenilenmesi gerektiği belirtilmiştir. Burcun üst kısmında bulunan duvarların dökülmüş kısımlarının o şekilde korunmasına karar verilmiştir.

Geçmişte Yedikardeş Burcunun yıkılma tehlikesi bulunan bölgeleri geçici olarak onarımlardan geçmiştir. Ancak yapılan bu müdahaleler yapının korunmasına kısmi olarak katkı sunmuş olsa da çimento esaslı harç kullanılması ve kullanılan bazalt taş bloklarının özensiz ve yer yer uyumsuz olması nedeni ile yapının özgün kimliğine aykırı bulunmaktadır (Cebe 2013).



(a)



(b)



(c) (d)

Şekil 1.5. Burç duvarlarında harç kayıpları ve deformasyonlar

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Geçmişten günümüze varlıklarını sürdüren tarihi yapılarla ilgili ulusal ve uluslararası birçok çalışma yapılmıştır. Tezin bu bölümünde bu çalışmalar özetlenmiştir.

Toker ve Günay (2004), yaptıkları çalışmada kendileri tarafından geliştirilen genel bir kemerli taş köprü örneği üzerinde çeşitli yüklemeler altında matematiksel modellemeler yapılmıştır. Bu modelleme ile yığma yapıların korunması ve restorasyon yöntemlerinin belirlenmesi amacıyla matematiksel modelleme yapılabileceği, modelleme sonucu yapılan analizler sonucunda yapının zayıf bölgelerinin belirlenebileceği, yapılarda yükleme altında meydana gelebilecek çatlakların yerlerinin belirlenebileceği sonuçlarına ulaşılmıştır.

Bayraktar (2005), yaptığı çalışmasında tarihi yapıları, tarihi yapıları oluşturan elemanları, malzemeleri tanımlamış ve depreme karşı güçlendirilmeleri hakkında bilgi vermiştir. Çalışmasında farklı tipteki tarihi yapıların her biri için yapının özelliklerine uygun güçlendirme tekniklerini değerlendirmiştir. Güçlendirme yapılırken esas alınması gereken hususların neler olduğu konusunda bilgiler vermiştir. Çalışmada bahsedilen güçlendirme metodunun hangi yapılara uygulandığı da çalışma içerisinde verilen bilgiler arasındadır.

Ural (2005), yaptığı çalışmada önemli tarihi miraslardan olan tarihi köprüler ile ilgili genel bilgiler verdikten sonra analizlerde kullanmak amacıyla Trabzon'un Maçka ilçesi yakınlarında bulunan Coşandere (Kınalı) Köprüsü'nü Sap2000 programını kullanarak bilgisayar ortamında üçboyutlu olarak modellemiştir. Yapılan statik analizler sonucu köprüde oluşan gerilme ve şekil değiştirmeler incelenmiş, modele 1940-Elcentro depreminin ivme kayıtları etki ettirilerek modelin lineer elastik deprem davranışı değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda köprüde oluşan maksimum gerilmelerin yerleri belirlenmiş, uygulanan deprem kayıtları sonrası yapıda oluşabilecek hasarların köprünün hangi bölgesinde olabileceği değerlendirilmiştir.

Şen (2006), yaptığı ve yığma yapıların modelleme ve analiz metotlarını incelediği yüksek lisans tez çalışması kapsamında 105 yıllık tarihi bir bina olan Hemdat Israil Sinagogu'nu üç boyutlu olarak modellemiştir. Yapının üç boyutlu sonlu eleman modeli tasarlanmış ve Sap 2000 programı kullanılarak lineer elastik analizi yapılmıştır. Yapının yatay ve düşey deprem yükleri altındaki değişimi de çalışma kapsamında incelenmiştir. Modellenen yapıyı oluşturan

elemanların malzeme dayanımları da yine çalışma içerisinde değerlendirilmiştir. Sonuç olarak modellenen Sinagogun sismik etkilere karşı koyamayacağı, sismik bir etki olması halinde dolgu duvarın ve kubbenin çökmesinin muhtemel olduğu ifade edilmiş olup yapının inşasından bu yana büyük bir sismik etki ile karşılaşmadığı notu düşülmüştür. Sismik etki olmadan bile yapıda bulunan çatlaklar sebebiyle yapının halihazırda tehlike altında olduğu ifade edilmiştir. Düzlem dışı hasarın önlenebilmesi için duvarlar arasındaki bağlantıların kontrol edilmesi, gerekirse birleşim noktalarının onarılmasının yanısıra, çatı yapımında kullanılan ahşap malzemelerin çürümüş olduğu bu sebebiyle yenilenmesi önerilmektedir. Çalışma sonucunda tarihi bir yığma yapının analizi için izlenen yolun etkinliği kanıtlanmıştır. Ancak Sinagogun sismik direncinin güvenilir bir şekilde değerlendirilmesi için malzeme üzerinde daha detaylı incelenmesi gerektiği ifade edilmiştir.

Bayraktar ve ark (2007), yaptıkları çalışmada Trabzon' nun Akçaabat ilçesinde bulunan tarihi bir köprü olan Şinik köprüsünün deprem davranışına sonlu eleman modeli iyileştirmesinin etkisini araştırmışlardır. Tarihi köprüyü sonlu elemanlar metoduyla üç boyutlu olarak modellemiş, modal analiz yaparak mod şekillerini frekanslarını hesaplamışlardır, ardından Operasyonel Modal Analiz yöntemi kullanarak dinamik karakteristiklerini deneysel olarak belirlemişlerdir. Deneysel ve teorik olarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış, bunun sonucunda köprünün sonlu eleman modeli iyileştirilmiş ve köprü mevcut duruma en yakın şekliyle modellenmiştir. 1992 yılında gerçekleşen Erzincan depremi modellere etki ettirilerek, köprünün iyileştirilmiş ve iyileştirmeden önceki halinin analiz sonuçları yerdeğiştirmeler ve asal gerilmeler açısından karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda deneysel ve geometrik karakteristikler arasında farklar oluştuğu görülmüş ve bu farkların model iyileştirilmesiyle azaltıldığı gözlenmiştir. Maksimum yer değiştirme, çekme ve basınç değerlerinin iyileştirilmiş modelde daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

Ural ve Doğangün (2007), yaptıkları çalışmada yığma yapıların modelleme şekillerini açıklamış, basitleştirilmiş mikro modelleme tekniğini kullanarak dört adet yığma yapının modellemesini yaparak yapılar üzerinde lineer, statik, modal ve spektrum analizleri yapmışlardır. Yapılan analizler sonucunda modelleme yapılırken düşey hatıl kullanılan ve bu sayede daha rijit olduğu ifade edilen modelin, modal analize göre; periyotlarının diğer modellere göre daha düşük çıktığı, lineer elastik analize göre; en düşük yatay deplasman değerinin bu modelde oluştuğu, tepki spektrumu analizinde ise yine en az deplasman yapan

modelin bu model olduğu görülmüştür. Elde dilen veriler ışığında düşey hatılların yığma yapıların deprem performansında önemli bir etkisi bulunduğu sonucuna varılmıştır.

Dabanlı (2008), yaptığı tez çalışmasında tarihi yapıların korunması ve gelecek nesillere aktarılması konusuna değinmiş, tarihi bir yapının yapısal incelemesi öncesinde yapılacak çalışmalar değerlendirilmiştir. Yığma yapıların deprem performansı hakkında bilgi verilmiş örnek çalışma olarak da İstanbul'un Fatih semtinde bulunan Hırka-i Şerif Camii incelenmiştir. Camii bilgisayar ortamında üç boyutlu olarak modellenmiş, statik dinamik analizleri yapılmış, yapısal güvenliği ve deprem performansı değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda yapıda oluşan gerilmeler incelenmiş yapıya uygulanabilecek güçlendirmeler üzerinde durulmuştur.

Sevim ve ark. (2011), yaptıkları çalışmada Karadeniz bölgesinde bulunan Osmanlı ve Şenyuva kemer köprülerini üç boyutlu sonlu eleman metoduyla Ansys programı ile modellemişlerdir. Nümerik modelleme yoluyla köprülerin modal analizlerini yapılmış, deprem davranışları incelenmiş, sayısal model ile operasyonel modal analiz metoduyla bulunan frekans değerleri karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda köprülerden elde edilen gerilme değerlerinin kabul edilebilir olduğu ifade edilmekle birlikte, deneysel titreşim analizi ve program ile yapılan analizlerin uyumluluğuna dikkat çekilmiş, bu tür analizlerin tarihi köprülerin analizinde beraber kullanılması önerilmiştir.

Jafarov ve ark. (2012), yaptıkları çalışmada yatay ve düşey yükler etkisi altındaki yığma duvarlara doğrusal olmayan sonlu elemanlar yöntemi ile mikro modelleme tekniği uygulanmıştır. Lineer-Elastik analizlerde kırılma kriteri olarak Drucker-Prager modeli kullanılmış, kriterin ihtiyaç duyduğu malzeme parametreleri değerlendirmeye alınmıştır. Çalışma sonucunda baz alınan kriter malzeme sabitleri için basınç dayanımı temel alınarak birtakım bağıntılar önerilmiş bu çözüm yöntemiyle elde edilen sonuçların literatürde var olan deneysel verilere yakın olduğu görülmüştür. Modelde oluşan çatlak doğrultularının ve yayılışlarının da deneysel olarak elde edilen değerleri destekler nitelikte olduğu ifade edilmiştir. Ayrıca yatay ve düşey yükler altındaki yığma duvarların sayısal model ile deneysel çalışmalar karşılaştırıldığında taşıma güçlerinin doğru olarak belirlendiği sonucuna ulaşılmıştır.

Onat ve Sayın (2015), yaptıkları çalışmada, Tunceli ilinin Çemişgezek ilçesindeki Tağar köprüsünü ANSYS programını kullanarak üç boyutlu olacak şekilde sonlu eleman

modellemesini yapmışlardır. Erzincan depreminin ivme kayıtları kullanılarak doğrusal ve doğrusal olmayan sismik analizleri yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Analiz sonuçları incelendiğinde; doğrusal ve doğrusal olmayan çözümlerden elde edilen yer değiştirme-zaman grafikleri ilk hasarın meydana geldiği ana kadar frekans ve genlik açısından aynı değerlere sahip olduğu görülmüş ayrıca köprüde hasarlar oluştuğu gözlenmiştir. Oluşan bu hasarların köprünün mevcut performansını tehlikeye sokacak büyüklükte olmadığı sonucuna varılmıştır.

Tetik (2015), yaptığı tez çalışmasında, yığma yapıların ne oldukları ve yapısal özellikleriyle ilgili bilgiler vermiş, yığma yapıların modelleme teknikleri ve analiz yöntemlerini açıklamıştır. Çalışmasında örnek bir tarihi yapı modeli olarak İstanbul Tarihi Yarımada'sında bulunan Şeyh Süleyman Mescidi incelenmiştir. Yapının bilgisayar ortamında üçboyutlu sonlu eleman modeli oluşturulmuş, yapının yükler altında statik dinamik analizleri yapılmış, yapının deprem performansı incelenmiştir. Çalışma sonucunda yapının mevcut durumu incelenmiş yapıya uygulanabilecek güçlendirme önerilerinde bulunulmuştur.

Aslan (2016), yaptığı tez çalışmasında Süleymaniye Camii'ni üç boyutlu olarak modellemiş, farklı karakterdeki depremlerin etkisi altındaki davranışını incelenmiş ve dünyanın farklı yerlerinde meydana gelen deprem kayıtları yapıya doğrudan etki ettirilip yapıda meydana gelen değişimler incelenmiştir. Yapıda en çok hasar meydana gelen bölgeler tespit edilmiş, bu değerlendirmeler sonucunda yapının düşey yükleri güvenli olarak taşıdığı ve yapının depremlere karşı gösterdiği performansın çok iyi olduğu sonucuna varılmıştır.

Aksoy ve Aydoğmuş (2017), yaptıkları çalışmada Antalya ili Manavgat ilçesinde bulunan Kargı Han'ın rölöve çalışmalarını tamamlamış, SAP2000 programı ile yapısal analizi gerçekleştirilmiştir. Yapının deprem etkisi altındaki davranışını inceleyen çalışma sonucunda; Kargı Han'ın taşıyıcı elemanlarında Türk Deprem Yönetmeliği'nde yığma yapılar için önerilen basınç ve kayma gerilmesi değerlerinin aşıldığı gözlenmiş, derz yenilenmesinin yapılması ve zayıf kesitlerin iyileştirilmesi gibi önerilerde bulunulmuştur.

Aydın ve Taylan (2017) , yaptıkları çalışmada Isparta'da bulunan Darıderesi-II Göleti'ni ANSYS programı kullanarak üç boyutlu olarak modellemiş, çeşitli deprem yükleri altındaki davranışını incelemişlerdir. Göletin deprem etkisi altındaki davranışının kabul edilebilir sınırlar içinde olduğu sonucuna varılmıştır.

Çoruhlu (2017) , yaptığı tez çalışmasında Doğu Karadeniz'de bulunan tarihi 30 adet taş kemer köprüyü sonlu elemanlar yöntemini kullanarak üç boyutlu olarak modellemiştir. Köprüler üzerinde modal ve dinamik analizler yaparak, doğal titreşim frekansları, mod şekilleri en büyük yer değiştirmeler ile çekme ve basınç gerilmelerini elde etmiştir. Elde ettiği bu değerlerin hesabı için bir formül ortaya koymuştur. Bulunan bu formüllerin; köprülerin frekans, gerilme ve yer değiştirme değerlerinin tahmininde gerçeğe oldukça yakın sonuçlar verdiğini tespit etmiştir.

Antep (**2018)**, yaptığı çalışmasında Bitlis ilinin Ahlat ilçesindeki tarihi yapıların mevcut durumları hakkında bilgi vermiş, yapılarda meydana gelmiş hasarları ve nedenlerini incelemiştir. Seçilen birkaç tarihi eser sonlu elemanlar yöntemiyle modellenmiş ve deprem analizleri yapılarak yapılarda oluşan gerilme değerlerinin yapıların mevcut durumuyla uyuştuğu görülmüştür.

Erkul (2018), yaptığı tez çalışmasında geleneksel Bayburt evi olarak değerlendirilen, Bayburt ili ile Aydıntepe İlçesi Sorkunlu Köyü sınırları içerisinde olan evi incelemiştir. Yapıyı StatiCAD-Yığma programı ile modellemiş ve yapının hem 2007 Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmeliği ile hem de 2013 yılında yürürlüğe giren Riskli Bina Tespit Yönetmeliği çerçevesinde performans analizini yapmıştır. Çalışmanın sonucunda Riskli Bina Tespit Yönetmeliğine göre Riskli Bina olarak tespit edilmiştir. 2007 Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmeliğe göre binanın performans analizi sonucunda ise Göçme Durumu olduğu tespit edilmiştir. Binanın yeterli dayanma sahip olmadığının anlaşılmasından dolayı yapıya güçlendirme önerilerinde bulunulmuştur.

Güner (2018), yaptığı tez çalışmasında tarihi yapıların dış yükler altındaki davranışlarını deneysel ve nümerik yöntemlerle incelemiştir. Çalışma için laboratuvar ortamında ardışık kemerli tonoz yığma sistem inşa edilmiş, sistem üzerine yatay yükleme yapılarak yapının davranışı incelenmiştir. Laboratuvar ortamında inşa edilen bu yapı bilgisayar ortamında üç boyutlu olarak modellenmiş ve yapılan analizler ile elde edilen gerilme davranışları incelenmiş, deneysel ve bilgisayar ortamında elde edilen bu veriler karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda yapılan karşılaştırmalar sonuçların birbirine büyük oranda yakın olduğunu göstermiştir. Yüklemeler sonucu deneysel ve nümerik modelde oluşan çatlak ve ayrılma bölgeleri karşılaştırıldığında benzerliğin çok büyük olduğu görülmüştür. Modellerde oluşan yer

değiştirme değerlerinin de birbirine yakın değerler olduğu ifade edilmiştir. Dolayısıyla nümerik modelin deneysel modeli başarılı bir şekilde temsil ettiği değerlendirilmesinde bulunuluştur.

Özdemir (2018), yaptığı tez çalışmasında tarihi yapıların tanımını yapmış, tarihi yapıyı oluşturan elemanları, tarihi yapılarda kullanılan malzemeler, malzeme özelliklerinin belirlenme yöntemleri, tarihi yapıların modelleme yöntemleri ve olası bir deprem sonrasında meydana gelebilecek hasarları açıklamış, örnek yapı olarak Antalya ilinde bulunan Antik Kent Tiyatrosunu incelemiştir. Yapıyı üç boyutlu sonlu elemanlar metodunu kullanarak modellemiş, yaptığı dinamik analizler sonrası yapıda oluşan gerilme ve şekil değiştirmelerini, modal analizler sonucu mod şekillerini, spektrum analizleri sonrası ise yapının deprem davranışını incelemiştir. Çalışma sonucunda yapının düşey yükler altında dayanımının yeterli olduğu değerlendirilmiştir, ancak yapıyı oluşturan duvarların düzlem dışı rijitliğinin yetersiz olması sebebiyle deprem esnasında duvarların devrilme yönünde eğilim göstereceği ifade edilmiştir. Bu nedenle düzlem dışı hareketin önlenmesi için tedbirler alınması önerilmiştir.

Uray (2018), yaptığı çalışmada, Bursa ilinde bulunan İznik Yeşil Camii'nin yapısal özellikleri yapılan deneyler ile belirlenmiş, zemin özelliklerinin belirlenmesi amacıyla zemin etüt çalışması yapılmıştır. Yapının bilgisayar ortamında sonlu eleman modeli oluşturularak yapıda düşey yüklerin etkisi altında statik dinamik ve spektrum analizleri yapılarak yapının hasarlı gören bölgeleri incelenmiştir. Çalışma sonucunda bilgisayar ortamında oluşturulan model ile yapının güncel durumunda oluşan deformasyonların örtüştüğü gözlenmiştir. Deprem yükleri altındaki yer değiştirmeler incelenmiş yapıda yapılabilecek güçlendirme önerileri verilmiştir.

Gönül ve Sakcalı (2019), yaptıkları çalışmada Bursa ilinde bulunan bir tarihi köprü olan Irgandı Köprüsü'nü incelemişlerdir. Köprünün tarihi ile ilgili bilgiler verilmiş, yapısal özellikleri aktarılmıştır. Köprünün bilgisayar ortamında sonlu eleman modeli oluşturulmuştur. Ansys programı kullanılarak yapılan bu model üzerinde modal ve dinamik analizler yapılmış, analiz sonrası köprüde meydana gelen yer değiştirmeler ve köprünün gerilme dağılımları incelenmiştir. Oluşturulan sonlu eleman modeline ölçeklendirilmiş 7 deprem kaydı uygulanmıştır ve elde edilen 20 adet frekans değerinin için değişim aralığı belirtilmiştir. Çalışma sonucunda model üzerinde en büyük asal gerilmelerin mesnet bölgelerinde meydana geldiği ve en büyük yer değiştirmenin ise derenin akış doğrultusunda meydana geldiği ifade edilmiştir.

Kocaman ve ark. (2019), yaptıkları çalışmada Erzurum ilinde bulunan Lala Mustafa Paşa Camii'nin sonlu eleman modeli oluşturularak teorik modal analizini ve Operasyonal Modal Analiz yöntemiyle de deneysel modal analizini gerçekleştirilmişlerdir. Yapının malzeme özellikleri deneysel ve teorik olarak belirlenmiş, 1992 yılında gerçekleşen Erzincan depremi ivme kayıtları kullanılarak dinamik analizleri yapılmıştır. Çalışma sonucunda kullanılan malzeme modelinin tarihi yapıların modellenmesinde kullanılabileceği ve nu tür yapılarda oluşabilecek göçme davranışlarını ortaya çıkarabileceği gözlemlenmiştir. Deprem analizi sonucunda caminin hangi bölgelerinde ne tür hasarlar meydana geldiği tespit edilmiş, yapının benzer bir deprem etkisi altında göçmeye uğrayabileceği yönünde fikir beyan edilmiştir.

Özmen (2019), yaptığı tez çalışmasında farklı karakteristikteki yakın ve uzak fay hareketlerine karşı tarihi kemer köprülerin dinamik tepkilerini ve tarihi köprülerde oluşan deprem hasarlarını incelemiştir. Çalışmasında uygulama olarak Diyarbakır ilinin Ergani ilçesindeki Tarihi kalender köprüsünü seçmiştir. Köprüyü modellerken üç boyutlu sonlu elemanlar metodunu kullanmıştır. Köprü üzerinde zaman tanım alanında analizler yaparak köprüye ait deprem tepkileri belirlenmiştir. Analizlerde dört farklı depreme ait yakın ve uzak-fay güçlü yer hareketi karakteristiklerini temsil eden deprem kayıtları dikkate alınmış, analizler sonucunda köprü açıklığında meydana gelen yer değiştirmeler, zamana bağlı maksimum yer değiştirmeler, maksimum ve minimum asal gerilmeler ve gerilmelerin dağılımı karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda yakın ve uzak fay hareketlerinin seçilen deprem kayıtları için birbirine yakın sonuçlar verdiği ifade edilmiştir.

Yazgan ve Ünay (2019), yayınlanan çalışmalarında tarihi yapıların mimari ve yapısal özelliklerini araştırmışlardır. Bu araştırma kapsamında Bursa ilinde bulunan Sinan Paşa Külliyesi'nin imaret bölümü incelenmiştir. Yapının üç boyutlu modellemesi oluşturulmuş, yapıya eklenen insan kaynaklı müdahalelerin yapının performansına etkileri analizlerle ortaya konmuştur. Çalışma sonunda elde edilen verilere göre külliyenin imaret yapısının sonradan yapılan herhangi bir müdahaleye maruz kalmaması halinde depreme karşı oldukça dayanıklı bir yapı olmasına rağmen, bu müdahalelerden doğan hasarlardan dolayı düşük kuvvetteki bir sismik harekette bile yapıda göçme durumu olması muhtemeldir. Ayrıca elde edilen analiz sonuçları doğrultusunda yapıya güçlendirme önerilerinde de bulunulmuştur.

Yıldızoğlu (2019), yaptığı tez çalışmasında Bayburt ilinde bulunan Bayburt Lisesi'nin yapımında kullanılan malzeme ve konumunun özellikleri ve yapım tekniği hakkında bilgi

vermiş ve yapıda gözlediği mevcut sorunları listelemiştir. Yapının üç boyutlu sonlu eleman modellemesi Sap2000 programı üzerinden oluşturulmuş, dinamik analizleri yapılmış ve gerçek deprem kayıtları etki ettirilerek deprem performansı değerlendirilmiştir. Yapılan analizler sonucu yapının oldukça rijit davrandığı olası bir depremde 2007 deprem yönetmeliğine göre hasar görmeyeceği değerlendirilmiştir. Ancak, 27 Aralık 1939 Erzincan Depremi ile 12 Kasım 1999 Düzce Depremi göz önüne alınarak yapılan zaman tanımlı analizler sonucunda yapıda oluşan gerilmeler incelenmiş ve yapının bu depremlere benzer depremlerde hasar alabileceğini ifade etmiştir. Ayrıca yapının dinamik özelliklerini deneysel yolla belirleme için kullanılan Operasyonel Model Analiz yönteminin de incelenen yapıda uygulanılabileceği analiz sonuçlarına göre güçlendirme önerisinde bulunulabileceği belirtilmiştir.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Tarihi Yapıların Sınıflandırılması

Türkiye'de bulunan tarihi yapılar genellikle yığma yapı olarak inşa edilmiştir. Yığma yapılar; Farsça 'da taş, tuğla, kerpiç malzemeleriyle yapılmış olan yapı anlamına gelen kargir yapılar olarak da adlandırılır. Bu tür yapıların malzemeleri onlara etki eden gerilmeler karşısındaki davranışları göze alındığında basınç mukavemetleri yüksek, buna karşılık çekme mukavemetleri düşüktür. Bu nedenle yapısal tasarımda ve yapının davranışı incelenirken, yapının çekme kuvveti taşımadığı varsayılır.

Tarihi yığma yapılar, çoğunlukla bağlayıcı harç ile yığma birimlerin (taş, tuğla, harç) örülmesiyle donatısız olarak inşa edilmiş yapılardır. Yüksek rijitliğe sahip olan donatısız yığma yapılar, kullanılan malzemeler sebebiyle düşey ve yatay yükler altında gevrek davranış gösterirler (Tetik 2015).

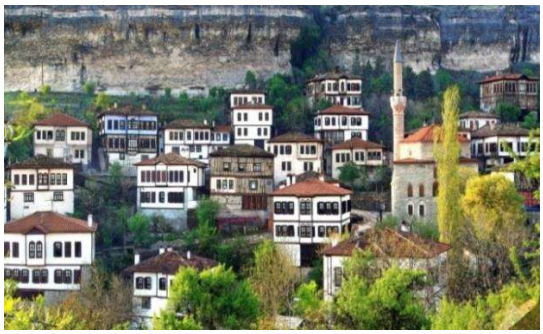
Tarihi yapılar, yapımında kullanılan malzemelere, taşıyıcı sistem elemanlarına ve kullanım amaçlarına göre sınıflandırılabilir (Mahrebel 2006).

3.1.1. Malzemelerine Göre Sınıflandırma

Tarihi yapılar malzemelerine göre tuğla, taş, çelik, ahşap, karma yapılar olarak sınıflandırılabilir. Taş ve ahşap tarihi yapı örnekleri şekilde verilmiştir (Şekil 3.1, Şekil 3.2).



Şekil 3.1. Mor Gabriel Kilisesi, Midyat (kültürportalı)



Şekil 3.2. Safranbolu evleri, Karabük (kültürportalı)

3.1.2. Taşıyıcı Sistemlerine Göre Sınıflandırma

Tarihi yapılarda kullanılan taşıyıcı sistemler, yığma-kargir, ahşap, kerpiç, çelik, karma sistemler olarak sınıflandırılabilir. Yığma ve kerpiç tarihi yapı örnekleri şekilde verilmiştir (Şekil 3.3, Şekil 3.4).



Şekil 3.3. Cumalıkızık Köyü, Bursa (kültürportalı)



Şekil 3.4. Çatalhöyük, Konya (kültürportalı)

3.1.3. Kullanım Amaçlarına Göre Sınıflandırma

Tarihi yapılar kullanım amaçlarına göre, sağlık, sosyal hizmet ve kültürel yapılar, eğitim yapıları, ulaştırma yapıları, dini yapılar, ticaret yapıları, idari yapılar, savunma yapıları, sivil yapılar ve özel yapılar şeklinde sınıflandırılabilir.

3.1.3.1. Sağlık, Sosyal ve Kültürel Yapılar

Hastane, müze, hamam ve oditoryum gibi yapılar bu kapsamda değerlendirilmektedir. Hastane ve tiyatro türündeki tarihi yapı örnekleri şekilde verilmiştir (Şekil 3.5, Şekil 3.6).



Şekil 3.5. Yıldırım Darüşşifası, Bursa (kültürportalı)



Şekil 3.6. Roma Tiyatrosu, Libya (structurae)

3.1.3.2. Eğitim Yapıları

Okul, üniversite, medrese, kütüphane, müze gibi yapılar bu kapsamda değerlendirilmektedir. Medrese ve müze türündeki tarihi yapı örnekleri şekilde verilmiştir (Şekil 3.7, Şekil 3.8).



Şekil 3.7. Kasımiye Medresesi, Mardin (kültürportalı)



Şekil 3.8. Doğa Tarihi Müzesi, Viyana (structurae)

3.1.3.3. Ulaştırma Yapıları

Köprüler, demiryolu istasyonları, deniz fenerleri gibi yapılar ulaştırma yapılarının içerisinde yer almaktadır. Köprü ve demiryolu istasyonu türündeki tarihi yapı örnekleri şekilde verilmiştir (Şekil 3.9, Şekil 3.10).



Şekil 3.9. Malabadi Köprüsü, Diyarbakır (kültürportalı)



Şekil 3.10. Karaağaç Tren Garı, Edirne (kültürportalı)

3.1.3.4. Dini Yapılar

Cami, kilise, katedral, şapel, bazilika, manastır, sinagog ve tapınak gibi yapılar bu kapsamda değerlendirilebilir. Cami ve katedral türündeki tarihi yapı örnekleri şekilde verilmiştir (Şekil 3.11, Şekil 3.12).



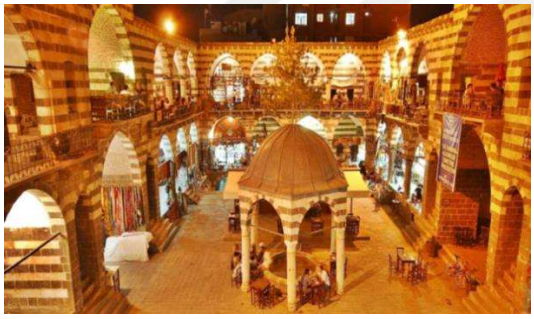
Şekil 3.11. Divriği Ulu Camii, Sivas (kültürportalı)



Şekil 3.12. Barselona Katedrali, İspanya (structurae)

3.1.3.5. Ticaret Yapıları

Hanlar, bedestenler ve kervansaraylar ticaret yapılarına örnek verilebilir. Han ve kervansaray türündeki yapı örnekleri şekilde verilmiştir (Şekil 3.13, Şekil 3.14).



Şekil 3.13. Hasan Paşa Hanı, Diyarbakır (kültürportalı)



Şekil 3.14. Selçuklu Kervansarayı, Kars (kültürportalı)

3.1.3.6. İdari Yapılar

Saraylar, meclis binaları, belediye binaları, nezaretler (bakanlıklar) idari binalara örnek olarak verilebilir. Saray ve adalet sarayı türündeki tarihi yapı örnekleri şekilde verilmiştir (Şekil 3.15, Şekil 3.16).



Şekil 3.15. Blenheim Sarayı, İngiltere (structurae)



Şekil 3.16. Montpellier Adalet Sarayı, Fransa (structurae)

3.1.3.7. Savunma Yapıları

Sur, kale, şato ve kule gibi yapılar savunma yapılarına örnek olarak verilebilir. Kale ve sur türündeki tarihi yapı örnekleri şekilde verilmiştir (Şekil 3.17, Şekil 3.18)



Şekil 3.17. Rochester Kalesi, İngiltere (structurae)



Şekil 3.18. Carcassonne Surları, Fransa (structurae)

3.1.3.8. Sivil Yapılar

Konak, köşk, kasır ve geleneksel tarihi evler bu kapsamda değerlendirebilir. Kasır ve köşk türündeki tarihi yapı örnekleri şekilde verilmiştir (Şekil 3.19, Şekil 3.20).



Şekil 3.19. Ihlamur Kasrı, İstanbul (kültürportalı)



Şekil 3.20. Sarıkamış Katerina Köşkü, Kars (kültürportalı)

3.1.3.9. Özel Yapılar

Piramitler, türbeler, kümbetler, mezarlıklar ve höyükler bu başlık altında incelenebilir. Kümbet ve türbe türündeki tarihi yapı örnekleri şekilde verilmiştir (Şekil 3.21, Şekil 3.22).



Şekil 3.21.Üç Kümbetler, Erzurum (kültürportalı)



Şekil 3.22. Torumtay Türbesi, Amasya (kültürportalı)

3.2. Tarihi Yapıları Oluşturan Elemanlar

Yapıyı oluşturan elemanların yapıların ayakta kalabilmesi, başta kendi ağırlığı olmak üzere maruz kaldığı yükleri temele güvenli biçimde aktarılabilmesi gibi görevleri yerine getirmesi, yapıyı dış etmenlerden koruması gibi özellikleri vardır. Tarihi yapıları oluşturan elemanlar günümüzde yapılan çelik, betonarme yapılardan farklılık gösterir.

3.2.1. Temel Sistemleri

Temeller yapının kendi ağırlığı, hareketli yükler, rüzgar yükü, kar yükü, deprem yükü gibi yükleri daha geniş bir yüzeye yayarak zemine güvenle iletmesi itibariyle yapılar için çok önemli elemanlardır.

Sağlam zeminlerde genellikle yüzeysel(sığ) temeller inşa edilmiş olup, dolgu veya yumuşak zeminlerde derin temeller tercih edilmiştir. Sığ temeller ayak ve sütunların altına gelen ayrık temellerden oluşmuş olup, bu temellerin farklı boyutta ahşap elemanların oluşturduğu bir ızgaraya mesnetlendiği görülmektedir. Bu ızgara sistemi yapıya etki eden yüklerin temel alanı boyunca zemine iletilmesini sağlamaktadır. Derin temeller ise zemine çakılan ahşap kazıkların oluşturduğu bir temel sistemidir (Çamlıbel 2000) (Mahrebel 2006).

3.2.2. Duvarlar

Taş, tuğla, kerpiç gibi malzemelerle farklı şekillerde, yapıda taşıyıcı veya alanları bölme amaçlı olarak kullanılabilen, yapıya gelen yükleri zemine ileten düşey şekilde örülen yapı elemanlarına duvar denilmektedir. Duvarlar, yapıldığı malzeme çeşidine göre, kerpiç, taş, tuğla, beton, gaz beton, panel duvarlar olarak; taşıma durumuna göre, taşıyıcı ve bölme duvarlar; yapıldıkları yere göre dış ve iç duvarlar olarak sınıflandırılabilir.

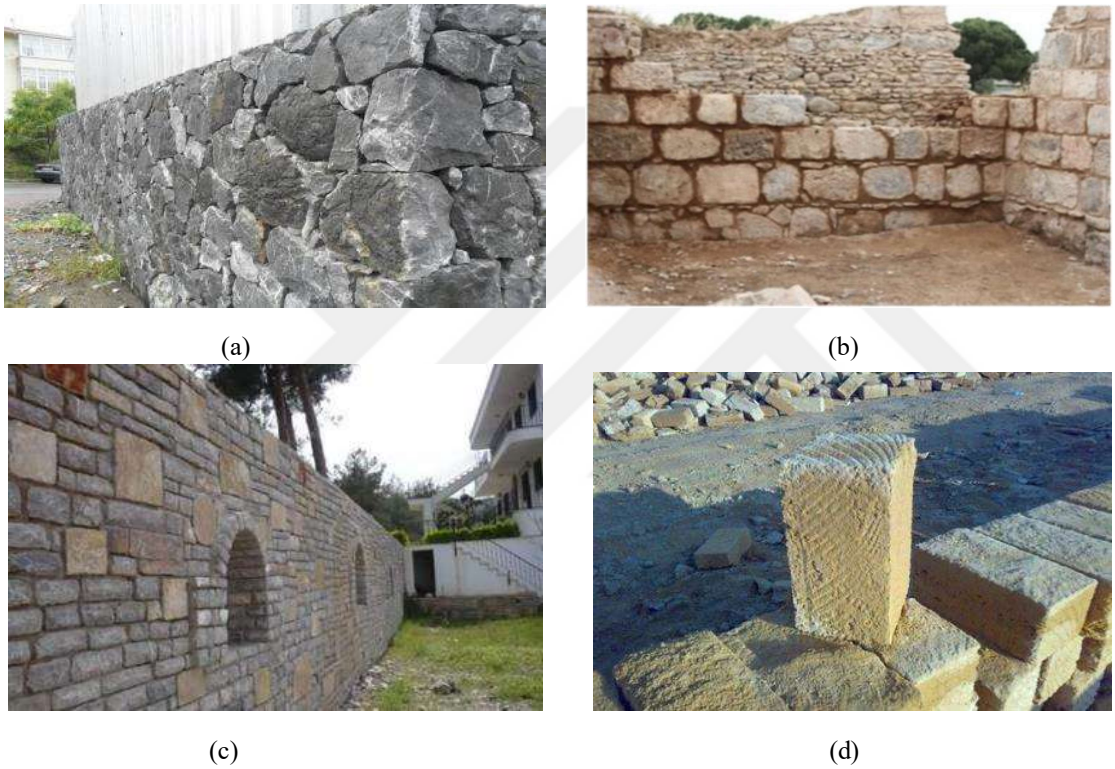
Taş duvarlar ise, moloz, kaba yonu, ince yonu ve kesme taş duvarlar şeklinde sınıflandırılabilir (Şekil 3.23).

Moloz taş duvarlar, taş ocağından çıkarıldıktan sonra üzerlerinde işlem yapılmadan kullanılan taşlarla oluşturulan duvar türüdür.1 m^2 duvar yüzeyinde 15 ten fazla taş bulunmamalı, eşit aralıklarla dağıtılmış kenet adı verilen en az iki bağlantı taşı olmalı, taş kalınlıkları 15 cm den fazla olmamalıdır.

Kaba yonu taş duvarlar, genellikle yüzeyi sıvanmayan cephe duvarları ile çevre ve istinat duvarlarında uygulanan duvarlar olup, taşların yaklaşık boyutları 20 cm yükseklik, 30 cm genişlik, 25 cm derinlik civarında olmalıdır. Taşlar arasındaki yatay derz kalınlığı en çok 2 cm, düşey derz kalınlığı ise mesafe en az 10 cm. olmalıdır.

İnce yonu taş duvarlar, genellikle bina cephelerinde uygulanan duvar türü olup, işçilik ve maliyetinin yüksek olmasının yanı sıra estetik bakımdan güzel görünüş için tercih edilmektedir. Derz kalınlığı, duvar boyunca 1.5 cm. i geçmemeli taşlar duvarla iyi bağlantı yapmalıdır. Düşey derzler arasındaki uzaklık 10 cm. den fazla olmalıdır.

Kesme taş duvarlar, işçiliği pahalı, derz kalınlıkları 1.0 cm'i geçmeyen, derinlikleri duvar kalınlıklarına eşit, birbirlerine geçmeli ya da metal bağlantı gereçleriyle bağlanan ve el araçlarıyla, makinelerle kesilerek işlenen duvarlardır (Nabi 2016).



(a) (b)

(c) (d)

Şekil 3.23. Duvar örnekleri (a) Moloz duvar, (b) Kaba yonu (c) İnce yonu (d) Kesme taş (Erkul 2018), (Nabi 2016)

Kagir duvarlar, dolu ya da arası boşluklu yapılmakta olup, kalın kagir duvarların yüzleri aynı tip blokla yapılabildiği gibi her bir duvar ayrı tip blokla, karma olarak oluşturulabilir. Duvarlar arası boş bırakılır ya da moloz taş ve harçla doldurulur. Dolu duvara tek cidarlı duvarlar denmektedir. İki yüzü arası boşluklu yapılana; içi boş bırakıldıysa iki, doldurulduysa üç cidarlı duvar ya da sandık duvar denmektedir (Arun 2005). Şekil 3.24'de sandık duvar ve tek cidarlı duvar tipleri gösterilmiştir.



(a) (b)

Şekil 3.24. Kagir duvar çeşitleri (a)Sandık duvar tipi , (b)Tek cidarlı duvar tipi (Arun 2005)

Duvarların boyutlarını malzeme türü, düşey yükler, deprem yükleri, boşluk boyutları gibi faktörler belirlemekte olup duvarın düşey ve yatay yükleri karşılayabilmesi gerekir (Mahrebel 2006).

3.2.3. Döşeme Sistemleri

Yatay taşıyıcı elemanlar olan döşemeler binanın komşu katlarını ayırı ve kat seviyelerini belirler. Döşeme malzemeleri taş ve ahşaptan oluşabilmektedir (Soygeniş 1999).

Düşey yükleri taşımada önemli görev üstlenen döşemelerin deprem ve rüzgar gibi yatay yükleri rijit diyafram şeklinde taşıyabilme işlevi de bulunmaktadır. Ancak, döşemelerin rijit diyafram olarak çalışabilmesi için döşeme boşluklarının büyük oranda olmaması gerekmektedir (Ünay 2002).

Taşıyıcı ahşap kirişlerle oluşturulan ahşap döşemelerde kiriş boyutları düşey ve yatay yükleri güvenle taşıyacak şekilde seçilmeli ve aşırı titreşime neden olmamalıdır. (Mahrebel 2006).

3.2.4. Sütunlar ve Ayaklar

Sütunlar tek ve birden fazla taş bloktan oluşabilen düşey eksen yapı elemanlarıdır. Birden fazla blok ile oluşturulanlar ahşap ya da bronz kenetlerin yardımı ile birleştirilebilirler.

Sütunlar, mermer, taş, granit gibi malzemeler kullanılarak oluşturulan ve üzerine gelen yükleri temele veya başka bir taşıyıcı elemana aktarmada kullanılan yapılar olup, sütun başlığı kirişin veya kemerin yükünü taşımakta, sütun tabanı da yükü altındaki yapı elemanına aktarmaktadır. (Çamlıbel 2000, Güner 2018).

Ayaklar, enine kesitleri sütunlarınkinden geniş olup, duvara benzer şekilde örülmüş olan düşey taşıyıcılardandır. Mekân örtüsüne ait düzene, kullanılış amacına, yükün aktarılma şekillerine göre değişik geometrilerde üretilmişlerdir (Wilson 2018).



Şekil 3.25. Zeus Tapınağı, Yunanistan (structurae)



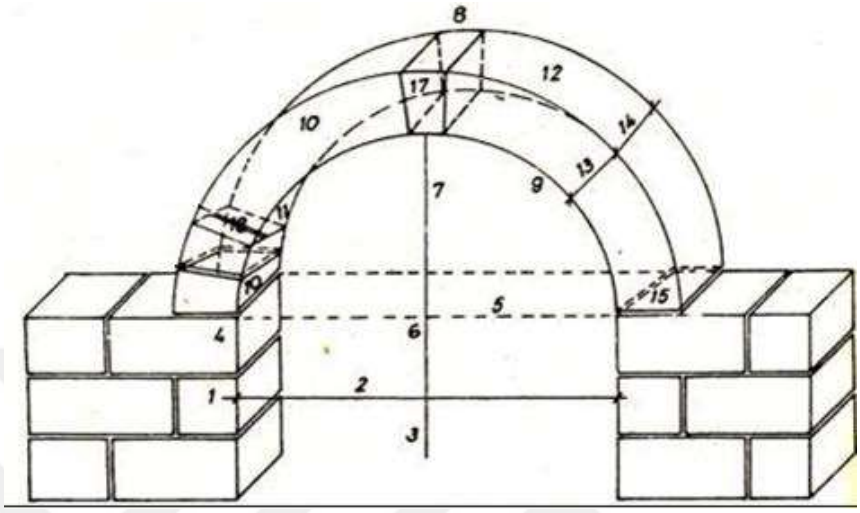
Şekil 3.26. Aziz Sofia Kilisesi, Makedonya (structurae)

3.2.5. Kemerler ve Tonozlar

Kemerler, yapım malzemesi olarak taş veya tuğla gibi elemanlarla inşa edilen, açıklıkları geçmek için yapılan ve eksenleri eğri olan kirişlerden oluşur (Ulkay 1978).

Geniş açıklıklara sahip mekânların yapabilmek amacıyla ilk adımlardan biri olan kemerlerin üstündeki yükler, kemer tarafından basınç şeklinde iletilerek açıklığa ait yan kısımlara aktarılır. Bu şekilde kemer sadece basınç üzerinde çalışmaktadır. Bundan dolayı tuğla, taş benzeri basınç direnci fazla, çekme direnci az malzemeler kemerin yapılmasında kullanımı uygundur (Özer 2006).

Kemerlerde genel olarak kilit, üzengi ve kemer taşlarıyla inşa edilmektedir. Üzengi taşı, kemerin başladığı kısımda kullanılır. Kilit taşı, kemerin düşey ekseninde bulunan kendisi ile üzengi arasındaki taşları kilitleme görevi gören taştır. Kemer taşları ise kilit ve üzengi taşları arasında olan taşlardır (Şekil 3.27.).

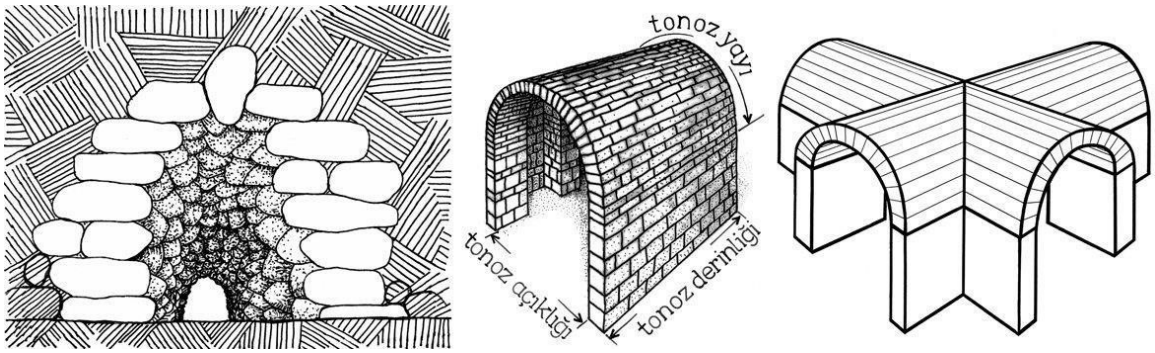


Şekil 3.27. Kemeri oluşturan bölümler (M.E.B. 2013)

Resimde numaralandırılmış kemer bölümleri sırasıyla; 1.Kemer ayakları, 2.Kemer açıklığı, 3.Kemer ekseni, 4.Üzengi noktası, 5.Üzengi seviyesi, 6.Kemer yayının merkezi, 7.Kemer yüksekliği, 8.Takye/ tepe noktası, 9.Kemer kenarları, 10.Kemer alnı, 11.Kemer karnı, 12.Kemer sırtı, 13.Kemer kalınlığı, 14.Kemer genişliği, 15.Üzengi yatağı, 16.Üzengi taşı, 17.Kilit taşı, 18.Kemer taşıdır. (M.E.B. 2013)

Tonozlar, kemer yapılarının kendi dik doğrultularında ötelenmesi sonucu oluşan yapılardır. Tonozlar yükleri kemerlerin yük taşıma prensibi ilkesine göre taşımaktadırlar ve aynı zamanda da kabuk özelliği gösteren yapı elemanıdır (Ünay 2002).

Tonozlar tarihi yapılarda dikdörtgen alanların kapalı bir hacim haline getirilmesinde kullanılmıştır yapılar olup, manastır tonoz, ilkel tonoz, sivri tonoz, eğri tonoz, beşik tonoz ve çapraz tonoz gibi çeşitleri vardır (Uray 2018).



Şekil 3.28. Tonoz örnekleri (Uray 2018)



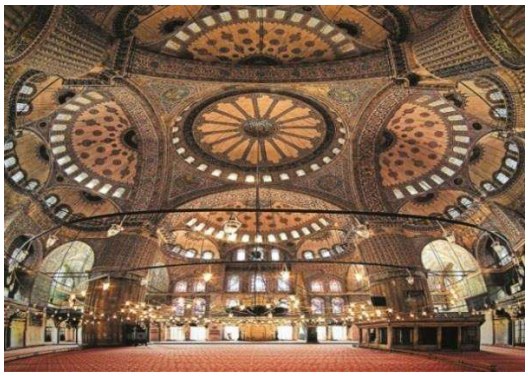
Şekil 3.29. Lichfield Katedrali, İngiltere (structurae)



Şekil 3.30. Toledo Katedrali, İspanya (structurae)

3.2.6. Kubbeler

Kubbeler kemer yapılarının düşey simetri ekseni etrafında dönmesiyle elde edilen yapı elemanlardır. Genellikle tuğla, taş ve ahşap malzeme ile yapılmış elemanlar olup, genel olarak kemerin taşıyıcılık özelliklerine sahiptirler. Kubbelerin, mesnetlerinde sürekli bir taşıyıcı yüzey elemana gereksinim duymasından dolayı dairesel bir mesnete oturması gereklidir (Sesigür ve ark. 2007) .



Şekil 3.31. Selimiye Cami, Edirne (kültürportalı)



Şekil 3.32. Burgos Katedrali, İspanya (structurae)

3.3. Tarihi Yapılarda Kullanılan Yapı Malzemeleri

Yapıların yük etkisindeki davranışlarında inşa edilirken kullanılan yapı malzemeleri önemli rol oynamaktadır. Bu doğrultuda tarihi yığma yapılarda kullanılan taş, harç, tuğla, ve ahşap gibi malzemelerin mekanik özelliklerinin bilinmesi bu malzemelerin kullanıldıkları yapıların yük altındaki davranışlarını değerlendirilebilmesi açısından oldukça önemlidir (Dabanlı 2008).

Tarihi Yapılar İçin Deprem Risklerinin Yönetimi Kılavuzuna göre yeniden yapılacak olan tarihi yığma yapılarda düşey gerilmelere bağlı olarak yapıda kullanılan malzemelerin sağlaması gereken minimum basınç dayanımları çizelgede verilmiştir (Çizelge 3.1.).

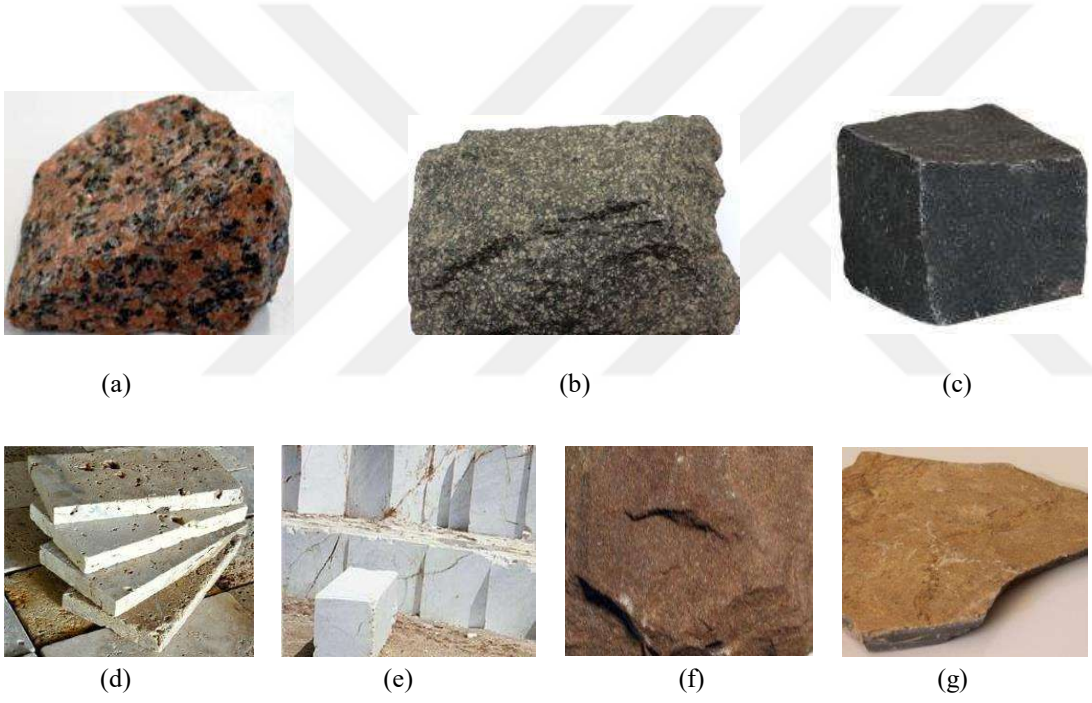
Çizelge 3.1. Duvardaki gerilme düzeyine bağlı olarak kullanılacak malzemenin minimum basınç dayanımı (Tarihi Yapılar İçin Deprem Risklerinin Yönetimi Kılavuzu, 2018)

Malzeme	Düşey Yük Altındaki Gerilme Düzeyi<=0.5 MPa	Düşey Yük Altındaki Gerilme Düzeyi>=0.5 MPa
Tuğla Basınç Dayanımı	5 MPa	7.5 MPa
Taş Basınç Dayanımı	10 MPa	20 MPa
Harç Basınç Dayanımı	2 MPa	3 MPa

3.3.1. Doğal Taş

Doğal taşlar, en eski yapı malzemelerinden birisi olup, basınç dayanımları yüksek çekme gerilmeleri ise düşüktür. Bu nedenle doğal taşlar, tarihi yığma yapılarda kullanımında çekmeye maruz kalmaması için tonoz, kemer, kubbe ve sütunlarda kullanılırlar. Ancak, dış etkilerin neden olduğu çekme gerilmeleri çatlaklara sebep olabilmektedir (Dabanlı 2008).

Basınç dayanımı yüksek, dış etkenlere karşı dayanıklı granit, andezit, bazalt, gibi magmatik kayaçlar ile traverten, kireç taşı (kalker), kil taşı, kum taşı gibi tortul kayaçlar yığma yapı elemanı olarak sıklıkla kullanılmıştır (Erkul 2018) (Şekil 3.33). Çizelge 3.2. de tarihi yapılarda kullanılan bazı taş malzemelerin karakteristik özellikleri verilmiştir.



Şekil 3.33. Doğal taş örnekleri (a) Granit, (b) Andezit, (c) Bazalt, (d) Traverten,(e) Kireçtaşı, (f)Kumtaşı, g) Kil taşı (Erkul 2018)

Çizelge 3.2. Doğal taşların ortalama fiziksel özellikleri (Ünay 2002)

Taşın Cinsi	Basınç Dayanımı (MPa)	Kayma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (MPa)
Granit	30-70	14-33	4-7	$30x10^3$-$55x10^3$
Mermer	25-65	9-45	1-15	$25x10^3$-$70x10^3$
Kireçtaşı	18-35	6-20	2-6	$10x10^3$-$25x10^3$
Kumtaşı	5-30	2-10	2-4	$13x10^3$-$50x10^3$
Kuvars	10-30	3-10	2-4	$15x10^3$-$55x10^3$
Serpantin	7-30	2-10	6-11	$23x10^3$-$45x10^3$

3.3.2. Ahşap

Ahşap malzemeler, tarihi yapılarda işlenme, kolay taşınabilme ve kolay elde edilebilme gibi özelliklerinden dolayı en çok tercih edilen malzemelerdendir. Taşa oranla ömrü oldukça kısa olmakla birlikte hafifliği, çekme ve eğilmeye karşı dayanımı bakımından taşa göre üstünlük göstermektedir. Ahşap malzemenin bu özelliği, taşla geçilemeyen büyük açıklıklar ahşapla geçilmesine olanak sağlamıştır. Geleneksel yapılarda, tavan, döşeme taşıyıcı sistemi olarak ve duvarlarda hatıl olarak kullanıldığı görülmektedir (Yılmaz 2006).

3.3.3. Tuğla

Tarihi yapılarda kullanılan tuğlalar, yüksek sıcaklıklardaki, fırınlarda kilin pişirilmesiyle elde edilen bir yapı malzemeleridir. Fırınlama teknolojisinin olmadığı zamanlarda bazı tarihi yapılarda güneş ısısı altında üretilmiş tuğlalara da rastlanmaktadır. Tuğlanın mukavemeti pişirilmesi oranında artabilmektedir (Güner 2018).

Tuğlanın genellikle ahşap ve taşın elde edilmesinin güç olduğu bölgelerde yapı malzemesi olarak kullanıldığı görülmektedir. İstenilen şekillerin verilebildiği tuğlalar genellikle kemer, tonoz ve kubbe gibi büyük örtü sistemlerinin ana malzemesi olmuşlardır. Tuğla malzemesinin basınç dayanımı çekme dayanımına göre yüksek olması nedeniyle oluşturulan sistemlerde tuğla elemanlarının basınç etkilerine maruz kalmasına yol açmıştır (Yılmaz, 2006). Çizelge 3.3'te tuğlaların ortalama basınç dayanımı verilmiştir.

Çizelge 3.3. Tuğla elemanlarının ortalama mekanik özellikleri (Ünay 2002)

Basınç Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Kayma Dayanımı (MPa)
10-30	2.7-5	10-20

3.3.4. Kerpiç

Kerpiç, ana malzemesi kil olan, güneşte kurutularak elde edilen yapı malzemesidir. Kerpicin yapı malzemesi olarak kullanılması çok eski zamanlara dayanmaktadır. Malzeme dayanımını arttırmak için bazı katkı maddeleri eklenmiştir. Bunlar; lifli malzemeler (ot, saman, kamış artığı vb.), ağaç cinsi malzemeler (çam iğneleri, ağaç dalları, elyaf vb.), taş cinsinden malzemelerdir (kum, çakıl, tuğla kırıntısı vb.) (Özdemir 2018).

3.3.5. Harç

Harç, su ile bağlayıcı malzemenin belirli oranlarda karıştırılması sonucu elde edilen yapı malzemelerine verilen isimdir. Yapıda harç kullanımının temel amacı, yapıyı oluşturan birimlerin bir bütünlük içerisinde olmasının sağlanmasıdır (Ünay 1997).

Harçlar, yapının taşıyıcı elemanlarına gelen yüklerin dağıtılmasına, yapı bileşenin esnemesine, hareket etmesine, mevsimsel etkilerden yapının korunmasına yardımcı olmaktadırlar. Harcın mukavemeti ve bağlanma özellikleri, taş ya da kullanılan yığma birime kıyasla çok daha az olmasına rağmen, taş yığma binanın performansını önemli ölçüde etkiler. Harcın, çekme ve bağlanma mukavemeti, duvarın mukavemetini belirleyen faktörlerden olup, harcın mukavemeti, harcı oluşturan maddelerin özelliklerine ve karışım oranına bağlıdır ancak, tarihi harç üzerinde mukavemet testleri yapmanın zorluğu nedeniyle harcın gücünü temsil etmek oldukça zordur. Harçlar içinde bulunan bağlayıcıların niteliğine göre isimlendirilirler (Özen 2006).

3.3.5.1.Kireç Harcı

Kireç malzemesi ile elde edilen sıva ve harçlar, tarihin en eski uygarlıklarından bugüne kullanılmaktadır. Kireç bağlayıcı malzeme olarak kullanılmakta, agregaların çeşitli oranda karıştırılmasıyla da kireç harç ve sıvaları elde edilmektedir. Kireç harçları hazırlanırken içerisine organik veya inorganik maddeler de katılarak güçlendirilmiştir (Böke ve ark. 2004).

Kirecin hammaddesi olan kalsiyum karbonat ($CaCO_3$) minerallerinden oluşan kireç taşlarının, ısı ile kalsine olup karbondioksit gazının (CO_2) yapıdan ayrılması sonucunda oluşan kalsiyum okside (CaO) sönmemiş kireç adı verilir. Oluşan sönmemiş kireç (CaO), su veya havada bulunan nem ile reaksiyona girmesi sonucu kalsiyum hidroksite ($Ca(OH)_2$) dönüşmektedir. Bu ürüne sönmüş kireç adı verilmektedir (Boynton 1980).

Kireç harçlarının plastik özellikleri fazladır. Şekil değişimi yapabilme yeteneğinin fazlalığı nedeniyle yapıda çatlama oranı düşüktür. Fakat yapıdaki çatlak oluşumu, kirecin yeteri

kadar söndürülüp söndürülmemesine bağlıdır. Kirecin eğer kireç söndürülmemişse bu işlem yapıda tamamlanır ve kirecin kullanıldığı yerlerde çatlak vb. kusurlar oluşur (Tetik 2015).

3.3.5.2.Horasan Harcı

Horasan harcı horasan ve kireç malzemelerinin kullanılmasıyla üretilen harca verilen isimdir. Horasan harcı, tarih boyunca birçok medeniyet tarafından kullanılmış olan eski bir harçtır (Çamlıbel 1998).

Bazı durumlarda harcın içerisine kuma, bazılarında içerisinde küçük parçalar halinde tuğla veya kiremit kırıkları gibi seramik malzemelere rastlanmaktadır. İçine tuğla veya kiremit kırıklarının katıldığı harç karışımlarının günümüz betonuna eşdeğer bir yapıya sahip olduğu söylenebilir. Ayrıca horasan harcı suya karşı oldukça dayanıklı bir bağlayıcıdır. Nemli ve ıslak bölgeler için kullanılacak en uygun malzeme olduğu söylenebilir (Güner 2018).

Kireç ve horasan harçlarının dayanımlarını uzun zamanlar içerisinde kazanan harçlardır. Bu nedenle tarihi yığma yapıların inşa edilmesi uzun zamanlar almıştır (Uray 2018).

3.4. Tarihi Yapıların Modellenme Teknikleri ve İdealleştirmeler

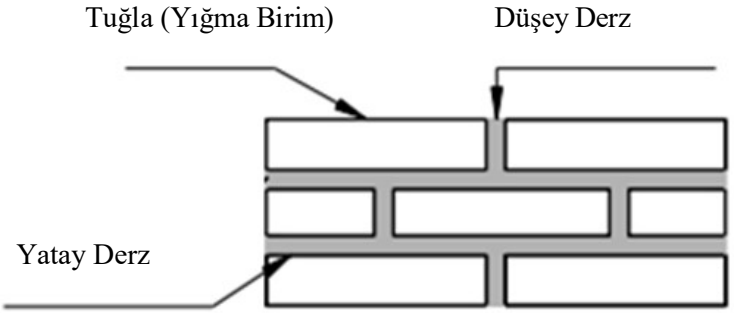
Tarihi yapıların büyük bir çoğunluğu yığma yapı şeklinde inşa edilmiştir. Yığma yapı sistemleri dünyanın birçok yerinde varlıklarını sürdürmektedirler. Bu yaygın yapı gruplarının, malzemelerin mekanik özellikleri ve malzemelerin bir araya getirilme teknikleri göz önüne alındığında diğer yapı gruplarına göre farklılık gösterdiği görülmektedir.

Tarihi yapıların statik ve dinamik davranışları incelenirken deneysel ve nümerik analizlerden faydalanılır. Bu analizler yapılırken belirli kabuller yapılmaktadır.

Bu kabuller betonarme yapılar için kullanılan kabullerden farklılık göstermektedir. Bunun nedeni betonarmenin heterojen bir malzeme olmasına rağmen, yapılan kabullerle bir yapısal elemanı aynı çeşit sonlu elemanla tanımlanmasının mümkün olmasıdır. Yığma yapı duvarlarında ise taş ve tuğla gibi yığma birimlerin ve farklı karakteristiklere sahip harcın bir arada bulunması tek tip sonlu eleman ile modellemeyi zorlaştırmaktadır. Bu durumda yapıya gerçeğe uygun bir modelleme tekniği uygulanmalıdır. Farklı mekanik özellikteki bu birimleri ayrı ayrı modelleme yolu da tercih edilebilir. Bu modelleme ile yığma birimlerin ve ara yüzey elemanları ayrı ayrı modellenmektedir, bu durumda bilinmeyen sayısı oldukça artmakta, çözüm süreci uzamaktadır (Ural 2009).

3.4.1.Yığma Yapılarda Kullanılan Modelleme Teknikleri

Yığma yapılar genellikle farklı mekanik özelliklere sahip yapıların bir arada kullanılmasından dolayı heterojen özellik gösteren yapılardır. Bu nedenle nümerik ortamda modellemeleri yapılırken bir takım kabuller yapılıp, farklı teknikler uygulanmaktadır. Modelleme aşamasında yığma birimlerinin ve harcın statik ve dinamik yükler altındaki davranışı dikkate alınmalıdır.



Şekil 3.34. Örnek yığma yapı elemanı (Lourenço 1996)

Yığma yapılar için yapılacak olan analizlerde, ele alınan sistemin büyüklüğüne göre 3 farklı modelleme tekniği kullanılmaktadır (Lourenço 1996).

Bu teknikler;

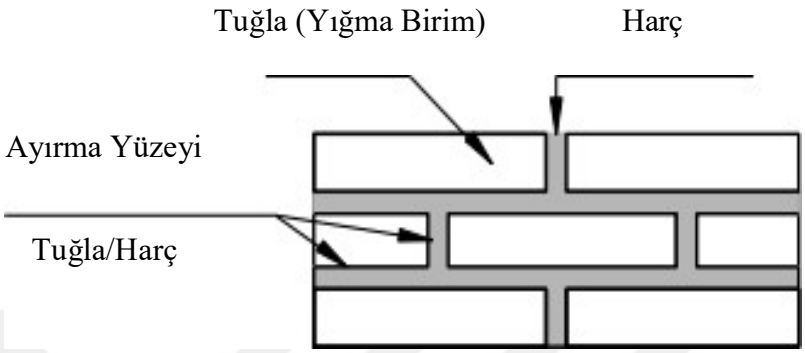
- Detaylı mikro modelleme
- Basitleştirilmiş mikro modelleme
- Makro modelleme

olarak sınıflandırılmaktadır.

3.4.1.1. Detaylı Mikro Modelleme

Bu modelleme tekniğinde, yığma duvarı birimlerinin mekanik özellikleri ayrı ayrı ele alınmaktadır (Şekil 3.35.). Yapının hasar görmesi durumunda ise çatlakların yığma birimin ve harcın arasındaki ara yüzeylerde oluştuğu varsayımı yapılmaktadır (Lourenço 1996).

Bu teknik ile doğru sonuçlar alınabilmesi için yığma birimler ile harç arasındaki ilişkinin doğru bir şekilde tanımlanması önemli bir faktördür. Genellikle büyük yapıların modellenmesinde kullanımı pek yaygın olmayan bir modelleme tekniğidir.



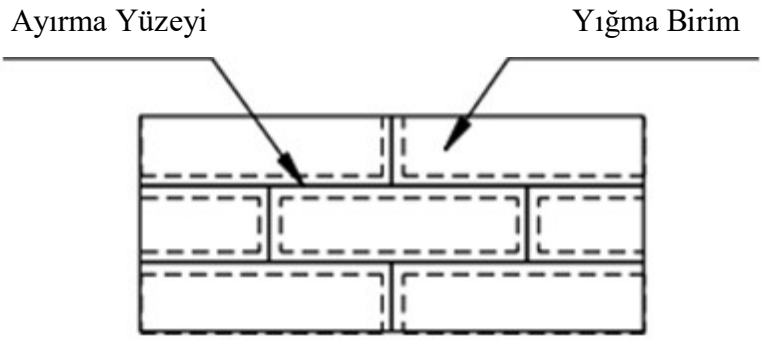
Şekil 3.35. Detaylı mikro modelleme tekniği (Lourenço, 1996)

3.4.1.2. Basitleştirilmiş mikro modelleme

Büyük boyutlardaki yapı sistemlerinin detaylı modellenmesi işlemi çözüm süresini uzatmakta, büyük sonuç dosyaları üretmektedir. Bundan dolayı, büyük sistemli yapıları daha kısa zamanda ve daha düşük kapasiteli bilgisayarlarla modelleyebilmek amacıyla farklı modelleme teknikleri oluşturulmuştur. Basitleştirilmiş mikro modelleme de bunlardan birisidir.

Bu modelleme tekniği uygulanırken, yığma yapı birimlerinin boyutları, harç tabakasının kalınlığının yarısı kadar genişletilerek harç tabakası ihmal edilmektedir. Yığma birimlerin ara yüzey çizgileriyle birbirinden ayrıldığı kabul edilmektedir. Yığma duvarda oluşabilecek çekme ve kayma çatlaklarının ara yüzeylerde oluşacağı kabulü yapılmaktadır. Tuğlalarda meydana gelebilecek olan potansiyel çatlakların ise tuğlanın orta kısmında düşey bir şekilde oluşabileceği varsayımı yapılmaktadır (Tetik 2015).

Basitleştirilmiş mikro modelleme harcın mekanik özellikleri göz ardı edilir ve hesaplamalarda yığma birimin özellikleri dikkate alınır (Şekil 3.36.)



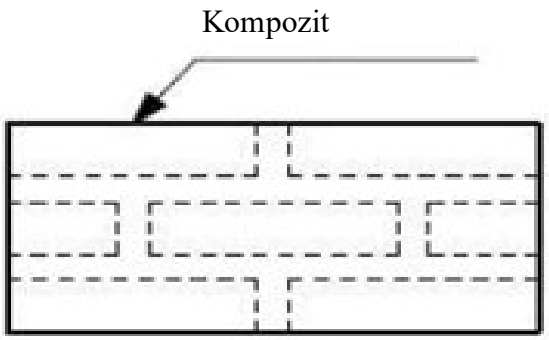
Şekil 3.36. Basitleştirilmiş mikro modelleme tekniği (Lourenço 1996)

3.4.1.3. Makro Modelleme

Makro modelleme tekniği; karmaşık ve büyük yapı sistemlerinde, tüm yığma binanın analizinde tercih edilmektedir. Zaman açısından tasarruf sağlaması modelleme aşamasında tercih edilme sebeplerindendir. Bu modellemeye göre, yığma birim ile harç arasındaki etkileşim ihmal edilmekte, yığma duvar bir kompozit malzeme gibi kabul edilmektedir. Bunun nedeni bilgisayarda oluşturulan modellerin günümüz teknolojisi ile doğrusal olmayan veya zaman-tanım alanında yapılacak olan analizlerde tüm bir yapının mikro modellemeyle oluşturulmasındaki güçlüklerdir.

Çok büyük boyutlardaki sistem rijitlik matrisi ve yapısal analiz programlarının oluşturacakları sonuç dosyalarının boyutlarını oldukça büyütecek olmasından dolayı büyük çaptaki sistemler için en uygun modelleme tekniğinin makro modelleme olduğu söylenebilir (Ural 2009).

Bu modelleme tekniğinde; kullanılacak olan taş, tuğla ve harç gibi malzemeler homojenleştirme işlemine tabi tutularak kompozit bir malzeme olarak kabul edilmektedir (Şekil 3.37.) .



Şekil 3.37. Makro modelleme tekniği (Lourenço 1996)

3.4.2. Tarihi Yapı Modelinin İdealleştirilmesi

Tarihi yapılar genellikle yığma yapı formunda inşa edilmiştir. Yapım aşamasında genellikle yerel malzemelerden yararlanılmıştır ve taşıyıcı birimlerin birbirinden farklı mekanik özelliklere sahip olmalarından dolayı yapı davranışının modellenmesinde dikkatli olunmalıdır. Yapının davranışının gerçeğe en yakın şekilde modellenmesi gerektiğinden, oluşan zorlukların giderilmesi amacıyla kimi kabullere ve basitleştirme işlemlerine başvurulmaktadır.

3.4.2.1. Geometrinin İdealleştirilmesi

Tarihi yapılar geometrisi oldukça karmaşık bileşenler içeren yığma yapılardır. Bu yapıların inşasında kullanılan taşıyıcı elemanların mimari detayları olabilmektedir. Taşıyıcı sistem bilgisayar ortamında modellenirken kemer, kubbe ve tonoz gibi yapı elemanlarının mimari detayları sadeleştirilerek yeni bir geometrik forma dönüştürülmektedir. Böylece, gerçeğe en yakın davranışı temsil etmek mümkün olabilmektedir. Geometrinin modelinde yapılan idealleştirme aşamalarında göz önüne alınması gereken faktörler bulunmaktadır. Yapılan idealleştirmeler sade olmalıdır. 3 boyutlu modeller yerine, 2 boyutlu modelleme seçeneği de uygulanabilir. Tüm taşıyıcı elemanların davranışını en iyi temsil edecek, yapının orijinal geometrisine uygun modeller seçilmelidir (Dabanlı 2008).

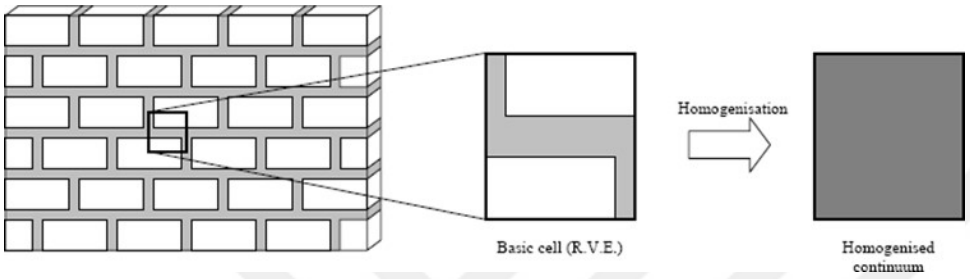
3.4.2.2. Gerilme-Şekil Değiştirme Diyagramlarının İdealleştirilmesi

Gerilme - şekil değiştirme diyagramları lineer olmayan modeller yerine daha basit lineer bağıntılar kullanılırken malzeme karakteristiklerinin özgün özelliklerinin aslına uygun olması gerekmektedir. Yapılan basitleştirme oluşturulan modellerle yapının davranışının anlaşılmasını zorlaştıran karmaşık denklemlerden kurtulmuş olunur. Bilgisayar analizine esas olan bu model ile gerçek malzeme davranışı basitleştirilerek temsil edilmiş olur. Günümüzde, lineer elastik davranıştan, yapının davranışını gerçeğe yakın olarak tahmin edebilen sayısal teknikler kullanılmaktadır. Böylece, yapının göçme öncesi hasar durumlarının tespitini, göçme mekanizmalarını bilinmesini ve yapısal performansın değerlendirilmesini mümkün kılmaktadır (Lourenço 2006).

Tarihi yığma yapılarda kullanılan malzemeler genellikle homojen olmadıkları veya yapım aşamasında farklı mekanik özelliklere sahip yapı malzemeleri bir arada kullanıldıkları için farklı davranışlar gösterebilmektedirler. Bu nedenle yığma yapıların mekanik özellikleriyle ilgili göz önüne alınması gereken hususlar vardır. Bunlardan biri malzeme davranışının homojen ve izotropik olmadığıdır. Ayrıca çekme dayanımı çok düşük olduğu için sıfır olarak kabul edilebilmektedir. Bu yapılar basınç yükleri altında gevrek davranış sergilemektedir.

Kesme kuvvetleri altında kısmi sünek davranış görülür. Çatlak ve hasarlar eleman rijitliklerini etkiler (Oğuzmert 2002).

Bünye özellikleri için ideal bir kabul yapılırken makro modelleme alınması durumunda malzemenin homojen olduğu kabul edilip, tüm noktalarda aynı davranışı gösterdiği varsayımı yapılır (Şekil 3.38.). Bu doğrultuda yapılan makro modellemede, taşıyıcı elemanlar ile aralarındaki harç malzemeleri birlikte tek bir malzeme olarak modellenir.



Şekil 3.38. Yığma yapılarda homojen malzeme seçimi için kullanılan birim hücre yöntemi (Lourenço 2006)

Yığma yapıların düşük gerilme seviyelerinde lineer-elastik davranış gösterdiği kabulü yapılabilir. Kesitlerinin zati yükler altında oldukça düşük seviyelerde gerilmelere sahip olması sebebiyle bu kabul basınç gerilmeleri göz önüne alındığında oldukça tutarlıdır.

Yığma yapı malzemelerin çekme mukavemeti taşıdığı kabul edilebilir ve çekme gerilmesi oluşan bölgeler tespit edilebilir. Bu durumda yapıda oluşabilecek muhtemel çatlakların yerleri hakkında bilgi edinilebilir. Çatlakların oluştuğu bu bölgedeki malzemeler modelden çıkarılarak lineer olmayan davranış da engellenebilir.

Yığma yapı modellemesinin yüksek gerilme gösterdiği seviyelerde doğrusal olmayan davranış yaptığı kabul edilebilir. Lineer olmayan bu davranış kabulü genellikle Drucker-Prager kriteri ve Mohr-Cloumb kriteri ile modellenir. (Dabanlı 2008).

3.4.2.3. Farklı yapı malzemelerinin homojenize edilmesi

Yığma yapıların modellenmesinde kullanılan makro modelleme yönteminde, harç ve taş/tuğladan oluşan yapının tek bir malzeme gibi modellenmesi yani yapının homojenleştirilmesi yapılmaktadır. Bu iki malzemenin tek bir malzeme gibi düşünülmesinde kullanılacak olan elastisite modülü için Lourenco çalışmasında aşağıda verilen formülü önermektedir.

$$E = \frac{t_m + t_u}{\frac{t_m}{E_m} + \frac{t_u}{E_u}} \times \rho \qquad \text{(Lourenço ve ark. 2001)} \qquad \textbf{(3.1)}$$

Formülde E, homojenleştirilmiş malzemenin elastisite modülünü, t_m harç kalınlığını, t_u taş veya tuğla yüksekliğini, E_m harcın elastisite modülünü, E_u taş veya tuğlanın elastisite modülünü, ρ sabiti ise tuğla ile harç arasındaki etkileşimi ifade etmektedir. ρ 0-1 arasında değişen bir katsayı olup genellikle 0.5 kabul edilebilir.

Yığma yapıların basınç dayanımının belirlenmesinde kullanılan homojenleştirme işlemi için Eurocode 6'da önerilen Denklem 3.2'de verilmiştir.

$$f_k = K \times f_b^{\alpha} \times f_m^{\beta} \qquad \textbf{(3.2)}$$

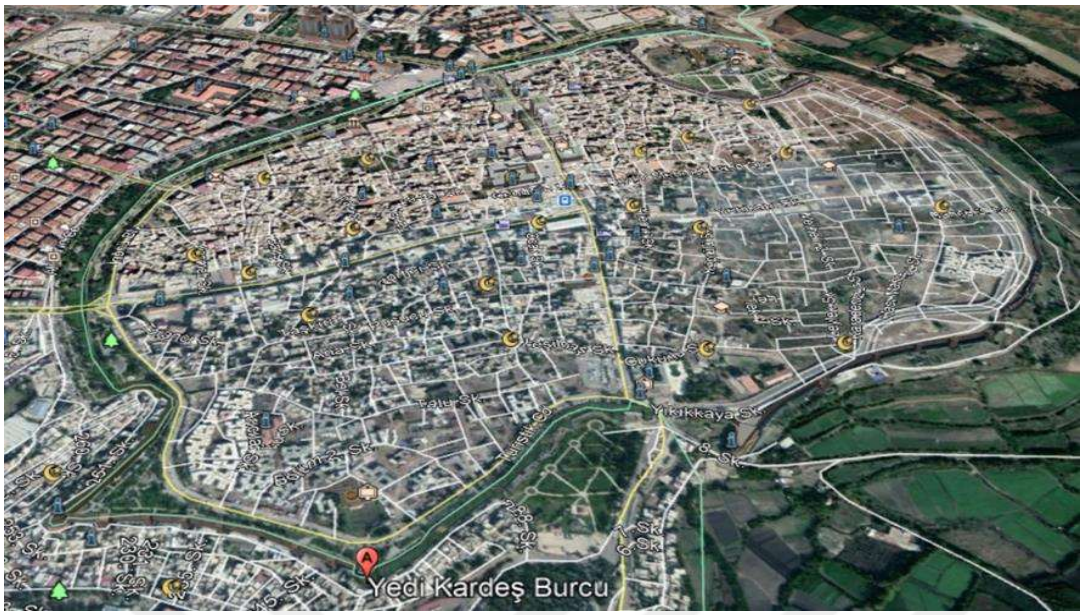
Formülde fk homojenleştirilmiş malzemenin basınç dayanımını, f_b taş veya tuğlanın basınç mukavemetini, f_m harcın basınç mukavemetini ifade etmektedir. K, α, β değerleri birer sabittir. α değeri 0.625, β değeri 0.25 olup burada K sabiti, 0.4 ile 0.6 arasında değişen bir sabittir ve genellikle 0.5 olarak değerlendirilmektedir. (Lourenço ve ark. 2001).

3.5. Yedikardeş Burcunun Özellikleri ve Malzemenin Homojenleştirilmesi

Yedikardeş burcu, surların çevirdiği alanın güney batısında bulunan tarihi Ali Paşa Camii ve Medresesinin güneyinde bulunan 41 nolu burç olarak literatürde kayıtlı olan ve taşıyıcı sistem türü yığma yapı olan tarihi bir yapıdır (Şekil 3.39.). Yapısal modelleme yapılırken Dr. Mimar Mehmet Cebe tarafından çizilerek Diyarbakır Kültür Varlıklarını Koruma Bölge Kuruluna sunulan rölöve projesinden faydalanılmıştır (Şekil 3.40.).

Özellikle 1960'lı yıllardan itibaren yaşanan göçler ile birlikte Diyarbakır kenti de kırsal kesimlerden aldığı göçler almıştır. Bu göçler Suriçi nüfusunun artmasına sebep olurken surun iç ve dış çeperlerinde hızlı bir gecekondulaşmanın başlamasına sebep olmuştur. Kente göç edenler için oluşan barınma yeri ihtiyacıyla birlikte kentin tarihi kimliğinde kalıcı değişimler olmuştur.

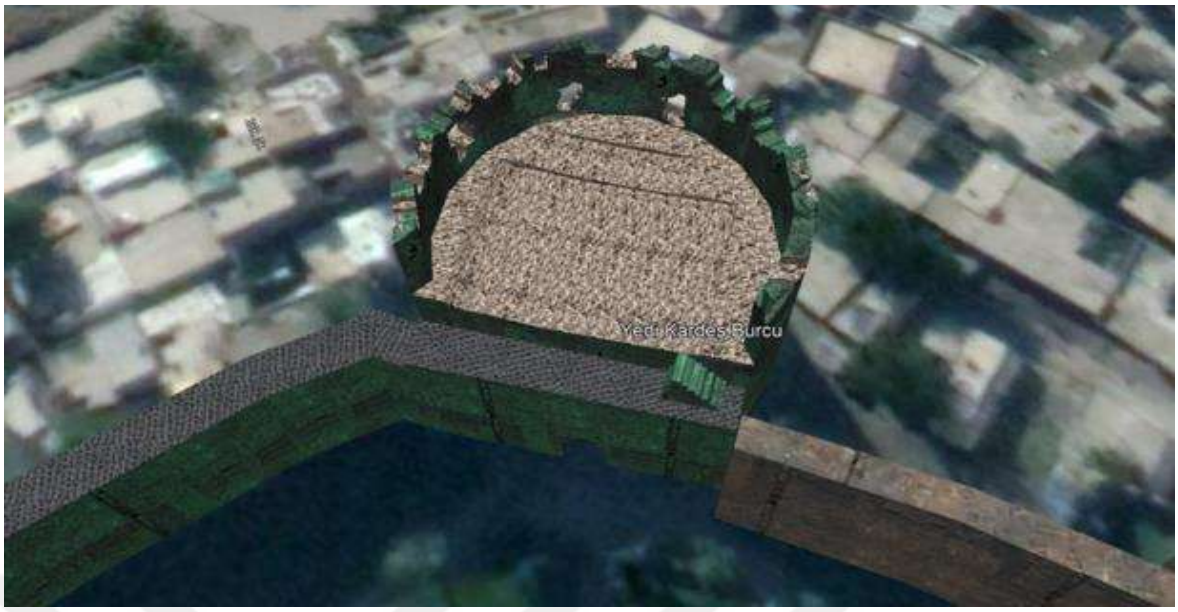
Bu değişimlerin en büyüğünü hem içerden hem dışardan yapılan gecekondularla zarar gören surlar yaşamıştır. Tarihi surların dokuları zarar görmüş, sur ve burçların taşları sökülerek gecekondu inşasında kullanılmıştır. Yapıda meydana gelen bu değişimlerle surlar ve burçlarda yıllar içinde birçok onarım yapılmıştır. Bilinçsiz yapılan restorasyon çalışmaları, plansız yerleşim gibi sebeplerle birlikte sur ve burçlarda oluşan deformasyonlar Diyarbakır Surları 'nın yapısal durumunun değerlendirilmesi ihtiyacını doğurmuştur. Bu amaçla, çalışmada Diyarbakır Surlarında yer alan Yedikardeş Burcunun üç boyutlu sonlu eleman modeli hazırlanmış, statik ve dinamik analizleri yapılarak yapısal durumu incelenmiştir.



(a)



(b)

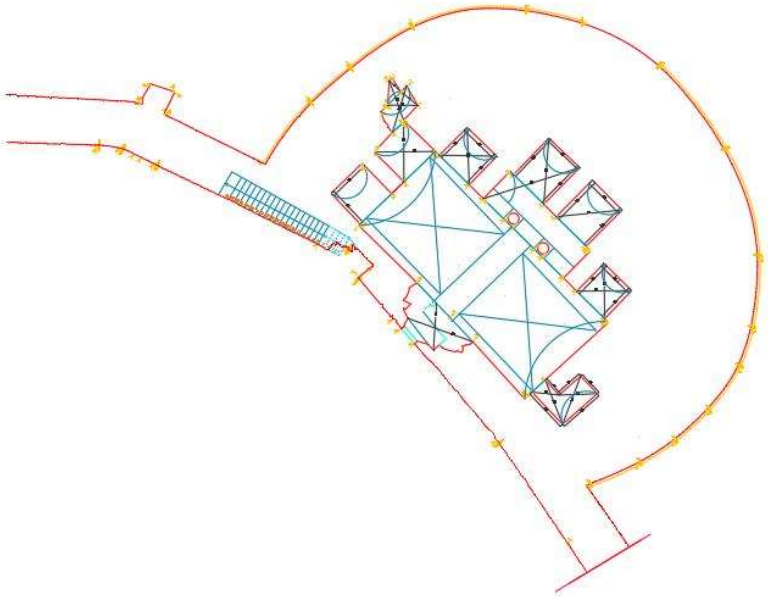


(c)



(d)

Şekil 3.39. Yedikardeş Burcu Google Earth görüntüleri



Şekil 3.40. Yedikardeş Burcu'nun zemin kat planı (Cebe 2013)

Yedikardeş burcu duvarlarında tarihi Diyarbakır bazaltı kulanılmış olup, bağlayıcı harç malzemesi kaymak kirecidir. Modellemede kullanılan ve yapıda tonoz kullanılan kısımları temsil eden üst yüzeyde harman tuğlası kullanılmış olup bağlayıcı harç malzemesi kireç harcıdır.

Tarihi yapılarda yerinde inceleme imkanı olmayan ya da yapıya zarar vermekten kaçınmak amacıyla malzemelerin mekanik özellikleri literatürden alınarak kullanılabilmektedir. Bu tez çalışmasında Yedikardeş burcunda kullanılan harman tuğlasının, bazalt taşının ve horosan harcının mekanik özellikleri literatürdeki çalışmalardan alınmıştır (Akatay 2014) (Bayraktar ve ark. 2018) (Ulukaya ve Yüzer 2017) (Çağlar ve ark 2018)(Çizelge 3.4.).

Yapıdaki malzeme özellikleri homojenleşme yöntemiyle modellenen elemanlara tanımlanmıştır. Bu homojenleştirme değerlerinin Çizelge 4.2 de verilen TBDY (2018) tarafından tanımlanmış yığma birimin ve harcın basınç dayanımları kullanılarak homojenleştirilmiş malzeme özellikleriyle uyum sağladığı görülmüştür (Çizelge 3.5.).

Çizelge 3.4. Malzeme özellikleri

Malzeme	Elastisite Modülü (MPa)	Birim Hacim Ağırlığı (kg/m^3)	Poisson Oranı	Basınç Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)
Bazalt Taşı	20140	2280	0.236	57.66	0.625
Horosan Harcı	1100	1340	0.2	6.25	0.625
Harman Tuğlası	6085	1930	0.2	6.6	0.42

Çizelge 3.5. Yığma taşıyıcı duvarların karakteristik basınç dayanımı (TBDY 2018)

Birim-Birim Sınıfı	Harç sınıfı	Harç basınç dayanımı, f_m (MPa)	Kargir birim basınç dayanımı, f_b (MPa)					
			5	10	15	20	25	30
Grup I	Genel amaçlı harç	M10-M20	3.4-4.2	5.5-6.8	7.3-9.0	8.9-11.0	10.4-12.9	11.9-14.6
		M2.5-M9	2.2-3.3	3.6-5.3	4.8-7.1	5.9-8.7	6.9-10.1	7.8-11.5
		M1-M2	1.7-2.1	2.8-3.4	3.7-4.5	4.5-5.5	5.2-6.4	5.9-7.3
Grup II ve Kesme taş		M10-M20	2.8-3.4	4.5-5.5	6.0-7.4	7.3-9.0	8.5-10.5	9.7-12.0
		M2.5-M9	1.8-2.7	3.0-4.4	3.9-5.8	4.8-7.1	5.6-8.3	6.4-9.4
		M1-M2	1.4-1.7	2.3-2.8	3.0-3.7	3.7-4.5	4.3-5.3	4.9-6.0
Tuğla (Grup I)	İnce tabakalı harç**		2.9	5.3	7.5	9.6	11.6	13.5
Tuğla (Grup II)			2.2	3.5	4.7	5.7	6.7	7.6
Beton (Grup I), Gazbeton			3.1	5.7	8.0	10.2	12.3	14.4
Beton (Grup II)			2.6	4.6	6.5	8.3	10.0	11.7

(**) İnce tabakalı harç, birimler arası harç tabakası 0.5 mm ile 3.0 mm olan harç

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1.Yedikardeş Burcunun Konumunun Depremselliği

Yedikardeş burcunun konumuna ait deprem verilerine Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığının (AFAD), Türkiye deprem tehlike haritaları interaktif web uygulaması ile ulaşılmıştır. Bu uygulama ile istenen deprem yer hareketi düzeyine göre, konum ve yerel zemin sınıfı girilerek, yatay elastik ivme spektrumu, düşey elastik ivme spektrumu ve sismik tehlike haritası özet veya detay raporu alınabilmektedir. Bu raporda kısa ve 1 saniye periyot için spektral ivme katsayıları, yerel zemin etki katsayıları, en büyük yer ivmesi ve yer hızı değerleri yer almaktadır. İvme değerleri yerçekimi ivmesinin katsayısı olarak boyutsuz verilmektedir (Şekil 4.1, 4.2, 4.3.). Elde edilen değerler aşağıda verilmiştir:

$S_s = 0.304 \quad S_1 = 0.128 \quad S_{DS} = 0.243 \quad S_{D1} = 0.102 \quad PGA = 0.135 \quad PGV = 10.181$

Burada;

S_s : Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı (boyutsuz)

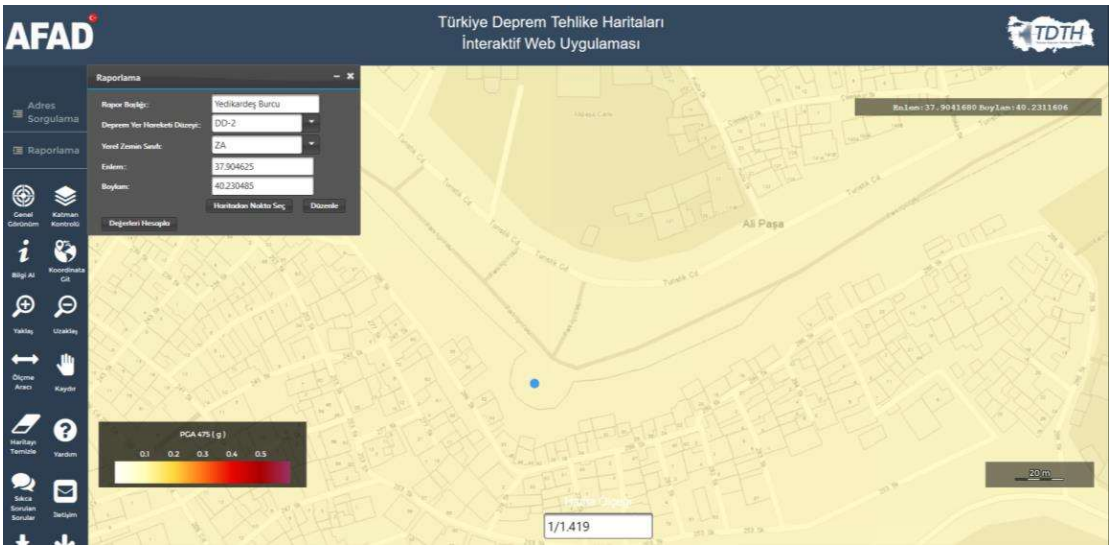
S_1 : 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı (boyutsuz)

S_{DS} : Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı (boyutsuz)

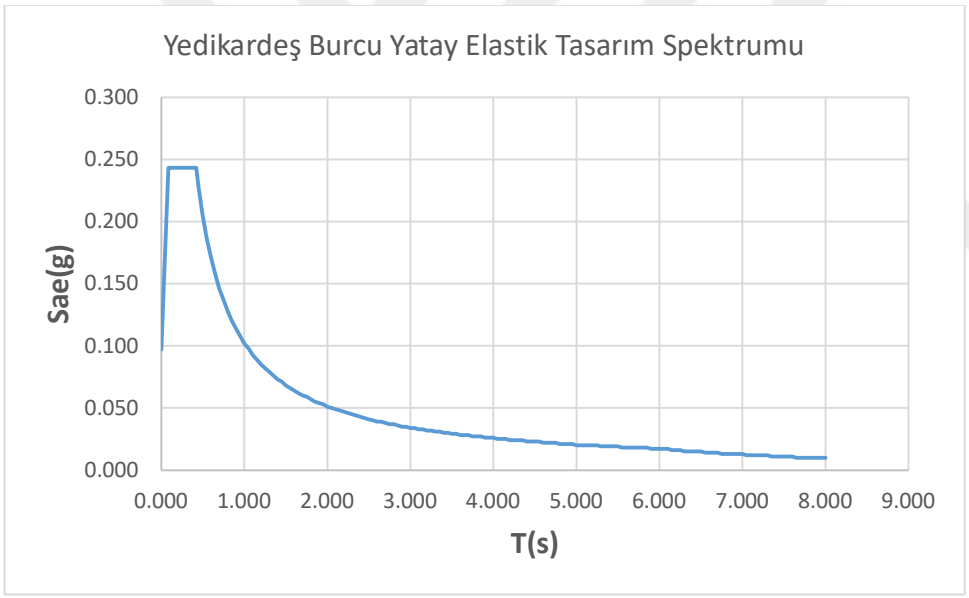
S_{D1} : 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı (boyutsuz)

PGA : En büyük yer ivmesi (g)

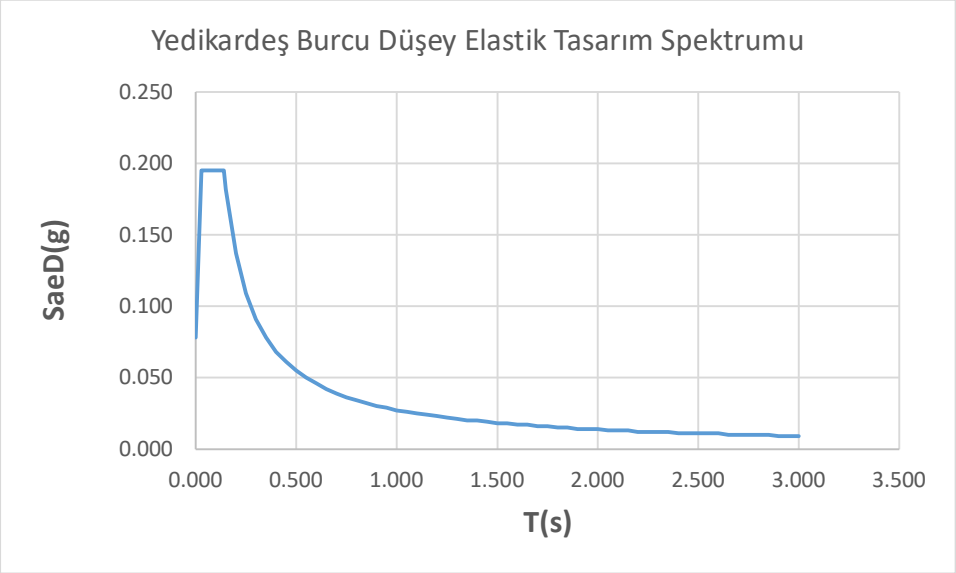
PGV : En büyük yer hızı (cm/sn)



Şekil 4.1. Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması



Şekil 4.2. Yedikardeş Burcu yatay elastik tasarım spektrumu

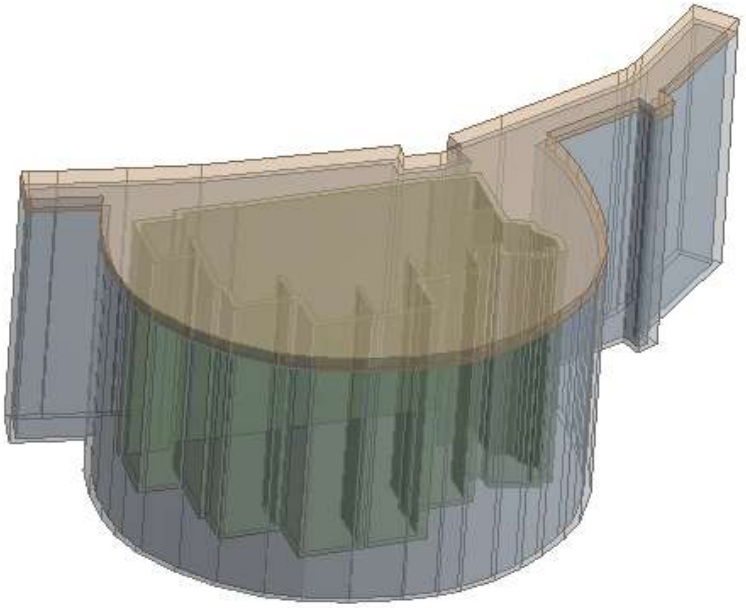


Şekil 4.3. Yedikardeş burcu düşey elastik tasarım spektrumu

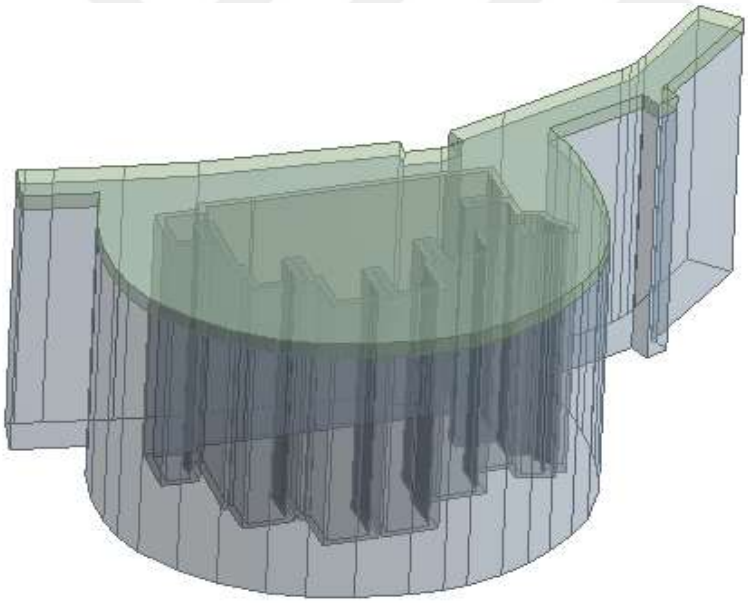
4.2.Yedikardeş Burcunun Sonlu Eleman Modeli

Yedikardeş burcunun modeli, statik ve dinamik analizleri ANSYS programı kullanılarak yapılmıştır. Burç sonlu elemanlar yöntemiyle üç boyutlu olarak modellenmiş, üç farklı modelleme yapılarak yapı davranışı incelenmiştir (Şekil 4.4.).

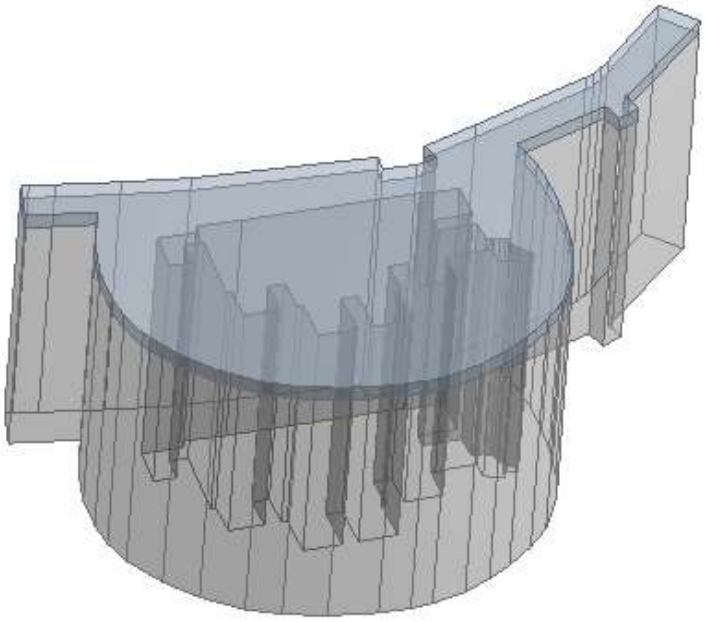
Yapı modellenirken Yedikardeş burcunun sağ ve sol yanında devam eden sur duvarlarının bir kısmı da göz önüne alınmıştır. Yapılan üç ayrı modellemede de makro modelleme tekniği kullanılmıştır. Modellerde kullanılan duvar birimlerinin malzemesi bazalt taşı ve kireç harcı olarak tanımlanırken, döşemede ise harman tuğlası ve kireç harcı olarak tanımlanmış ve malzemeler mekanik özellikleri göz önüne alınarak homojenleştirme işlemine tabi tutulmuştur. Modeldeki duvar yükseklikleri 15.6 m, döşeme kalınlıkları ise 0.9 m dir. İç ve dış duvar kalınlıkları 0.4 m, dolgu duvar kalınlığı burç boyunca değişmekte olup ortalama 2 m dir.



(a) Model 1



(b) Model 2



(c) Model 3

Şekil 4.4. Yedikardeş Burcu için yapılan modellemeler

Birinci modellemede (model 1) yapı, dört farklı katı modelden oluşmaktadır. Bunlar, kalınlığı da göz önüne alınarak modellenmiş olan iç duvar, dış duvar, dolgu duvar ve üst döşemedir. Bu modellemede iç duvar ve dış duvar ince yonu taş duvarlar olup ara duvar ise moloz bazalt taşlarının harçla birleştirildiği dolgu duvardır. Yapıda tonozlar tarafından taşınan 2 m lik toprak dolgu bulunmaktadır. Modellemede ise bu toprak dolgu döşeme tarafından taşınmaktadır. Dış duvar ve iç duvarın modellenmesinde kullanılan malzemelerin özellikleri aynı olup, modele tanımlanan malzemelerin mekanik özellikleri, bazalt malzemesiyle kireç harcının mekanik özelliklerinin homojenleştirilme işlemi sonucunda elde edilen değerleridir. Dolgu duvarın modellemesinde kullanılan malzemeler moloz taşlar ve kireç harcının mekanik özelliklerinin homojenleştirme işlemi sonucu elde edilen malzeme değerleridir. Tonozlar tarafından taşınan döşeme modellemesinde kullanılan malzeme değerleri ise harman tuğlası ve kireç harcının mekanik özelliklerinin homojenleştirilme işlemi sonucu elde edilen malzeme değerleridir.

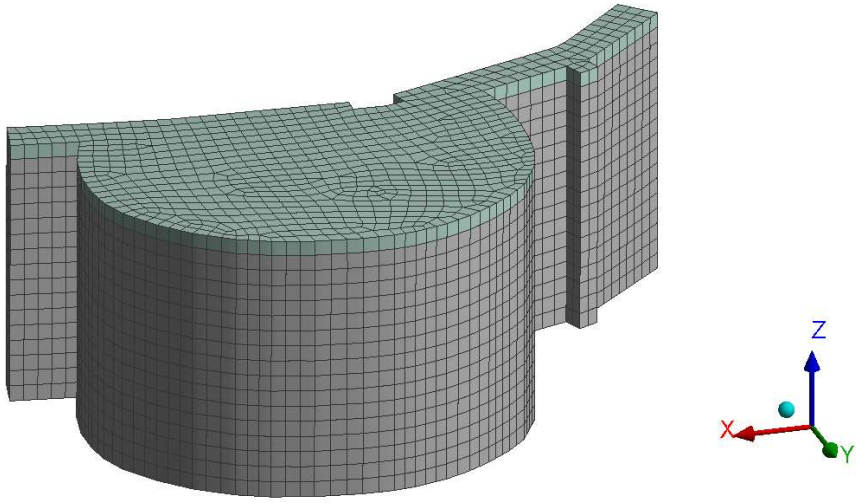
İkinci modellemede (model 2) yapı üç farklı katı elemandan oluşmaktadır. Bunlar iç duvar, dış duvar ve döşemedir. İç ve dış duvarlar ince yonu taş duvarlar olup, toprak dolguyu döşeme tarafından taşınmaktadır. Dış duvar ve iç duvarın modellenmesinde kullanılan malzemelerin özellikleri aynı olup, modele tanımlanan malzemelerin mekanik özellikleri, bazalt malzemesiyle kireç harcının mekanik özelliklerinin homojenleştirilme işlemi sonucunda elde edilen değerleridir. Tonozlar tarafından taşınan döşeme modellemesinde kullanılan malzeme

değerleri ise harman tuğlası ve kireç harcının mekanik özelliklerinin homojenleştirilme işlemi sonucu elde edilen malzeme değerleridir.

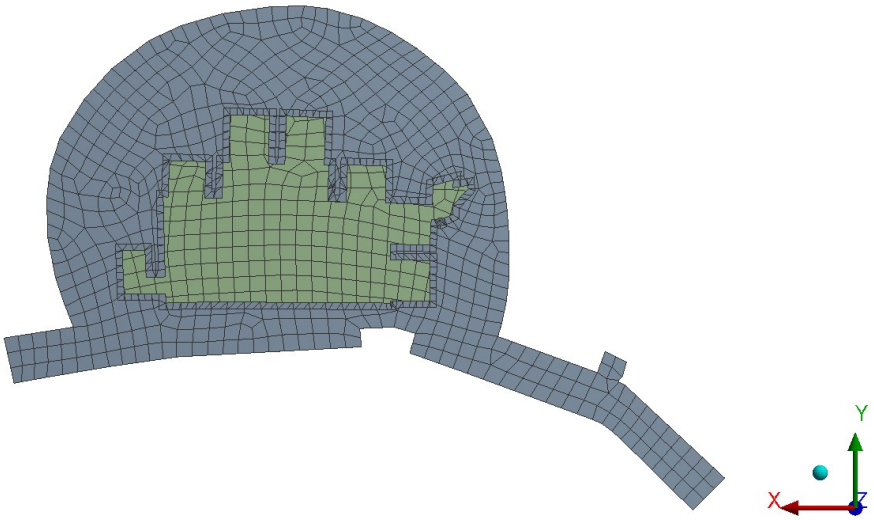
Üçüncü modellemede (model 3) yapı iki farklı katı elemandan oluşmaktadır. Bunlar duvar ve toprak dolguyu taşıyan döşemedir. Dış duvarın modellemesinde kullanılan malzeme özellikleri bazalt malzemesiyle kireç harcının mekanik özelliklerinin homojenleştirilme işlemi sonucunda elde edilen değerleridir. Tonozlar tarafından taşınan döşeme modellemesinde kullanılan malzeme değerleri ise harman tuğlası ve kireç harcının mekanik özelliklerinin homojenleştirilme işlemi sonucu elde edilen malzeme değerleridir.

Burç modellerinde sınır şartları belirlenirken burcun tabanı ankastre olarak mesnetlenmiştir. Burcun sağında ve solunda uzanan duvarların ilk olarak ankastre olarak modellenmiş ancak analizlerden sağlıklı sonuçlar alındığı düşünülmediğinden yüzeyleri X yönünde sabit, Y ve Z yönünde serbest olacak şekilde modellenmiştir. Burcun statik analizinde, burcun kendi ağırlığının yanısıra TS498'den (Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri) alınan kar yükü ve hareketli yük etki ettirilmiştir.

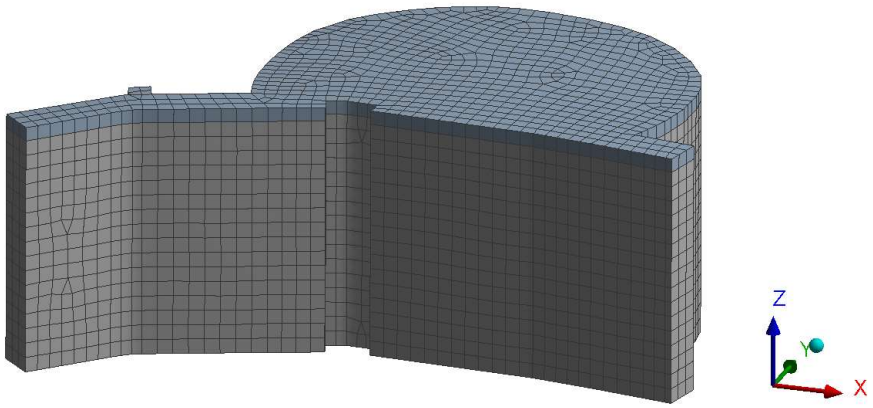
Burcun sonlu eleman modelleri ve eksen takımı Şekil 4.5'de verilmiştir. Model 1, 133488 düğüm noktası ve 29459 katı elemandan, model 2, 88488 düğüm noktası ve 20086 katı elemandan, model 3 ise 63877 düğüm noktası ve 16555 katı elemandan oluşmaktadır. Katı elemanın boyutları 0.5m ile 1m arasında değişmektedir. Burç modellerinin sonlu elemanlarının oluşturulmasında kullanılan katı eleman modeli Şekil 4.6' de verilmiştir.



a) Model 1

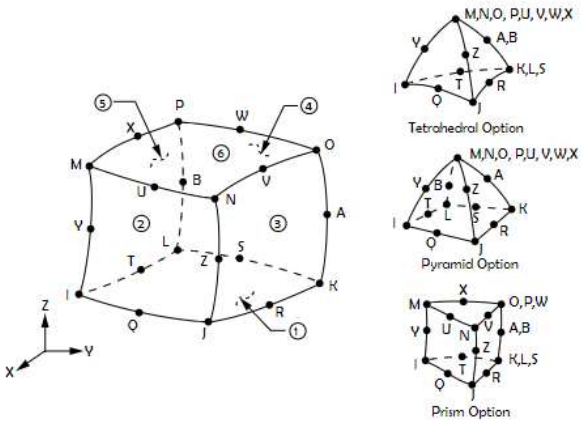


b) Model 2



c) Model 3

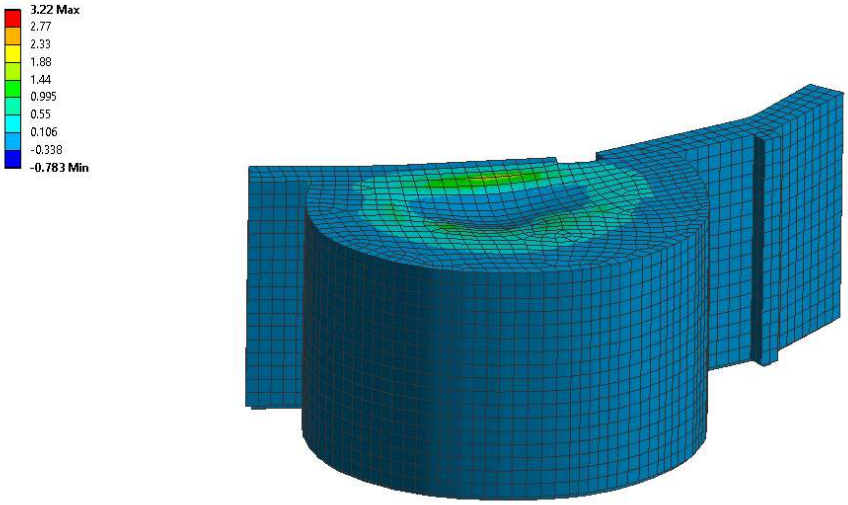
Şekil 4.5. Yedikardeş burcunun sonlu eleman modelleri



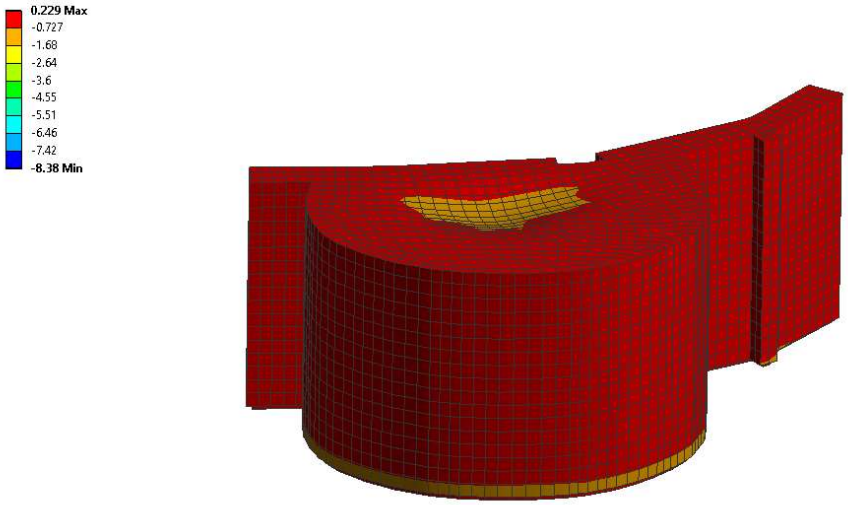
Şekil 4.6. Üç boyutlu katı eleman modeli

4.3. Yedikardeş Burcunun Yapısal Analizleri

Yedikardeş burcuna için oluşturulan modellerin statik yükler altındaki oluşan maksimum ve minimum asal gerilmeleri incelenmiştir. Model 1 için oluşan maksimum asal gerilme 3.22 MPa, minimum asal gerilme ise 0.229 MPa bulunmuştur. Model 2 için maksimum asal gerilme 1.3 MPa, minimum asal gerilme ise 0.0809 MPa bulunmuştur. Model 3 için maksimum asal gerilme 1.84 MPa, minimum asal gerilme ise 0.0625 MPa bulunmuştur. (Şekil 4.7.,Şekil 4.8.,Şekil 4.9.). Bulunan değerler Çizelge 4.1.'de gösterilmiştir. Yedikardeş burcunun düşey yükler altındaki analiz sonuçlarından, Yedikardeş burcunun mevcut durumunun düşey yük taşıma güvenliğinin yeterli olduğu görülmüştür

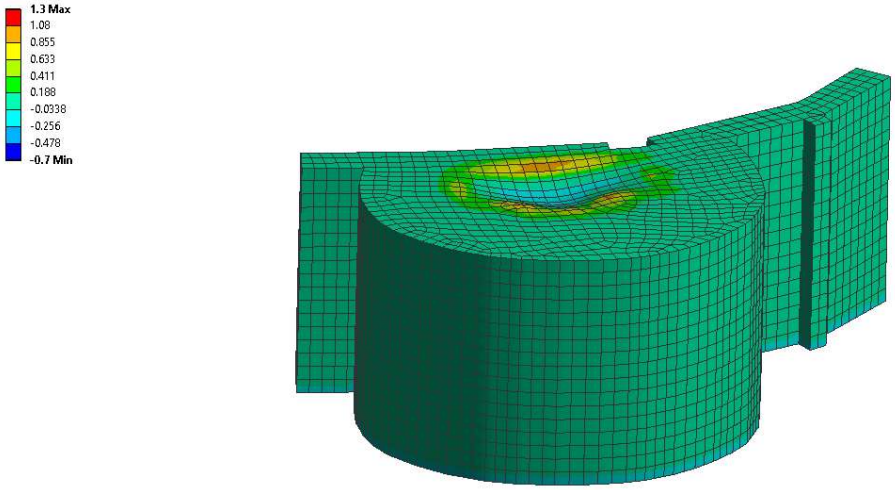


a) Model 1'de oluşan maksimum asal gerilme (MPa)

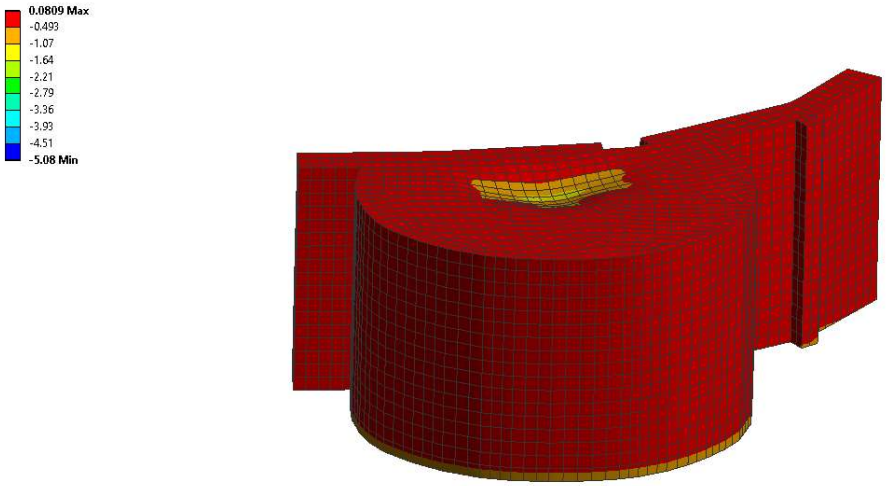


b) Model 1'de oluşan minimum asal gerilme (MPa)

Şekil 4.7. Model 1 de oluşan maksimum ve minimum asal gerilmeler (MPa)

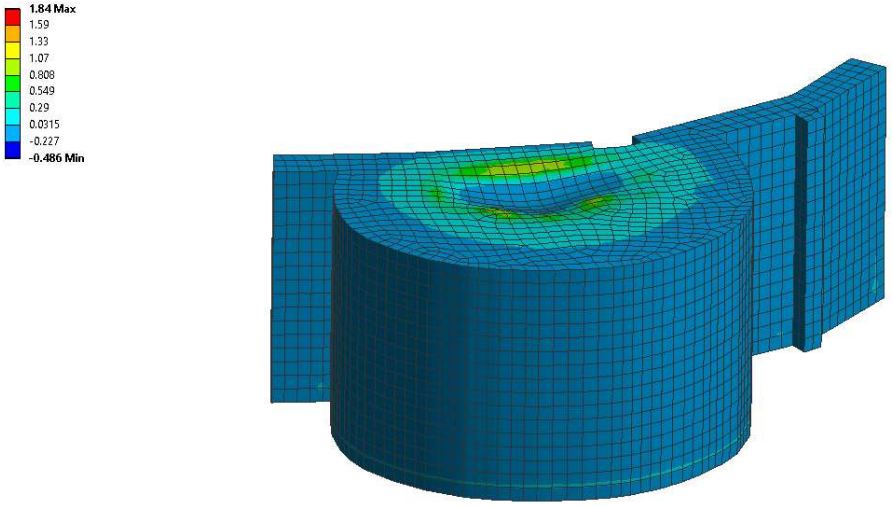


a) Model 2'de oluşan maksimum asal gerilme (MPa)

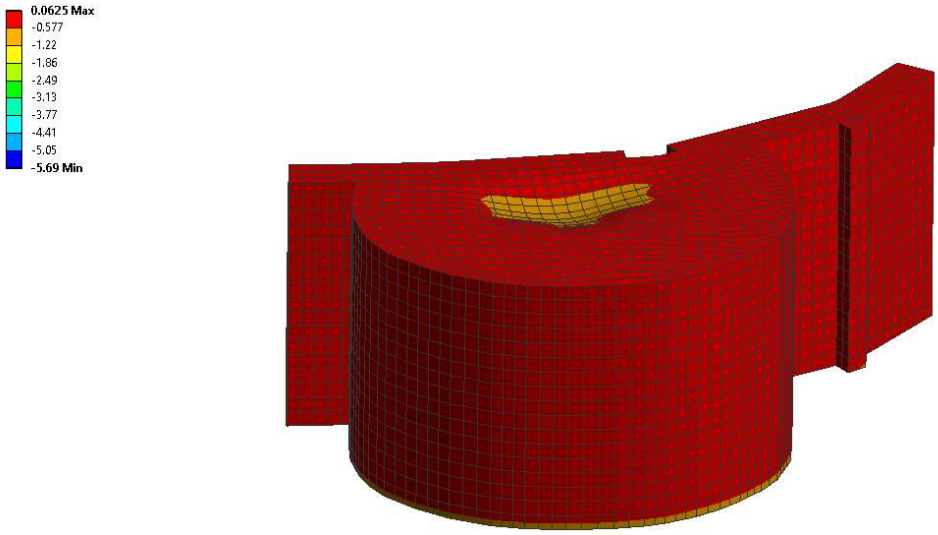


b) Model 2'de oluşan minimum asal gerilme (MPa)

Şekil 4.8. Model 2'de oluşan maksimum ve minimum asal gerilmeler (MPa)



a) Model 3'de oluşan maksimum asal gerilme (MPa)



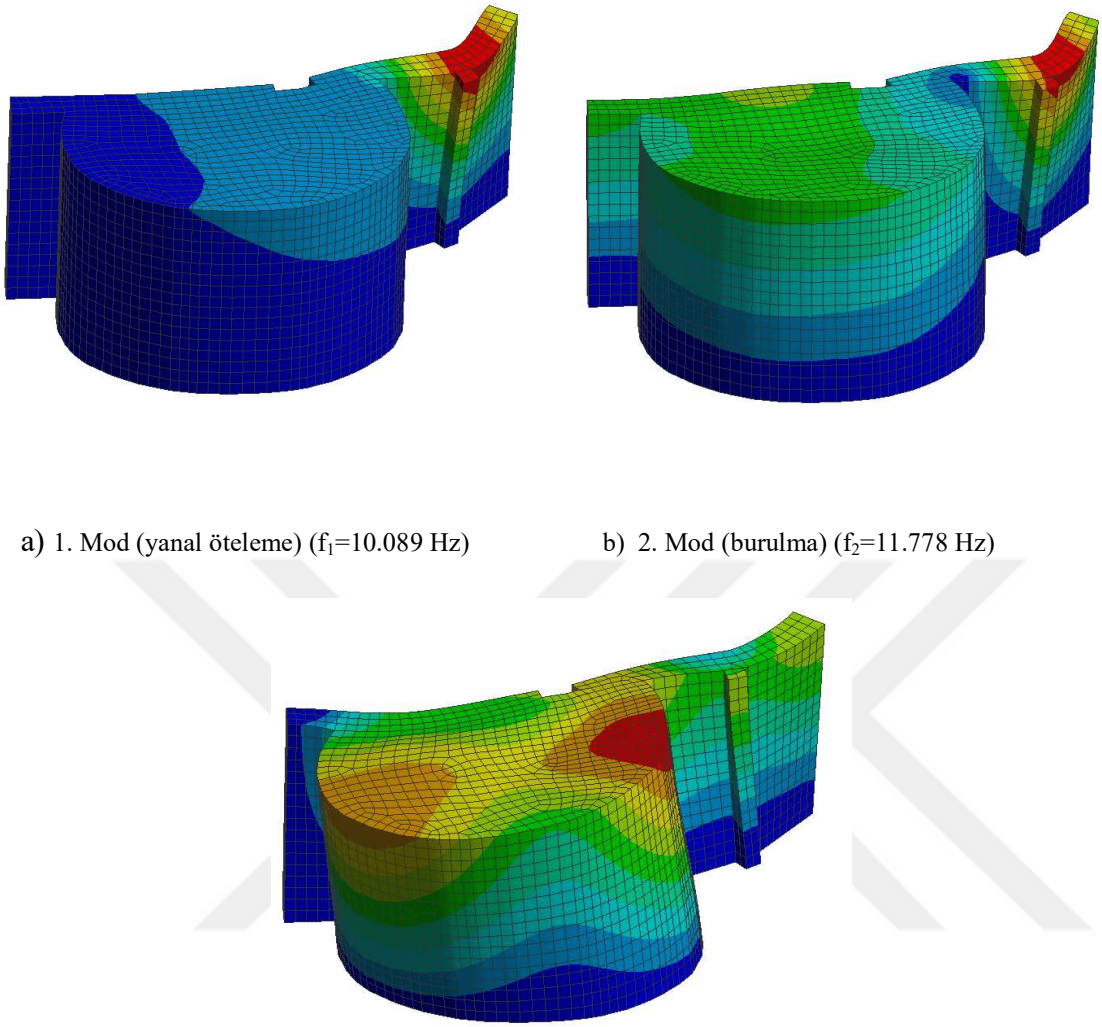
b) Model 3'de oluşan minimum asal gerilme (MPa)

Şekil 4.9. Model 3'de oluşan maksimum ve minimum asal gerilmeler (MPa)

Çizelge 4.1. Model 1,Model 2 ve Model 3'de oluşan maksimum ve minimum asal gerilmeler

	Maksimum Asal Gerilme (MPa)	**Minimum Asal Gerilme (MPa)**
Model 1	3.22	0.229
Model 2	1.3	0.0809
Model 3	1.84	0.0625

Her üç modelin modal ve spektral analizleri yapılmıştır. Model 3 ün modal analiz sonucu elde edilen mod şekilleri diğer modellere göre daha anlamlı çıkmıştır. Bu modele ait ilk 12 mod incelenmiş, ilk 3 mod şekli verilmiştir (Şekil 4.10).Bulunan değerler çizelge 4.2.'de gösterilmiştir. Frekans değerleri 10.089-29.75 Hz aralığında değişmektedir. Analiz sonuçlarına göre 1. mod şekli yanal öteleme 2. ve 3. mod şekilleri burulma olarak gözlenmiştir



a) 1. Mod (yanal öteleme) (f_1=10.089 Hz)

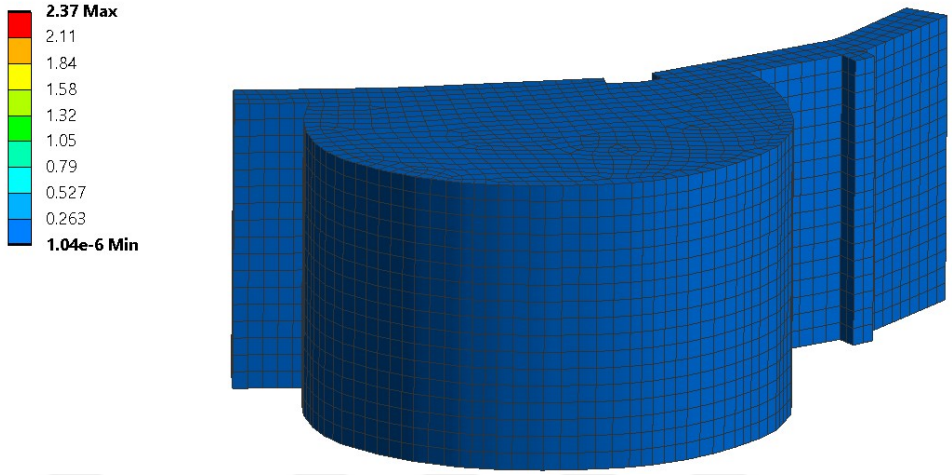
b) 2. Mod (burulma) (f_2=11.778 Hz)

c) 3. Mod (burulma) (f_3=13.511)

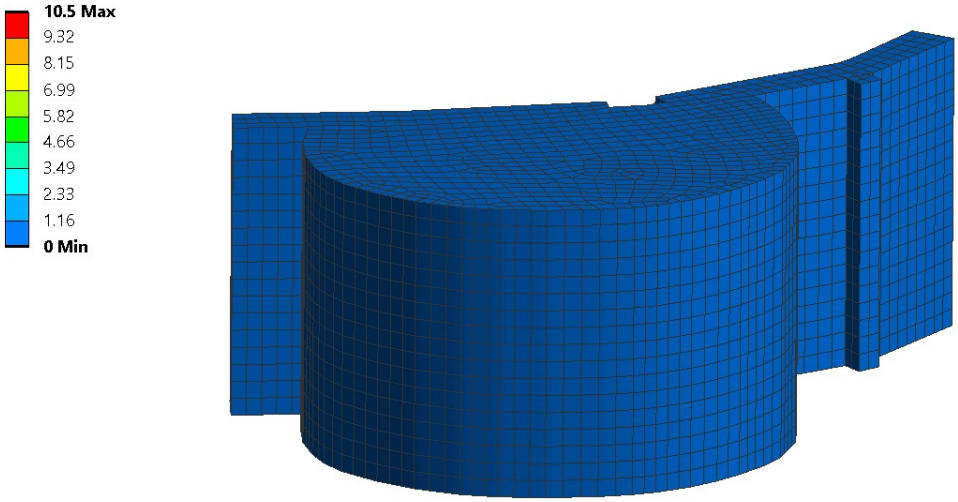
Şekil 4.10. Model 3'ün frekans değerleri ve mod şekilleri

X ve Y yönü doğrultusundaki spektral analizler sonucunda Model 1, 2 ve 3 te oluşan gerilmeler ve şekil değiştirmeler şekilde verilmiştir. Yedikardeş burcu için hazırlanan üç modelin X ve Y yönleri için yapılan spektral analizlerden elde edilen sonuçlarına göre, rijit bir yapı olan burcun gerilme ve şekil değiştirme değerleri oldukça küçük çıkmıştır. Model 1 için maksimum gerilme 2.37 MPa, maksimum şekil değiştirme 10.5 mm bulunmuştur. Model 2 için maksimum gerilme 0.921 MPa, maksimum şekil değiştirme 1.79 mm, Model 3 için ise maksimum gerilme 0.349 MPa maksimum şekil değiştirme 0.5 mm bulunmuştur. Büyük hacimli bu yapı için gerilme ve şekil değiştirmelerin her üç model için de oldukça küçük olduğu söylenebilir. Ancak, modelde yapılan değişikliklerin analiz sonuçlarını önemli ölçüde etkilediği

görülmektedir. Bu tür büyük hacimli, çok katmanlı ve sürekli bir sistemin parçası olan tarihi yapılarda modellemenin sonuçlara etki ettiği açıktır (Şekil 4.11., Şekil 4.12., Şekil 4.13.).

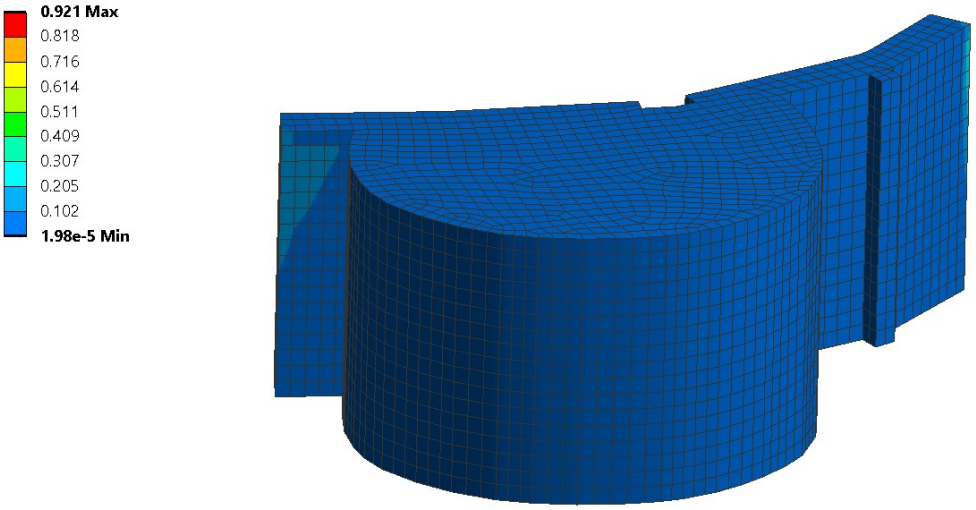


a) Model 1'de oluşan gerilme (MPa)

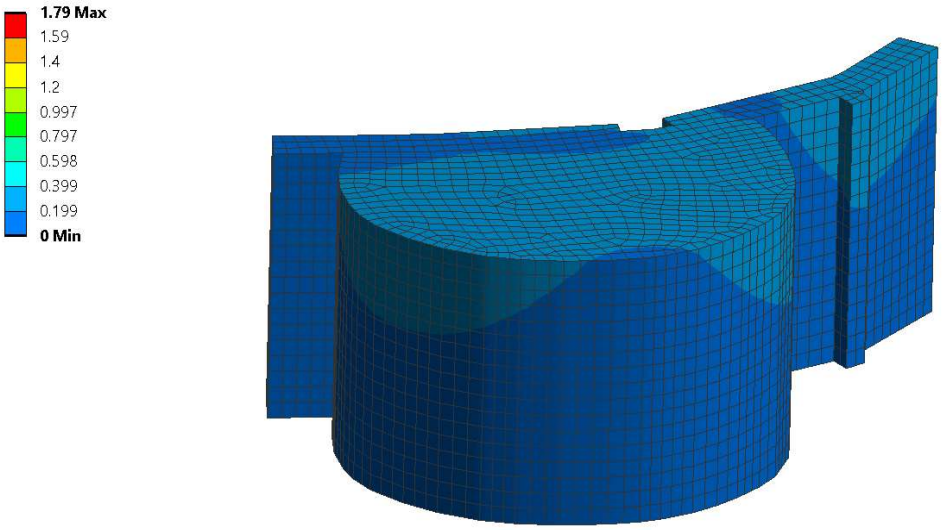


b) Model 1'de oluşan şekil değiştirme (mm)

Şekil 4.11. Spektral analiz sonucu Model 1 de oluşan gerilme (MPa) ve şekil değiştirmeler (mm)

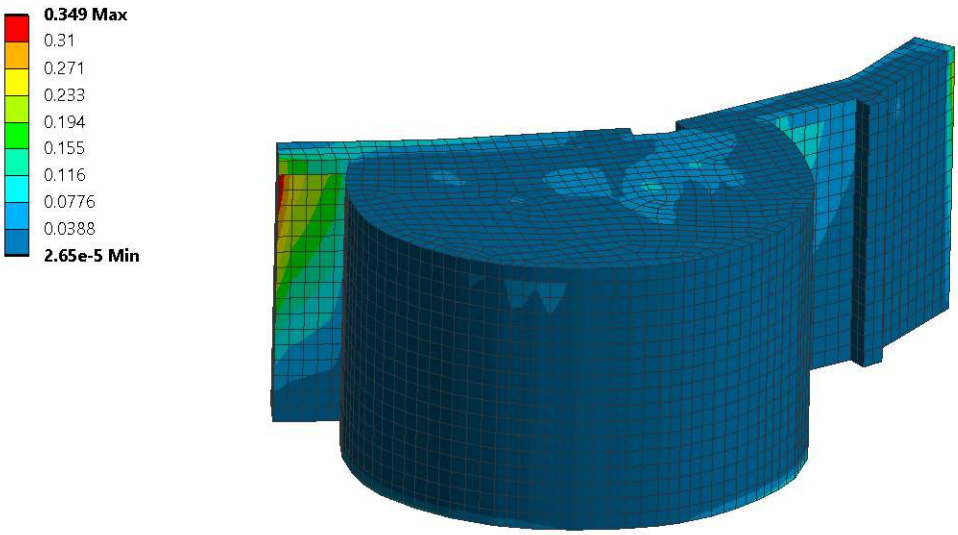


a) Model 2'de oluşan gerilme (MPa)

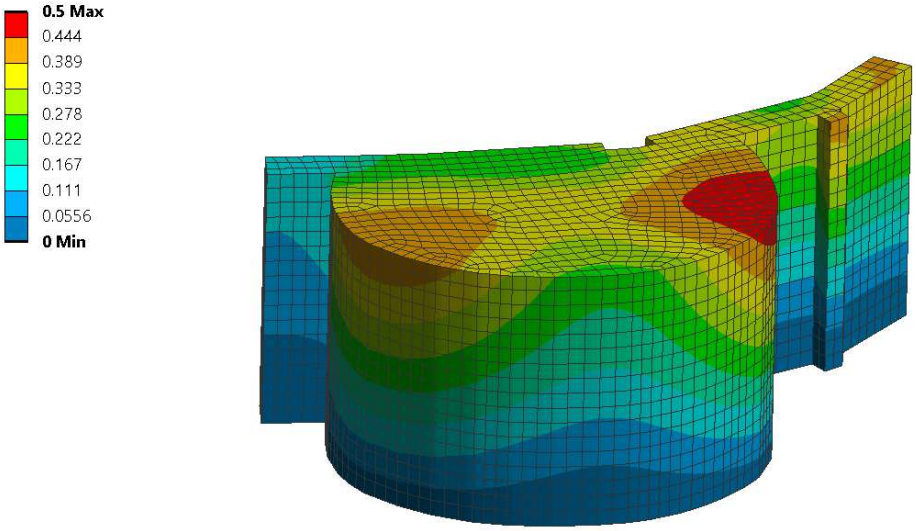


b) Model 2'de oluşan şekil değiştirme (mm)

Şekil 4.12. Spektral analiz sonucu Model 2 de oluşan gerilme (MPa) ve şekil değiştirmeler (mm)



a) Model 3'de oluşan gerilme (MPa)



b) Model 3'de oluşan şekil değiştirme (mm)

Şekil 4.13. Spektral analiz sonucu Model 3 de oluşan gerilme (MPa) ve şekil değiştirmeler (mm)

Çizelge 4.2. Spektral analiz sonucu Model 1 Model 2 ve Model 3'de oluşan maksimum gerilme ve şekil değiştirmeler

	Maksimum Gerilme (MPa)	**Maksimum Şekil Değiştirme (mm)**
Model 1	2.37	10.5
Model 2	0.921	1.79
Model 3	0.349	0.5

Yedikardeş burcunun spektral analiz sonucu oluşan gerilme ve şekil değiştirmeleri tarihi yapılar için deprem risklerinin yönetimi kılavuzuna göre tanımlanan hasar durumları doğrultusunda değerlendirilmiştir.

Tarihi yapılar için deprem risklerinin yönetimi kılavuzuna göre, tarihi yapıların performans düzeyleriyle ilgili üç sınır durumu tanımlanmaktadır. Bunlar, sınırlı hasar, kontrollü hasar ve göçme öncesi hasar sınır durumlardır. Doğrusal hesap yöntemi kullanılarak düşey yük ve azaltılmamış öngörülen deprem etkisinde bulunan hesap dayanımların aşılmadığı ve azaltılmamış deprem etkisinde öteleme oranı %0.3 sınırının aşılmadığı durumlarda, yapının sınırlı hasar performans seviyesinde olduğu kabul edilmektedir. Bu yaklaşıma göre Yedikardeş burcunun da sınırlı hasar performans seviyesinde olduğu değerlendirilmiştir. Bu seviyenin, yapının taşıyıcı sistem elemanlarında sınırlı düzeyde hasarın meydana geldiği (doğrusal olmayan davranışın sınırlı kaldığı) hasar düzeyine karşı gelmektedir.

Kılavuza göre tarihi yapıların önemine göre seçilebilecek performans düzeyleri, evrensel öneme sahip olan, ulusal öneme sahip olan ve yerel öneme sahip olan yapılar olarak gruplandırılmıştır. Yedikardeş burcunun evrensel öneme sahip tarihi yapı grubunda olduğu göz önüne alınarak spektral analiz aşamasında kullanılmak üzere seçilen deprem yer hareketi düzeyinin kılavuz ile uyumlu olduğu değerlendirilmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmada, evrensel ölçekte öneme sahip olan tarihi Diyarbakır surlarına ait en önemli burçlardan biri olan Yedikardeş burcunun mevcut durumu değerlendirilmiş, üç boyutlu sonlu eleman modeli üç farklı şekilde oluşturulmuştur. Burç ve sur duvarları makro modelleme tekniğiyle modellenmiş, düşey ve yatay yükler altında statik ve dinamik analizleri yapılmıştır.

Yedikardeş burcunun mevcut konumuna ait deprem verilerine AFAD' ın Türkiye deprem tehlike haritaları interaktif web uygulaması ile ulaşılmıştır. Böylece, kısa ve 1 saniye periyot için spektral ivme katsayıları, yerel zemin etki katsayıları, en büyük yer ivmesi ve yer hızı değerleri bulunmuştur. Yedikardeş burcu için oluşturulan modellerin statik ve dinamik analizleri ANSYS programı kullanılarak yapılmıştır.

Yedikardeş burcunun düşey yükler altındaki analiz sonuçlarından, Yedikardeş burcunun mevcut durumunun düşey yük taşıma güvenliğinin yeterli olduğu görülmüştür. Ancak, tonoz, harç ve bazalt taşta aşınma ve bozulmalar oluşması durumunda, yapının yeni durumunun tekrar analiz edilmesi gerekmektedir.

Yedikardeş burcu için oluşturulan modellerde burç duvarları arasındaki temas yüzeyleri ve sınır şartları manuel olarak tanımlanmış olup, sonraki çalışmalarda sınır şartlarının farklı olarak tanımlandığı modellemelerin de yapılması hedeflenmektedir.

X ve Y yönü doğrultusundaki spektral analizler sonucunda Model 1, 2 ve 3 te oluşan gerilmeler ve şekil değiştirmeler elde edilmiştir. Spektral analiz sonuçlarına göre her üç modelde bulunan gerilme ve şekil değiştirmeler küçük değerler çıkmıştır. Ayrıca, modelde yapılan değişikliklerin analiz sonuçlarını önemli ölçüde etkilediği görülmektedir. Çalışmada, bu tür büyük hacimli, çok katmanlı ve sürekli bir sistemin parçası olan tarihi yapılarda modellemenin sonuçlara ne denli etki ettiği görülmüş olmaktadır.

Yedikardeş burcunun X ve Y yönleri için yapılan statik ve dinamik analizlerden elde edilen sonuçlara göre, rijit bir yapı olan burç için oluşturulan üç ayrı modele ait gerilme ve şekil değiştirme değerlerinin oldukça küçük olduğu gözlenmiştir.

Yedikardeş burcunun spektral analiz sonucu oluşan gerilme ve şekil değiştirmeleri tarihi yapılar için deprem risklerinin yönetimi kılavuzuna göre tanımlanan hasar durumları doğrultusunda değerlendirilmiştir. Tarihi yapılar için deprem risklerinin yönetimi kılavuzuna göre, doğrusal hesap yöntemi kullanılarak düşey yük ve azaltılmamış öngörülen deprem etkisinde bulunan hesap dayanımlarının aşılmadığı ve azaltılmamış deprem etkisinde öteleme oranı %0.3 sınırının aşılmadığı durumlarda, yapının sınırlı hasar performans seviyesinde olduğu

kabul edilmektedir. Bu yaklaşıma göre Yedikardeş burcunun da sınırlı hasar performans seviyesinde olduğu değerlendirilmiştir.

Yedikardeş burcunun temeli bazalt kayaya mesnetlendiği için oturma gözlenmemiştir, ancak zeminde herhangi bir deformasyon ve buna bağlı olarak burçta farklı oturma gözlenmesi durumunda yeni durumun oluşturulacak modellerde göz önüne alınması gerekecektir. Böyle bir durum için yapı zemin etkileşiminin hesaba katılması önerilmektedir.

Makro modellemenin yanısıra mikro veya detaylı mikro modelleme yapılarak yapının taş ve harç etkileşiminin de incelenmesi önerilmektedir. Ancak, bu tür büyük hacimli tarihi yapılarda mikro modellemeden elde edilen sonuçlarda hata payının olabileceği de göz ardı edilmemelidir. Çalışma sonunda, büyük hacimli tarihi yapılarda gerçek davranışı yansıtan modelin, yapının kendi özel durumuna göre değişebildiği görülmüştür. Böylece, bir tarihi yapıda davranışı iyi yansıtan modelin, başka bir tarihi yapıda aynı oranda yansıtamayabileceği anlaşılmış olmaktadır.

Çalışmada, tarihi yapıların mevcut durumlarının iyi gözlenmesi, hasarların ve hasar oluşum mekanizmalarının detaylı değerlendirilmesi gerektiği, yapı modellenirken yapı davranışını en iyi temsil edecek modellemenin seçilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

6. KAYNAKLAR

AFAD, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı.

Akatay, M. 2014. Diyarbakır Bazaltlarının Bazı Önemli Malzeme Özelliklerinin Tahribatsız Yöntemlerle Belirlenebilirliliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır. 51s.

Aksoy, E. Aydoğmuş, F. 2017. Tarihi Yapıların Deprem Analizi Ve Kargı Han Örneği. Uluslararası Katılımlı 6. Tarihi Yapıların Korunması ve Güçlendirilmesi Sempozyumu, Trabzon, 411-419.

ANSYS Inc. 2018.

Antep, B. 2018. Ahlat İlçesindeki Tarihi Yapıların Yapısal Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Bitlis Eren Üniversitesi Ve Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bitlis, 158.

Arun, G. 2005. Yığma Kagir Yapı Davranışı. Yığma Yapıların Deprem Güvenliğinin Arttırılması Çalıştayı, Ankara.

Aydın, T. Taylan, E. D. 2017. Darıderesi-II Göletinin Dinamik Davranışlarının ANSYS ile İncelenmesi. ***SDU Teknik Bilimler Dergisi***, 7(2): 10-17.

Ayhan, A. 2016. Süleymaniye Camii'nin Yerel Zemin Koşularına Bağlı Deprem Performansının Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 130.

Bayraktar, A. 2005. Tarihi Yığma Yapıların Depreme Karşı Güçlendirilmesi. Yığma Yapıların Deprem Güvenliğinin Arttırılması Çalıştayı, Ankara.

Bayraktar, A. 2006. Tarihi Yapıların Analitik İncelenmesi ve Sismik Güçlendirme Metotları. Beta Yayınları, 145, İstanbul.

Bayraktar, A. Altunışık, A. Türker, T. Sevim, B. 2007. Tarihi Köprülerin Deprem Davranışına Sonlu Eleman Model İyileştirilmesinin Etkisi. Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, 29-40.

Bayraktar A. , Hökelekli E. , Halifeoğlu M. F. , Mosallam A. 2018. Vertical Strong Ground Motion Effects On Seismic Damage Propagations Of Historical Masonry Rectangular Minarets. ***Engineering Failure Analysis***, 91: 115-128

Boynton, R.S. 1980. Chemistry and Technology of Lime and Limestone, John Wiley & Sons, 592s, New York

Böke, H., Akkurt, S., İpekoğlu, B., 2004. Tarihi Yapılarda Kullanılan Horasan Harcı ve Sıvalarının Özellikleri, ***Yapı Dergisi***. 69: 90-95.

Cebe, M. 2013. Diyarbakır Kültür Varlıklarını Koruma Bölge Kurulu Diyarbakır Surları ve Rölöve Raporları.

Çağlar, H., Çağlar, A. ,Korkmaz S. Z. , Demirel B. , Bayraktar, O. Y. 2018. Geleneksel Kastamonu Evlerinin İnşasında Kullanılan El İle Üretilmiş Harman Tuğla İle Fabrikasyon Olarak Üretilen Tuğlanın Fiziksel, Mekanik Ve Yapısal Karakterizasyon Özelliklerinin Karşılaştırılması. ***Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi***, 30(2): 39-48.

Çamlıbel, N. 1988, Sinan Mimarlığında Strüktürün Analitik İncelenmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, 300s, İstanbul.

Çamlıbel, A. N. 2000. Temellerin Takviyesi. Birsen Yayınevi, 180s, İstanbul.

Çoruhlu, B. 2017. Doğu Karadeniz Bölgesindeki Tek Açıklıklı Kemer Köprüler İçin Doğal Frekans, Yer Değiştirme Ve Gerilme Formülleri. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 208.

Dabanlı, Ö. 2008. Tarihi Yığma Yapıların Deprem Performansının Belirlenmesi. Yüksek Lisans, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 170.

Eurocode 6. 2005. Design of Masonry Structures.

Erkul, B. 2018. Tarihi Yığma Yapıların Performans Analizi: Geleneksel Bayburt Evi Örneği. Yüksek Lisans, Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bayburt, 184s.

Gönül, A. Sakcalı, G.B. 2019. Tarihi Irgandı Köprüsünün Deprem Performansı. 5. Deprem Mühendisliği Ve Sismoloji Uluslararası Konferansı, Ankara.

Güner, Y. 2018. Mevcut Tarihi Yığma Yapıların Performans Analizi. Yüksek Lisans, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 130.

Jafarov, O. Köksal, O. H. Doran, B. Karakoç, C. 2012. Donatısız Yığma Duvarların Doğrusal Olmayan Davranışı Üzerine Bir İrdeleme. ***Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi***, 30: 133-143.

Kahveci, A. E. 2008. Diyarbakır Yöresinde Bazalt Taşının Yapı Malzemesi Olarak Kullanımının İncelenmesi Üzerine Bir Araştırma. Yüksek Lisans, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 117.

Kocaman, İ. Okuyucu, D. Kazaz, İ. 2019. Tarihi Yapı Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesinde Yeni Bir Yöntem Önerisi: Lala Paşa Camii Örneği. ***Teknik Dergi***, 537; 9125-9146.

Lourenço, P.B. 1996. Computational Strategies for Masonry Structures, Ph.D. Thesis, Delft University of Technology, Delft, Netherlands. 210.

Lourenço, P.B. 1998. Experimental and Numerical Issues in The Modelling of The Mechanical Behavior of Masonry, Structural Analysis of Historical Constructions II, Barcelona. 58-91.

Lourenço, P. B., Vasconcelos, G. and Ramos, L. 2001. Assessment of the stability conditions of a Cistercian Cloister, Studies in Ancient Structures: Proceedings of the 2nd International Congress. İstanbul. Cilt II. S: 669-678.

Lourenço, P. B. 2006. Structural Behavior of Civil Engineering Structures: Highlight in Historical And Masonry Structures. Workshop on Civil Engineering Research, Portugal.

Mahrebel H.A. 2006. Tarihi Yapılarda Taşıyıcı Sistem Özellikleri, Hasarlar, Onarım ve Güçlendirme Teknikleri. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. 113s.

Milli Eğitim Bakanlığı, 2013. İnşaat Teknolojisi, Taşın Mimaride Kullanımı, Ankara.

Nabi M. Duvarlar ve Duvar Malzemeleri. 2016. [https://docplayer.biz.tr/16605494-Duvarlar-ve-duvar-malzemeleri.html]. 20.10.2019.

Nabikoğlu A. ,Dalkılıç N. 2015. Diyarbakır Surlarının Günümüzdeki Durumuna Yeni Bir Bakış, ***Restorasyon ve Konservasyon Çalışmaları Dergisi***, 15: 23-35.

Oğuzmert, M. 2002. Yığma Minarelerin Dinamik Davranışları. Yüksek Lisans, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 50.

Onat, O. Sayın, E. 2015. Tarihi Tağar Köprüsünün Doğrusal Olmayan Sismik Analizi. 5. Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu, Erzurum, 301-311.
Özen, G., Ö. 2006. Comparison Of Elastic And Inelastic Behavior Of Historic Masonry Structures At The Low Load Levels. Yüksek Lisans Tezi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara. 94s.

Özer, S. 2006. Geleneksel Yığma Yapılarda Srüktürel Elemanların Analizi. Yüksek Lisans Tezi. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 108 s.

Özdemir, H. 2018. Tarihi Yapıların Bilgisayar Destekli Analizi: Patara Antik Kent Tiyatrosu Sahne Yapısı Örneği. Yüksek Lisans, Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya, 106.

Özmen, A. 2019. Yakın Ve Uzak Fay Hareketlerine Maruz Tarihi Yığma Bir Köprünün Sismik Performansının Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 63.

Sesigür, H., Çelik O. C., Çıllı F. 2007. Tarihi Yapılarda Taşıyıcı Bileşenler, Hasar Biçimleri, Onarım Ve Güçlendirme. ***İstanbul Bülten***, 89: 10-21.

Sevim, B. Bayraktar, A. Altunışık, A. Atamtürktür, S. Birinci, F. 2011. Finite Element Model Calibration Effects on The Earth Quake Response Of Masonry Arch Bridges. ***Finite Elements in Analysis and Design***, 47(2011); 621–634.

Soygeniş, M., 1999. Yapı 2, Birsen Yayınevi, 254, İstanbul.

Şen, B. 2003. Modeling And Analysis Of The Historical Masonry Structures. Yüksek Lisans, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 67.

Tarihi Yapılar İçin Deprem Risklerinin Yönetimi Kılavuzu, 2018.

Tetik, T. 2015. Tarihi Yığma Yapıların Deprem Performansı Ve Güçlendirme Teknikleri. Yüksek Lisans, İstanbul Teknik Üniversitesi Deprem Mühendisliği ve Afet Yönetimi Enstitüsü, İstanbul, 139.

Toker, S. Ünay, A. İ. 2004. Mathematical Modeling And Finite Element Analysis Of Masonry Arch Bridges. ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi***, 17(2); 129-139.

Ulkay, S., 1978. Yapı Bilgisi, YTÜ Mimarlık Fakültesi Baskı İşliği, İstanbul.

Ulukaya S. , Yüzer N. 2017. Tarihi Yapılarda Taşıyıcı Tuğla Duvarın Elastisite Modülünün Deneysel Ve Matematiksel Model İle Belirlenmesi. Uluslararası Katılımlı 6. Tarihi Yapıların Korunması ve Güçlendirilmesi Sempozyumu, 2-4 Kasım, 533-542.

Ural, A. 2005. Tarihî Kemer Köprülerin Sonlu Eleman Metoduyla Analizi. Deprem Sempozyumu, Kocaeli, 408-413.

Ural, A. Doğangün, A. 2007. Mikro Modelleme Tekniği Kullanılarak Yığma Yapıların Deprem Performanslarının İncelenmesi. Uluslararası Deprem Sempozyumu, Kocaeli, 323-331.

Ural, A. 2009. Yığma Yapıların Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Davranışlarının İncelenmesi, Doktora tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon. 230s.

Uray, A. 2018. Tarihi Yapıların Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Analizinin İznik Yeşil Camii Örneğinde İncelenmesi. Yüksek Lisans, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 93.

Ünay, A.,İ., 1997. A Method for the Evaluation of the Ultimate Safety of Historical Masonry Structures Doktora Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara. 242.

Ünay, A.İ., 2002. Tarihi Yapıların Depreme Dayanımı, ODTÜ Yayınları, 172, Ankara.

Wilson, E. L. 2018. Analysis Reference Manual For SAP2000, CSI, Computers and Structures. Berkeley.

Yazgan, İ. O. Ünay, A. İ. 2019. Bursa, Yenişehir Sinan Paşa Külliyesi İmaretinin Sayısal Modellenmesi Ve Yapısal Analizi. ***Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi***, 8(2): 1193-1203.

Yıldızoğlu, H. 2019. Tarihi Yığma Yapıların Performans Analizi: Okul Binası Örneği. Yüksek Lisans, Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bayburt, 113.

Yılmaz, P. 2006. Tarihi Yapıların Modellenmesi ve Deprem Güvenliklerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya. 61s.

kulturportali.gov.tr . 10.10.2019

structurae.net .05.10.2019

whc.unesco.org. 20.12.2019

ÖZGEÇMİŞ

Rojbin İZGİ 1992 yılında Diyarbakır' da doğdu. Lise Öğrenimini Rekabet Kurumu Anadolu Lisesinde tamamladı. 2017 yılında Fırat Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünden mezun oldu. Bir süre özel sektörde çalıştıktan sonra 2017 yılında yüksek lisans eğitimine başladı. Yüksek lisans eğitimi Dicle Üniversitesinde devam etmektedir.

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEZ İNTİHAL FORMU

ÖĞRENCİ BİLGİLERİ	
ADI VE SOYADI	Rojbin İZGİ
ÖĞRENCİ NO	18806207
EĞİTİM – ÖĞRETİM YILI	2019-2020
YARIYIL	☒ Güz ☐ Bahar
ANABİLİM DALI	İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
PROGRAM	Yüksek Lisans
TEZ KONUSU	TARİHİ YAPILARIN YAPISAL ANALİZİ: DİYARBAKIR SURLARI ÖRNEĞİ
İNTİHAL RAPORU BİLGİLERİ	
RAPOR TÜRÜ	Tez Savunma Sınavı Sonrası
SAYFA SAYISI	79
BENZERLİK ORANI	%23
RAPORLAMA TARİHİ	05/02/2020

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın kapak sayfası, giriş, ana bölümler, sonuç ve tartışma kısımlarından oluşan toplam 79 sayfalık kısmına ilişkin, 05/02/2020 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından *Turnitin* adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan intihal raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 23 'tür.

Uygulanan filtrelemeler:

☐ Kabul/Onay sayfaları hariç,
☐ Kaynakça hariç
☐ Alıntılar hariç/dâhil
☐ Diğer

Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Programlarda Tez Çalışması İntihal Raporu Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edilmesi durumunda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

Rojbin İZGİ

05/02/2020

Dr. Öğretim Üyesi Mehmet Emin ÖNCÜ **Tez Danışmanı** 05/02/2020	**Prof. Dr. Z. Fuat TOPRAK** **Anabilim Dalı Başkanı** 05/02/2020

Formdaki bilgiler bilgisayar ortamında doldurulmalıdır. El yazısı ile doldurulan formlar geçersiz sayılmaktadır.