



T. C.

**KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE DOĞA BİLİMLER FAKÜLTESİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

**TBDY 2018'e GÖRE TARİHİ YIĞMA YAPILARIN ANALİZİ ve BİR ÖRNEK
SİLLE AK CAMİİ**

Ejazul Haq JAIHOON

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ağustos-2019

KONYA

TEZ KABUL VE ONAYI

Ejazul Haq JAIHOON tarafından hazırlanan “TBDY 2018’ e göre tarihi yağma yapıların analizi ve bir örnek sille ak camii” adlı tez çalışması 22/08/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof. Dr. M. Sami DÖNDÜREN

Danışman

Prof. Dr. Mehmet KAMANLI

Üye

Dr. Öğr. Üyesi. S. Kamil AKIN

İmza


.....

.....

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Hakan KARABÖRK

FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

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

DECLARATION PAGE

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

Ejazul Haq JAIHOON

Tarih: 22.08.2019



ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TBDY 2018'E UYGUN TARİHİ YIĞMA YAPILARIN ANALİZİ VE BİR ÖRNEK SİLLE AK CAMİİ

Ejazul Haq JAIHOON

Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Yapı Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mehmet KAMANLI

2019, 117 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Mehmet KAMANLI

Prof. Dr. M. Sami DÖNDÜREN

Dr. Öğr. Üyesi. S. Kamil AKIN

Kültürün önemli bir parçası olan tarihi binaların deprem gibi doğal afetler ve insanoğlunun yıpratıcı etkilerine karşı korumak ve gelecek nesillere aktarmak çok önemlidir. Bu tür yapıları korumak için tarihi binaların yapısal davranışlarını iyi bilmek gerekir. Tarihi yapıların depreme karşı güvenli olup olmadığını anlamak için yapıların deprem performans analizi yapılmalıdır. Günümüzde sonlu elemanlar yöntemi, tarihi binaların karmaşık geometri sistemlerinin modellenmesinde ve yapısal analizinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Çalışmaya örnek teşkil edecek tarihi yapı; Türk İslam Sanatı açısından önemli bir yere sahip olan Konya'daki Sille Ak Camii'dir. 1864 yılında inşa edilip 400 metrekarelik alanı ile Sille'nin en büyük camisidir. Tarihi Sille Ak Caminin mevcut durumuna göre deprem güvenliği TBDY 2018'e göre analitik hesabı yapılarak SAP 2000 programında yapısal analizi yapılmıştır. Bu çalışmada, yapının taşıyıcı sistemin durumu, kullanılan malzemelerin özellikleri, meydana gelen hasarların değerlendirilmesi, mevcut durumunun tespiti yapılarak gelecek nesillere taşınması, gerekli parametrelerin tartışılarak çözüm önerilerinin ortaya konması amaçlanmaktadır.

Anahtar Sözcük: Tarihi Yığma Yapı, Sonlu Elemanlar Yöntemi, TBDY-2018'e Göre Analiz, Sille Ak Camii.

ABSTRACT

MS THESIS

ANALYSIS OF HISTORICAL BUILDING STRUCTURES ACCORDING TO TBDY-2018 AND AN EXAMPLE SİLLE AK MOSQUE

Ejazul Haq JAIHOON

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
KONYA TECHNICAL UNIVERSITY THE DEGREE OF MASTER OF
SCIENCE IN CIVIL ENGINEERING**

Advisor: Prof. Dr. Mehmet KAMANLI

2019, 117 Pages

Jury

**Prof. Dr. Mehmet KAMANLI
Prof. Dr. M. Sami DÖNDÜREN
Asst. Prof. Dr. S. Kamil AKIN**

It is very important to protect the historical buildings, which are an important part of the culture, against natural disasters such as earthquakes and the destructive effects of human beings and to pass them on to future generations. To protect such structures, it is necessary to know the structural behavior of historical buildings. Earthquake performance analysis of the structures should be performed to see whether the historical buildings are safe from earthquakes. Today, the finite element method is widely used in the modeling and structural analysis of complex geometry systems of historical buildings.

The historical structure that will serve as an example for the study; Sille Ak Mosque in Konya, which has an important place in Turkish Islamic Art. Built in 1864, it is the largest mosque in Sille with an area of 400 square meters. According to TBDY 2018, the structural analysis of SAP 2000 program was performed by manual static calculation according to the current situation of the historical Sille Ak Mosque. In this study, it is aimed that evaluate the condition of the structural system, the properties of the materials used, the evaluation of the damages occurring, the determination of the current state of the structure to transfer the next generations, and the solution of the necessary parameters by discussing.

Keywords: Historical Masonry Building, Finite Element Method, Analysis According to TBDY-2018, Sille Ak Mosque.

ÖNSÖZ

Tez çalışmam boyunca bana yol gösteren, destek ve ilgisini hiçbir zaman esirgemeyen, bilgilerini sürekli benimle paylaşan çok kıymetli Danışman Hocam Sayın Prof. Dr. Mehmet KAMANLI'ya, Lisans ve yüksek lisans aşamasında bilgilerini aktaran ve üzerimde emeği geçen tüm hocalarıma, çalışmam boyunca desteğini esirgemeyen Fatih Mehmet AŞIK'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmam boyunca bana her türlü maddi ve manevi desteği olan, haklarını hiçbir zaman ödeyemeyeceğim sevgili babam Muhammad Rustam RAUFİ'ye ve sevgili annem S. RAUFİ'ye ve sevgili kardeşlerim'e ve sevgili nişanlım'a teşekkür ederim.

Ejazul Haq JAIHOON
KONYA-2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGE VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRILMASI	4
3. TARİHİ YIĞMA YAPILARIN TANIMI ve YAPI ÇEŞİTLERİ	7
3.1. Tarihi Yığma Yapıların Bileşenleri	16
3.1.1. Kemerler	16
3.1.2. Tonozlar	18
3.1.3. Kubbeler.....	18
3.1.4. Sütunlar ve ayaklar	21
3.1.5. Duvarlar	21
3.1.6. Temeller	22
3.1.7. Döşemeler	23
3.2. Tarihi Yığma Yapılarda Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri	26
3.2.1. Tuğla	26
3.2.2. Doğal taş malzeme.....	26
3.2.3. Harç.....	27
3.2.3.1. Kireç harcı ve sıvaları	28
3.2.3.2. Horasan harcı ve sıvaları.....	28
3.2.4. Kagir malzeme	29
3.2.5. Ahşap	29
4. TARİHİ YIĞMA YAPILARDA OLUŞAN HASARLAR ve NEDENLERİ	30
4.1. Zeminden Kaynaklanan Hasarlar.....	30
4.2. Taşıyıcı Sistem Tasarımındaki Hatalar	32
4.3. Hatalı Malzeme Kullanımı.....	33
4.4. Hasar Biçimlerinin Belirlenmesi	33
4.4.1 Taşıyıcı duvarlarda oluşan hasarlar	34
4.4.2. Kemer, tonoz ve kubbelerde oluşan hasarlar	36
4.4.3. Zeminden kaynaklanan hasarlar	40
5. TARİHİ YIĞMA YAPILARIN MODELLENMESİ ve ANALİZİ	42
5.1. Modelleme İlkeleri ve İdealleştirmeler	42
5.1.1. Geometrinin idealleştirilmesi.....	42
5.1.2. Malzemenin idealleştirilmesi.....	43
5.2. Modelleme Yöntemleri	47
5.2.1. Mikro modelleme yöntemi.....	47

5.2.2. Makro modelleme yöntemi.....	48
5.2.3. Sonlu elemanlar yöntemi	49
5.3. Analiz Yöntemleri.....	49
5.3.1. Doğrusal (lineer) analizi	49
5.3.2. Doğrusal olmayan (non-linear) analizi	50
5.3.3. Plastik analizi.....	50
5.3.4. Analiz yöntemlerinin karşılaştırılması.....	51
6. ÖRNEK ÇALIŞMA: SİLLE AK CAMİİ	53
6.1. Genel Bilgiler.....	53
6.1.1. Ak camii tanıtımı ve tarihçesi.....	53
6.1.2. Yapının mimari özellikleri.....	57
6.1.2.1. Yapım tekniği ve malzeme kullanımı	57
6.1.2.2. Plan tipi ve plan elemanları	57
6.1.3. Yapının geçirdiği onarımlar.....	59
6.2. TBDY 2018' e Göre Ak Camii Hesap Analizleri.....	59
6.3. Yapının Sap 2000 İle TDY-2007' e Göre Statik Analizi.....	80
6.3.1. Malzemenin tanımlanması.....	81
6.3.2. Deprem kuvvetlerinin hesabı	81
6.3.3. Binaya etkiyen yükler	82
6.3.4. Yük kombinasyonları.....	84
6.3.5. Analiz sonuçları	84
6.3.5.1. Modal analiz sonuçları	84
6.3.5.2. Eksenel gerilme sonuçları.....	85
6.3.5.3. Kayma gerilmesi sonuçları	89
6.3.5.4. Yer değiştirme sonuçları.....	92
6.4. Yapının Sap 2000 İle TBDY-2018' e Göre Statik Analizi.....	95
6.4.1. Malzemenin tanımlanması.....	95
6.4.2. Deprem hesabı için parametrelerin girilmesi.....	96
6.4.5. Analiz sonuçları	98
6.4.5.1. Modal analiz sonuçları	98
6.4.5.2. Eksenel gerilme sonuçları.....	99
6.4.5.3. Kayma gerilmesi sonuçları	102
6.4.5.4. Yer değiştirme sonuçları.....	105
6.4.6. Karşılaştırmalar.....	108
6.4.6.1. TBDY-2018 ile TDY-2007'ye göre yapılan analizin karşılaştırılması	108
6.4.6.2. Bilgisayar program analizinin el hesabıyla karşılaştırılması	110
6.5. Yapıda Mevcut Oluşan Hasar	110
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	112
KANAKLAR.....	114
ÖZEÇMİŞ (CV)	117

SİMGE VE KISALTMALAR

E	: Elastisite Modülü
G	: Kayma Modülü
γ	: Poisson oranı
KN	: Kilo newton
σ_{em}	: Basıç emniyet gerilmesi
MPa	: Mega Paskal
°C	: Derece
ε	: Deformasyon
σ	: Düşey gerilme
ℓ_d	: Duvarın taralı alan uzunluğu
A	: Brüt kat alanı
I	: Bina önem katsayısı
t	: Duvar kalınlığı
L	: Duvar uzunluğu
f_{em}	: Duvar basınç emniyet gerilmesi
f_d	: Duvar karakteristik basınç dayanımı
λ	: Narinlik ile ilgili kapasite azaltma katsayısı
h_k	: Kat yüksekliği
λ_m	: Yığma malzemesi dayanım azaltma katsayısı
λ_s	: Donatı çeliği akma gerilmesi azaltma katsayısı
$f_{em,d}$: Değerlendirme basınç emniyet gerilmesi
A_w	: Dolu duvar parçasının yatay en kesit alanı
W	: Binanın toplam ağırlığı
S_s	: Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı
S_1	: 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı
ZC	: Yerel zemin sınıfı
F_s	: Kısa period bölgesi için yerel zemin etki katsayısı
F_1	: 1.0 sanie periyod için yerel zemin etki katsayısı
S_{DS}	: Kısa periyod bölgesi için tasarım spektral ivme katsayısı
S_{D1}	: 1.0 saniye periyod için tasarım spektral ivme katsayısı
H_N	: Bina toplam yüksekliği
R	: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
D	: Dayanım fazlalığı katsayısı
g	: Yerçekimi ivmesi
$S_{ac}(T)$: Yatay elastik tasarım spektral ivmesi
$S_{acD}(T)$: Düşey elastik tasarım spektral ivmesi
$S_{de}(T)$: Yatay elastik tasarım spektral yerdeğiştirme
T	: Doğal titreşim periyodu
T_A	: Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu
T_{AD}	: Düşey elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu
T_B	: Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu
T_L	: Düşey elastik tasarım spektrumunda sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu
T_{BD}	: Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu
$R_a(T_1)$: Deprem yükü azaltma katsayısı
BKS	: Bina Kullanım Sınıfı
DD-2	: Deprem yer hareketi düzeyi
DTS	: Deprem tasarım sınıfı

BYS	: Bina Yükseklik Sınıfı
n	: Hareketli yük katılım katsayısı
Qi	: Hareketli yük
Gi	: Sabit yük
S	: Kar yükü
Vt	: Eşdeğer deprem yükü
vt	: Taban kesme kvveti
μ	: Sürtünme katsayısı
τ_{em}	: Kayma emniyet gerilmesi
τ_0	: Duvar çatlama emniyet gerilmesi
$\tau_{em,d}$: Değerlendirme kayma emniyet gerilmesi
I_{x-x}	: X yönündeki atalet momenti
I_{y-y}	: Y yönündeki atalet momenti
α	: Isı genleşme katsayısı
A_0	: Etkin yer ivme katsayısı
S(T)	: Spektrum katsayısı
C	: Eşdeğer deprem yükü katsayısı
γ	: Özgül ağırlık
K	: Duvar rijitliği
X_G, Y_G	: Kütle merkezi
X_c, Y_c	: Ağırlık merkezi
S22	: Eksenel gerilmeler
S11	: Kayma gerilmeler
SAP	: Systems Analysis and Program Development
KUDEB	: Koruma Uygulama ve Denetim Müdürlüğü
ETABS	: Structural Software for Building Analysis and Design
DBYBHY	: Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik
TBDY	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
BHA	: Birim hacim ağırlığı
TS	: Türk Standartları

1. GİRİŞ

İnsanoğlu tarih boyunca hakimiyetini sürdürdüğü topraklarında şehirler, köprüler, yollar, barajlar, medeniyetlerini geliştirmek için farklı çeşitte yapılar inşa etmiştir. Bu yapılar bir ülkenin çeşitliliğini ve kültür açısından zenginliğini gösteren en önemli parçalarındandır. Bugüne kadar ayakta kalmış çok tarihi yapı o dönemin ait olduğu özelliklerini belirterek geçmişten bugüne ışık tutmaktadır. Dolayısıyla tarihi bir belge niteliğini gösteren binaları koruyarak gelecek insanlara aktarılması en önemli görevimizdir.

Tarihi binaların sonraki insanlara aktarmak için korumak yeterli gelmemektedir. Özellikle yapısal açılarından tarih boyunca yıpratıcı etkilerine maruz kalan binalarda oluşan bozulmaları onarılarak ve sürekli olarak bakımı yapıp farklı afet ve doğa etkenlerine karşı dayanıklı hale getirilmesi lazımdır. Bu uygulamayı yaparken tarihi dokusuna zarar vermeden orijinal hali gibi yapılması gerekmektedir.

Bugüne kadar gelmiş tarihi yapıların çoğunluğu ortaya çıkan depremler, savaşlar, yangınlar, zeminden kaynaklı hasarlar ve sel felaketleri yüzünden zarara uğramış hatta yıkılma noktasına bile gelmiş veya yok olmuşlardır. Ayrıca, yapıda kullanılan malzemenin dayanımını yitirmesi, malzeme ve elemanlarında meydana gelen deformasyonlar, düzensiz yüklemeler, yanlış restorasyon uygulamaları ve amacına uygun kullanılmaları sonucunda, yapıların yıkılma noktasına gelmesinin önemli nedenleridir.

Tarihi yapıları sonraki nesillere ulaştırmak için onarılması ve korunması hakkında ilk önce belirlenmesi gereken ilkeler, mevcut yapısal ve karakteristik davranışlardır.

Yapıların dinamik davranışı, doğal frekansa, mod şekline ve sönüm oranına bağlı olarak incelenmelidir. Günümüzde yapı dinamik karakteristiklerini belirlemek için binanın mevcut durumu söz konusu olup deneysel ve fonksiyonel modal analizleri çok kullanılan metotlardır.

Deneysel modal analiz metodunda bir yapıya değerı bilinen kuvvet etki ettirerek göstermiş olduğu etki-tepkı ölçüleri belirlenmektedir. Fonksiyonel (işlevsel) modal analiz yönteminde yapıya titreşim vererek oluşan tepkiler ölçülmektedir. Bugünlerde tarihi binaların dinamik karakteristiklerinin teorik analizleri ve deneysel ölçüm metotları hakkında birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmalar, tarihi minareler, tarihi köprüler, tarihi kiliseler, tarihi camiiler vb. birsürü yapının dinamik karakteristikleri açıklanmıştır.

Dinamik davranışa göre binya etkileyen kuvvet ve yüklemelerde binanın davranışı hakkında önceden bilgi sahibi olunabilir.

Tarihi yapıların yapı tipleri çoğunlukla yığma şeklindedir. Yığma, duvar ünitelerinin harçla veya harçsız birleştirilmesinden meydana gelir. En yaygın duvar üniteleri tuğla, taş ve kerpiçtir. Ayrıca, tarihi yığma yapılarında çeşitli amaçlarla ahşap kullanılmıştır. Yığma yapının çekme dayanımı düşükken, basınç dayanımı daha yüksektir. Bu nedenle, yığma yapılar çekme gerilmeleri altında çok zayıftır. Mevcut yığma yapıların malzeme özelliklerini belirlemek için birçok değerlendirme yöntemi vardır. Bunlar üç ana grupta toplanabilir; yıkıcı, yıkıcı olmayan ve yerinde test yöntemleridir.

Duvarlar, kubbeler, kemerler, tonozlar ve sütunlar, tarihi yığma yapıların ana bileşenleridir. Diğer bileşenler, payandalar, bağlar, iskeleler ve ağırlık kuleleri olarak hizalanabilir (Gedik, 2008).

Taşıyıcı yapı elemanları dış etkilere karşı dayanıklı malzemelerle yapıldığı için, şimdiye kadar ayakta kalabilmiştir. Yığma yapılar, süneklikleri düşük, gevrek malzemeler ile yapılır. Yapımlarında ve dayanımlarında işçiliğin rolü önemlidir. yığma yapıların düşey ve yatay yüklerine karşı dayanımı; duvarın geometrisine, kullanılan malzeme dayanımına, blokların birleşim şekline bağlıdır (Arun, 2005).

Türkiye, yıllarca geçmişe uzanan çok zengin medeniyetlerin yaşadığı bir yer olarak kültürel mirasının korunması hakkında sorumlulukları fazla olan ülkelerinden birisidir. Kültür ve doğal varlıkları açısından bir çok ülkelerden zengindir. Bu mirasın korunması, değerlendirilmesi, geliştirilmesi ve sonraki kuşaklara ulaştırılması önemlidir (Çöğürçü, 2007).

Türkiyede kültür ve doğa varlıklarıyla ilgili tanımlar, yapılacak olan işlem ve aktivitelerin düzenlenmesi, ilke ve tatbikat için kararları alacak kurum 863 sayılı Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Yasasına göre gerçekleştirmektedir (Dabanlı, 2008).

Tarihi eserlerin korunmasına ilişkin geçmişteki uygulamaların çoğu göz ardı edilmiştir. Tarih sayfalarına baktığımızda en çok koruma, Osmanlı Döneminde yapılmıştır. Mimari ve mühendislik zekasıyla meşhur Mimar Sinan, koruma uygulamaları için en öne gelen isimdir. Bu nedenle, Mimar Sinan'ın "koruma anlayışı", koruma kavramına tarihi bir boyut kazandırır (Dabanlı, 2008).

Mimar Sinan'ın koruma ve onarım faaliyetleri, başta istanbul ve imparatorluğun bir çok yerinde bulunmuştur. Onarımları arasında en çok camiiler göze çarpmaktadır (Dabanlı, 2008).

Mimar Sinan, önceki dönemlere ait eserleri de onarmış ve kesin kuralları yerleştirmeye başarmıştır. Bu eserlerin zarar görmesine karşı büyük ustanın, önceki eserlerini de dikkate alarak bu konudaki öngörüsünü göstermektedir. Onun perspektiflere yaklaşımı ve bakış açısı herkese ilke edinilmelidir (Aşık, 2018).

Toplumlar, bugün kültürel miras olarak adlandırdığımız taşınabilir ve taşınmaz yapılara karşı, önceki dönemlerde ve kendi dönemlerinde inşa edilen yapılarla değişik davranışlar göstermiştir. Bir çok medeniyetlerin binlerce yıldan bu yana, mimari sanatlar ve bu sanatların barınmasını sağlayan şehirlerde yapıldığı, Anadolu'nun bu zengin birikmiş eserlerin değerlendirilmesi, korunması ve sonraki kuşaklara ulaştırılması vazifesi, "Koruma" adın'a tanımladığımız bir sektörün oluşup gelişmesini sağlamaktadır (Aşık, 2018).



2. KAYNAK ARAŞTIRILMASI

Gedik (2008)'in yaptığı çalışmasında, İstanbuldaki Mehmet Ağa Camisini incelemiştir. Yapı modelini hazırlayap kendi öz ağırlığı ve deprem yükleri altında analiz etmiştir. 50 yıl içerisinde %2 ve %10 aşılma olasılığı ile iki farklı deprem yüklemesi yaparak mevcut binadaki hasarların sebeplerini belirlemek için özellikle çekme gerilmesi meydana gelen bölgeleri incelemiş, ve mevcut hasarlarla karşılaştırmıştır. Gelecekteki hasarları önlemek amacıyla bazı onarım ve güçlendirme öneriler yapmıştır.

Dabanlı (2008)'in yaptığı çalışmasında, tarihi eserlerin güvenlik seviyeleri ve yapısal değerlendirme sürecinde izlenecek yöntem ve yaklaşımlar üzerinde durmuştur. Örnek çalışması olarak, İstanbuldaki Hırka-i Şerif camisini inceleyerek yapının modelini sonlu elemanlar yöntemiyle oluşturup statik ve dinamik analizlerini yapmıştır. Analizler sonucu, yapısal güvenliği ile deprem performans değerlendirmesi yaparak binanın güçlendirilmesi için bazı öneriler yapmıştır.

Chamaky (2014)'nın yaptığı çalışmasında, tarihi yapıların sismik güçlendirilmesinde hesap ve yapım kurallarını ayrıntılı olarak sunmuştur. Tasarım, analiz ve güçlendirme esaslarını ayrıntılı olarak açıklamıştır. Örnek çalışması olarak, İstanbuldaki Fatih İlköğretim Okulu binası, Sirkeci Krede Han binası ve Çinli Karakolu binasını ele alarak tasarım ve analizlerini yapmıştır. Analiz sonucu, her bir yapıya uygun farklı güçlendirme teknikleri ve çözümlerini göz önüne alarak birbirlerine karşılaştırmıştır.

Özen (2006)'in yaptığı çalışmasında, tarihi eserlerin düşük yük seviyelerinde lineer ve lineer olmayan davranışlarını karşılaştırmıştır. Örnek çalışması olarak, Batmandaki Hasankeyf kapısını ele almıştır. Bu çalışmada, sonlu elemanlar yönteminde kullanılan değişik yazılımlar, deformasyonlar, gerilmeler ve mod şekil değiştirmeler kullanarak karşılaştırmıştır. Bunun yanında, yapının elastik olmayan analizini de yaparak elastik davranışıyla karşılaştırmıştır. Sonuç olarak, çok ileri bir inceleme gerekmediği sürece yapının davranışını anlamak için düşük yük seviyelerinde elastik sonlu elemanlar yöntemi ileri sonlu elemanları yöntemine tercih edileceğini göstermiştir.

Şen (2003)'in yaptığı çalışmasında, tarihi yığma yapıların modelleme ve analizini gerçekleştirmiştir. Örnek çalışması olarak, Hemdat İsrail Sinagogu binasını SAP 2000 programında sonlu elemanlar yöntemiyle tasarlayarak lineer elastik analizini yapıp değerlendirmiştir. Bunun yanında, geniş pencere çerçevesi olan bir yığma yapının

sismik davranışları üzerindeki etkilerini incelemiştir. Bu amaçla, pencere çerçevesi olan ve olmayan iki farklı model oluşturarak analizlerini yapmıştır. Sonuç olarak, yapı elemanların gerekli dayanımı, malzemelerin varsayılan elastik kapasiteleri ile karşılaştırarak değerlendirmiştir.

Türker (2010)'in yaptığı çalışmasında, tarihi eserleri incelemiş, tanıtmış, yapısal davranışını açıklamış ve türk deprem yönetmeliğini esas alarak EXCEL formatında bir bilgisayar programı geliştirmiştir. Bu programı kullanarak, İstanbul Üniversitesi Eczacılık Fakültesi binasının deprem analizini yapmıştır. Malzeme özelliklerin tespiti amacıyla, aynı dönem (19. yy.) ve aynı yapım tekniği ile inşa edilen Ali Fakih Sıbyan Mektebi ve Abdülmecit Ev'inden alınan örnekler üzerinde İstanbul Büyükşehir Belediyesi, Koruma Uygulama ve Denetim Müdürlüğü (KUDEB) laboratuvarlarında deneyler yapmıştır. Ayrıca, örnek binasının SAP 2000 programında dinamik davranışını inceleyip, duvarların basınç emniyet gerilmelerini aşmadığı ve bazı duvarın kayma emniyet gerilmesini aştığını tespit etmiştir.

Aşık (2018)'in yaptığı çalışmasında, tarihi yapılarda taşıyıcı sistem özellikleri ve hasarlar için onarım ve güçlendirme teknikleri üzerinde durmuştur. Örnek çalışması olarak, Konyadaki Zenburi mescidini sonlu elemanlar yöntemiyle SAP 2000 programında analiz etmiştir. Analiz sonucu, mescidin mevcut durumunu tespit ederek uygun onarım ve güçlendirme önerisi yapmıştır.

Şişik (2017)'in yaptığı çalışmasında, tarihi yapıların restorasyonunda önemli bölümlerden biri olan yapıların taşıyıcı sistemlerinin yeterliliğinin kontrolü ve gerekirse yapıların yeterliliğinin sağlanması konusunu incelemiştir. Bu amaçla, 15. ve 16. yüzyıllara ait olan edirne'de inşa edilmiş dört camii ve iki türbe örneklerin statik analizini yaparak uygun güçlendirme önerileri yapmıştır. Örnek çalışması olarak, Ayşe Kadın Camii, Gazi Turan Bey Camii, Sitti Sultan Camii, Demirtaş Camii, Tütünsüz Baba Türbesi ve Beylerbeyi Türbesini seçerek lineer statik ile dinamik analizini yapmıştır. Modellemelerini sonlu elemanlar yöntemiyle makro modelleme yaklaşımı yardımıyla SAP 2000 programında yapıp çözümler elde etmiştir. Analiz sonucu, yapılarda meydana gelen asal gerilmeleri değerlendirerek binaların statik anlamında taşıyıcılık durumlarını açıklamıştır.

Uğuz (2016)'un yaptığı çalışmasında, tarihi yapıların deprem güvenlik analizini ele almıştır. Örnek çalışması olarak, Konya Gazi Lisesinin deprem güvenliğini TDY- 2007' ye göre tasarım ve yapım kurallarını inceleyerek, sonlu elemanlar yöntemiyle ETABS programında yapısal analizini yapmıştır. Analiz sonuçlarını

yorumlamak amacına, yerdeğiştirme, moment, kesme kuvveti ve eksenel (normal) kuvvetleri gösteren grafiklerden faydalanmıştır. Sonuç olarak, yapıdaki herhangi bir deprem etkisinden dolayı oluşabilecek gerilmeler ve hasarlar hususunda bilgi vererek gelecek nesillere aktarılması konusunda çözümleri önerileri yapmıştır.

Ercan (2010)'ın yaptığı çalışmasında, tarihi binaların güvenliklerinin belirlenmesinde kullanılan analitik ve deneysel yöntemlerini, İzmirdeki Vezir Su Kemerini ile Urla Zeytinler köyünde bulunan taş kemer köprüsü üzerinde uygulamıştır. Yapıların, taşıyıcı sistemini oluşturan taş, tuğla ve harç üzerinde yapılan malzeme deneylerle parametrelerini elde etmiştir. Bulunan özellikleri kullanarak, yapıların sonlu elemanlar yöntemiyle model analizini yapmış ve dinamik karakteristiklerini elde etmiştir. Deneysel ve analitik yöntemlerle elde edilen sonuçları karşılaştırmış ve malzeme testlerinin yeterliliğini incelemiştir. Elde etmiş sonuçlarla, lineer olmayan statik analizlerini ve yapıların dinamik analizlerini yaparak, yapıların güvenilirliğini araştırmıştır.

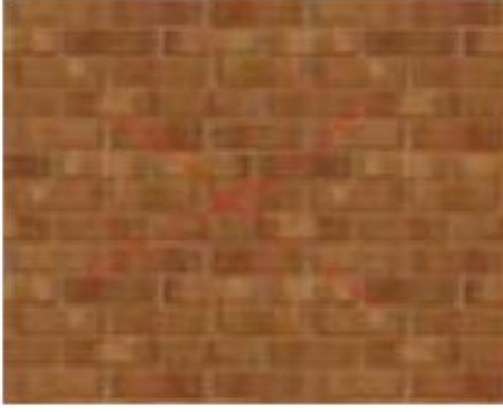
Kara (2009)'ın yaptığı çalışmasında, tarihi eserlerin taşıyıcı sistemlerinde güvenlik incelenmesi, onarım ve güçlendirilmesi konusunu ele almıştır. Örnek çalışması olarak, 5 farklı yığma yapı; Vefa Anadolu Lisesi Orta Binası, üç katlı yığma bir bina, İsmihan Sultan Darülkurraı Sıbyan Mektebi Binası, Cafer Paşa Medresesi ve Hüsrev Paşa Kütüphane Binası üzerinde durmuştur. Yapıların mevcut durumunu tespit edip güvenlik seviyelerini deprem yönetmeliğine göre (TDY-2007) belirlemiştir. Ayrıca, yapıların güçlendirmeye ihtiyaçı olup olmadığını da açıklamıştır. Güçlendirmeye ihtiyaçı olan yapılarda, TDY-2007' ye göre hesaplama yapıp mevcut durumu ve güçlendirilmiş durumunu karşılaştırmıştır. Sonuç olarak, güçlendirmeden sonraki hesap değer, sınır değerini aşmadığını göstermiştir.

Aköz (2008)'ün yaptığı çalışmasında, tarihi yığma yapıların onarım ve güçlendirilmesini ele almıştır. Örnek çalışması olarak, 1400'lü yıllarda inşa edilmiş Murat Paşa camisini sonlu elemanlar metoduyla modelini hazırlayarak statik ve dinamik analizlerini yapmıştır. Analiz sonucu, yapının deprem güvenliğini belirleyerek güçlendirmeye ihtiyaçı olup olmadığını ve uygun güçlendirme yöntemi hakkında tartışmıştır.

3. TARİHİ YIĞMA YAPILARIN TANIMI ve YAPI ÇEŞİTLERİ

Geçmiş dönemlerde yapılmış eserlerin bugüne kadar ayakta kalmış olanlara tarihi yapılar denilmektedir. Bu yapılar geçmiş medeniyetleri ile gelecek medeniyetlerini kuvvetle bağlayan kültürel varlıklardır (Aşık, 2018).

Tarihi yığma yapılar taş, tuğla, kerpiç vb. malzemeler birbirine harçla bağlanıp basınca karşı dayanıklı, çekme dayanımı düşüktür. Deprem oluşturduğu çekme kuvvetlerine karşı güçsüz davranıp yapıda çatlaklar oluşturur. Çekme dayanımı, malzemenin dayanımını aşarsa çatlaklar malzemede meydana gelir (Şekil 3.1), harcın dayanımını aşarsa derzlerde oluşur (Şekil 3.2) (Türker, 2010).



Şekil 3.1. Malzemede oluşan tipik çatlaklar



Şekil 3.2. Harçta oluşan tipik çatlaklar

- Tarihi yapılar kullanılan malzemelerine göre;
 - Taş
 - Tuğla
 - Kerpiç
 - Ahşap
 - Çelik
 - Karma
- Taşıyıcı sistemlerine göre;
 - Yığma-kâgir
 - Ahşap
 - Kerpiç
 - Çelik
 - Karma

- Kullanım amaçlarına göre;
 - Dini yapıları



Şekil 3.3. Angkor Wat-Kamboçya

- Sağlık-sosyal hizmet ve kültürel yapıları



Şekil 3.4. Afrodisias stadyum-Aydın

- Ulaşım yapıları



Şekil 3.5. Bitki örtüsünün ortasındaki demiryolu-Galler

- Eğitim yapıları



Şekil 3.6. Efes Celsus Kütüphanesi-İzmir

- Ticaret yapıları



Şekil 3.7. Kapalı Çarşı-İstanbul

- İdari yapıları, savunma yapıları ve sivil yapıları olarak sınıflandırılır (Bayülke, 1999).



Şekil 3.8. Topkapı surları (Savunma yapı)



Şekil 3.9. Sinop-Merkez (Sivil yapı)

- Yapıldıkları döneme göre;
 - Antik mimarlık yapıları,



Şekil 3.10. Sardes Artemis Tapınağı-Manisa

- Klasik mimarlık yapıları,



Şekil 3.11. Milledgeville Devlet Hastanesi-Georgia

- Romanesk mimarlık yapıları,



Şekil 3.12. Tournai Katedrali kilisesi-Belçika

- Gotik mimarlık yapıları,



Şekil 3.13. Duomo Katedrali-Milan

- Rönesans mimarlık yapıları,



Şekil 3.14. Floransa Katedrali-İtalya

- Maniyerist mimarlık yapıları,



Şekil 3.15. Villa Farnese- İtalya

- Barok mimarlık yapıları,



Şekil 3.16. Gesu Kilisesi-Roma

- Rokoko mimarlık yapıları,



Şekil 3.17. III. Ahmet çeşmesi-İstanbul

- Neo-klasik mimarlık yapıları,



Şekil 3.18. Maisons-Laffitte Kalesi – Fransa

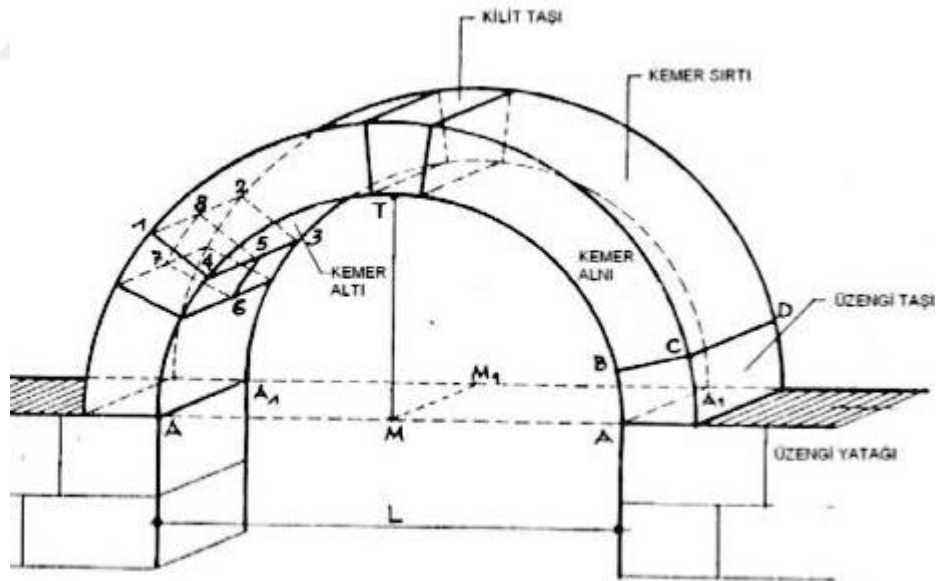
3.1. Tarihi Yığma Yapıların Bileşenleri

Tarihi yığma yapılar çeşitli unsurlardan oluşur. Kemerler, tonozlar, kubbeler, duvarlar, sütunlar ve ayaklar, temeller ve döşemeler tarihi yapılarının ana bileşenleridir (Gedik, 2008).

3.1.1. Kemerler

Kemerler, iki ayak yada iki sütun arasındaki açıklığı eğrisel olarak geçen kirişler olup taş veya tuğla ile inşa edilir. Taş kemerinde kullanılan taşların çeşitleri; moloz taş, kesme taş, kaba yönlü ve ince yönlü taşlardır (Mahberel, 2006).

Kemer genelde üç bölümde incelenir; üzengi taşı, kemer taşı ve kilit taşı olmak üzere. Üzengi taşı, kemerin başlangıcında üzengi yatağının üzerine konulan taşlardır. Kilit taşı, kemerin en üst noktası olup düşey ekseninde iki tarafta bulunan kemer sırtının arasında tutulmasını sağlayan elemanlardır. Kemer sırtı ise, üzengi taşı ile kilit taşı arasındaki eğrisel elemanlardır (şekil 3.18) (Aşık, 2018).



Şekil 3.18. Kemerlerin değişik kısımlarının belirlenmesi

Kemerler, düşey ve yatay yükleri aşağı doğru yönlendiren ve taşıyan elemanlardır. Mesnetlerinde hem gergi çekme çubukları kullanılır hemde gergi elemanı olmadan yapılır. Gergi çubuksuz yapılan kemerlerin mutlaka güçlü bir duvara

oturtulması şarttır. Kemerler genelde basınca çalışan elemanlar olup açıklıklarda kirişler gibi yük taşırlar (Bayraktar, 2005).

Düşey yükün şiddeti yatay yükün şiddetinden büyük olduğu zaman, kesit içerisinde oluşan çekme kuvvetlerin yoğunluğu azalır. Yatay yükler, kemerin kollarını açmaya çalışırken düşey yükler basınç gerilmesiyle birlikte karşı koymaya çalışıp itme kuvveti etkisini azaltır. Kemerlerin geniş kesit boyutlarının nedeni, tuğla yada taş kemerlerin öz ağırlıklarıyla dengede tutulmasını sağlamaktadır. Kemerlerde oluşan çekme dayanımı, malzemelerin çekme dayanımından düşük olduğu zaman çatlak ve hasarlara yol açmaktadır. Çatlaklar ve hasarlar, basınç taşıyan taşıyıcı elemanlar için bir tehdit unsuru olup kemerin dengesinin bozulmasına sebep olur. Bu yüzden, bir çok tarihi yapıların kemerinde metal yada ahşap gergi çubukları kullanılmıştır. Kemerin ayrılmasını iki taraftan engellemek amacıyla iki ayak, bir ayak bir duvar yada iki duvar arasında inşa edilmiş yanal olarak ayrılması engellenmiştir. Gergi çubuğu kullanımı istenmediği durumlarda üzenği yatağının dışlarına ağır bloklu taşlardan payadanlar yapıldığında kemerin her iki taraftan hareketi engellenmiş olur (Aşık, 2018).



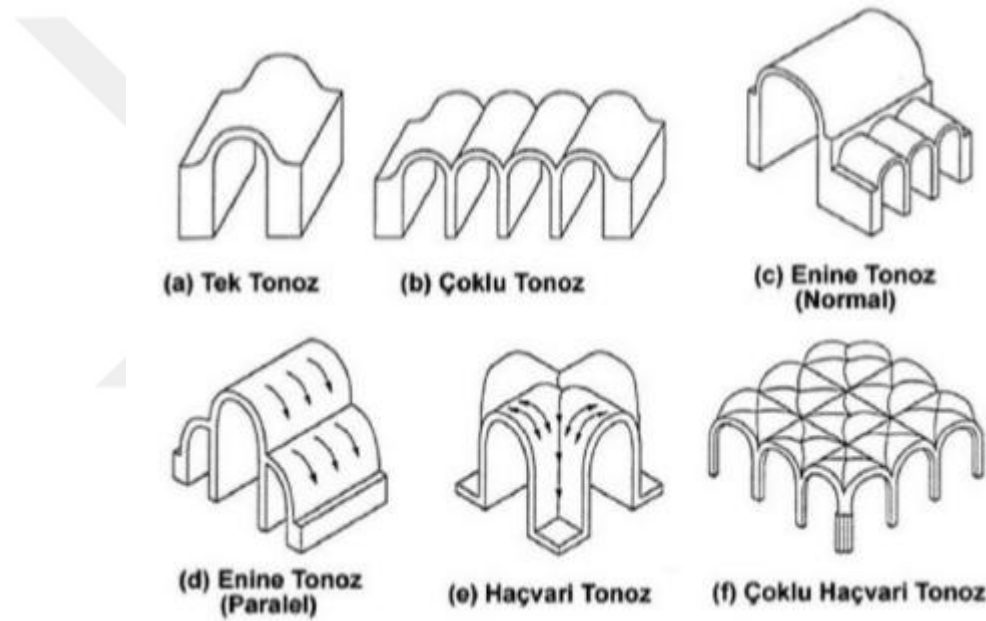
Şekil 3.19. Pont du Gard-Fransa (köprü / su kemeri)

3.1.2. Tonozlar

Tarihi yapılardaki dikdörtgen alanları kaplamak için tonozlar kullanılmıştır. Tonozlar, kemer eksenini boyunca dik doğrultuda uzanır. Yük taşıma prensibi kemerler gibidir. Ancak, yapım teknikleri farklıdır (Sánchez, 2007).

Tonozların çeşitleri ve tipleri aşağıda görülmektedir. Haçvari tonozları sütunlar veya iskeleler ile desteklenir. Bu nedenle, çok hacimli yerleri kapatmak için kullanılırlar (Sánchez, 2007).

Tonoz mesnetlerinde meydana gelen yanal kuvvetler, temellere yönlendiren kalınlaştırılmış duvarlar, gergiler yâda payandalarla taşınmaktadır (Aşık, 2018).

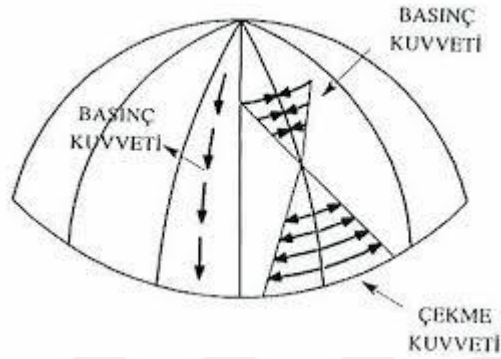


Şekil 3.20. Tonoz tiplerinin gösterimi

3.1.3. Kubbeler

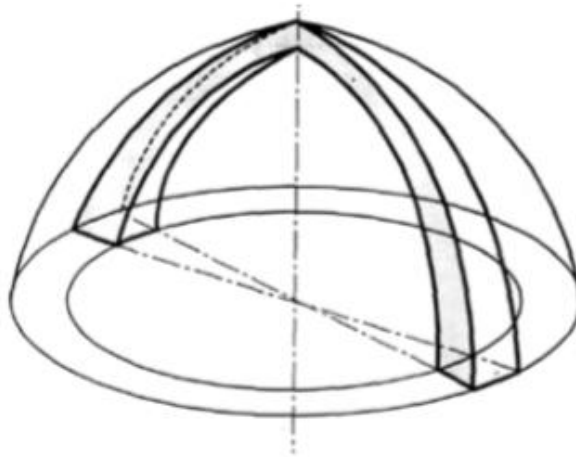
Kubbeler, dikey eksenini etrafında bir kemerin döndürülmesiyle elde edilen kabuk elemanlardır (Gedik, 2008). Kubbe yükünü, kubbe ayakları ve mesnet yükünün düşey bileşenini kemerler, yanal bileşeni ise, kemer düzlemlerine dik doğrultudaki yarım kemerler ve gergiler tarafından karşılanmaktadır (Mahberel, 2006). Bir kubbenin gerçek davranışı çok karmaşıktır. Kuvvetlere üç boyutlu olarak maruz bırakılır. Eğilme gerilmeleri, basınç ve çekme kuvvetleri oluşturur. Ancak, basitleştirmek için iki varsayım yapılabilir. Her biri genel davranışın bir bölümünü yansıtır (Gedik, 2008).

İlk varsayım, kubbenin diğer boyutlara göre kalınlığı çok küçük olan bir kabuk elemanı olduğu varsayımdır (şekil 3.21). Dolayısıyla, küçük kalınlığı nedeniyle, çok düşük bir eğilme mukavemeti vardır. Meridyenler boyunca basınç gerilmeleri meydana gelir. Çevresel gerilmeler kubbenin alt kısmında yük dağılımı ve kubbe şeklinden dolayı basınçtan çekmeye değişmektedir (Gedik, 2008).



Şekil 3.21. Kubbelerde yük taşıma mekanizması

İkinci varsayımda, kubbe, bir kemer dizisi olarak değerlendirilmektedir (şekil 3.22). Böyle bir kemerin itme çizgisi kemerin iç veya dış çevresine yaklaşmazsa, kemer yeterince güçlü ve stabildir. Eğer kemer yeterince güçlü ve sağlamca, kubbe de meridyenler boyunca oluşabilecek çatlaklara rağmen yeterince güçlü ve sağlamdır. Gerçek davranış bu iki varsayımın karışımıdır (Gedik, 2008).



Şekil 3.22. Kubbelerin kemer dizisi olarak davranışı

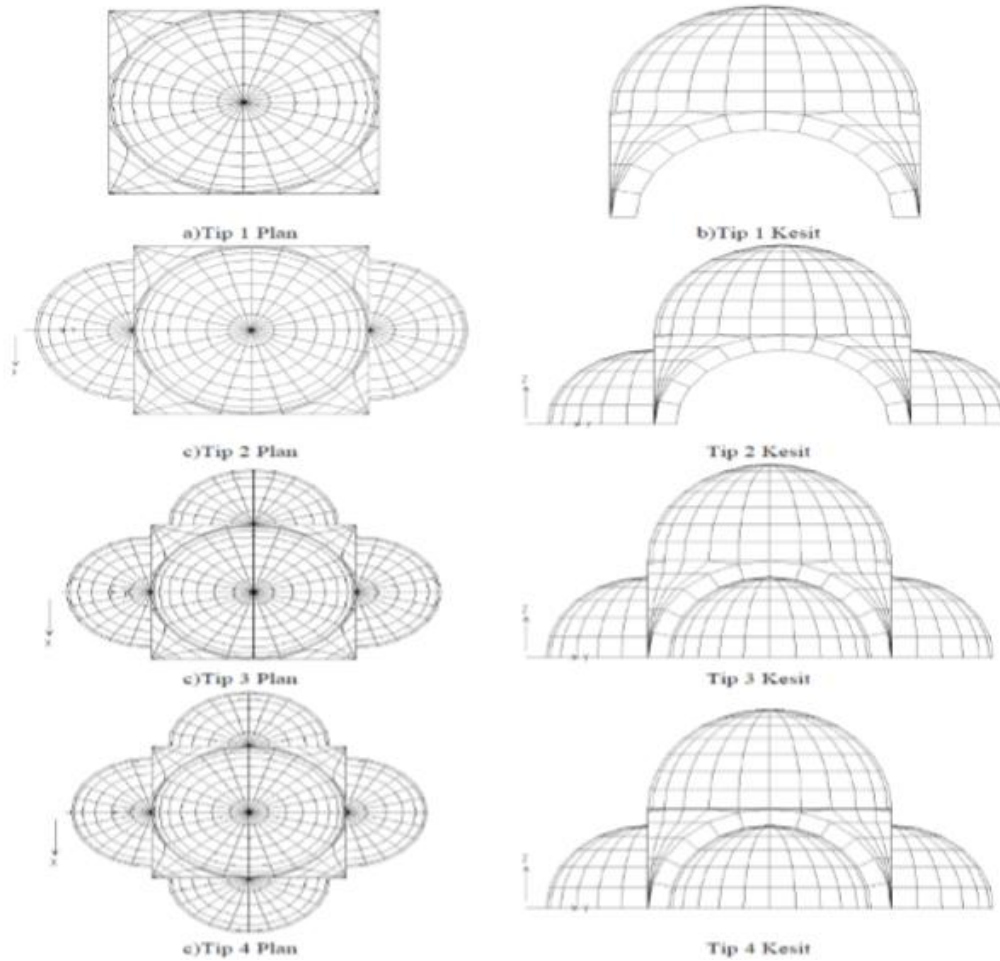
Kubbe sürekli olarak bir destek gerektirir. Bu nedenle, drum adı verilen dairesel desteğe ihtiyacı var. Kare planlı yapılar geçiş bileşenleri gerektirir. En yaygın geçiş

bileşenleri, tarihi yığma yapılarda pandatif (küresel mesnet), trompetler (tonoz mesnetleri) ve Türk üçgenleridir. Ana kubbeyi desteklemek için bazen yarı kubbeler kullanılmıştır. Kubbenin alt kısmındaki paralel yönler boyunca meydana gelen çekme kuvvetleri, büyük kubbeli yapıda masif ve ağır pandatif ile etkisizleşmiştir (Gedik, 2008).

Kare ve çokgen destekler de kullanılabilir. Kubbe desteği için kare destek kullanılırken kalın duvarlar veya ince duvarlar için lentolar veya kemer gereklidir (Sánchez, 2007).

Tarihi yığma yapılarda kubbe bindirmelerine direnmek için ağırlık kuleleri ve payandalar kullanılmıştır. Kubbe genellikle tuğladan yapılmıştır (Gedik, 2008).

Tarihi yığma yapılarında kubbeler, mekanı örtmek ve genişletmek için çeşitli kombinasyonlarıyla beraber kullanılmışlardır (Bilgin, 2005).



Şekil 3.23. Kubbe mekan örtü ve genişletme sistemleri

3.1.4. Sütunlar ve ayaklar

Tarihi yığma yapılarda duvarlar dışında ayaklar ve sütunlar de düşey doğrultuda taşıyıcı elemanlardır. Sütunlar önemli miktarda basınç gerilmelerini taşır. Tek parça taş yada çok parça blok taştan oluşabilirler. Çok parça bloklarla oluşturulduğunda, ağaç yada bronz kenetler yardımıyla birleştirilirler.

Ayaklar ise, en kesiti fazla olacak şekilde duvarlara benzer aralıklı olarak inşa edilen tarihi kagir yapı elemanlarıdır (Mahberel, 2006).

Ayaklar ve sütunlarda ortaya çıkan çatlaklar ve kırılmalar yüzünden yapının kısmen yada tamamen yıkılmasına sebep olup stabilitesini bozabilir. Bu yüzden, elemanların kesit boyutları büyük seçilerek eğilmesi engellenir ve eksenel yük taşıma kapasitesi artar. Ayrıca, elemanın kesiti geniş olduğu için üzerindeki eksenel kuvvetten dolayı burkulma ve burulmalar da önlenecektir (Aşık, 2018).



(a)

(b)

Şekil 3.24. Sütun ve ayak örnekleri ((a)Afrodisyas-Aydın-Türkiye – (b) Kolezyum-Roma-İtalya)

3.1.5. Duvarlar

Duvarlar kendi ağırlığına, düşey ve yanal yüklere dayanıp üst yapı yüklerini temele iletirler. Genelde taş, tuğla ve kerpiçten yapılırlar. Duvar kalınlığı, tarihi duvar yapılarında geniştir, çünkü düzlemsel kuvvetler, duvarların kendi ağırlığına dayanır. Duvar kalınlığını tanımlamak için eğik yükleri, deprem yükleri, malzeme cinsi ve kapı-pencere boyutları dikkate alınmaktadır (Gedik, 2008).

Duvarların enine kesit gerilmeleri birbirine eşit veya yakın olmalı ve düzenli yayılmalıdır. Duvarı oluşturan birimler harç vasıtasıyla birbirine bağlanır. Duvar stabilitesini sağlamak için çeşitli duvar seviyelerinde bulunan lentolar ve hatıllar kullanılmıştır. Bazı durumlarda, eğik yüklere dayanabilmek için duvarlar payandalarla desteklenmiştir (Gedik, 2008).

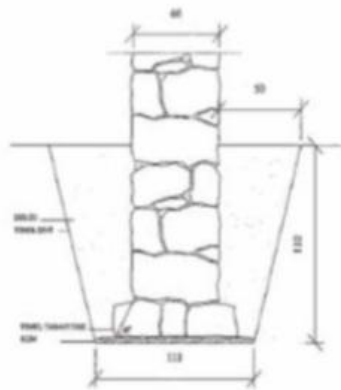
Taşların ünitelerini birbirine bağlamak için kenetleme elemanı kullanılmıştır. Korozyon etkisine karşı koruma sağlamak için kurşun malzeme ile kaplanmış olup taşların ayrılması önlenmiştir (Gedik, 2008).

Duvarın yüksekliği, tarihi yapılarda tabandaki kalınlığının 8 katını aşmayan deprem zamanında iyi davranış gösterdiği eski ustalar tarafından söylenmiş ve hala doğruluğu günümüzde araştırılan durumdur (Aşık, 2018).

Duvarlar çekme gerilmesini taşımadığı için mutlaka çekme bölgeleri hesapla bulunarak çekme elemanları ile karşılanması şarttır. Tarihi yapılarıda genellikle demir kenet yada aşap kalas çekme elemanı olarak kullanılmıştır. Doğal ahşap ve demir giderek zamanla dayanımını kaybeder. Duvarı oluşturan elemanlar, rijitlik açısından üniform olmalıdır (Bayraktar, 2005).

3.1.6. Temeller

Temeller, tüm yapı ağırlığı, kar yükü, rüzgar yükü ve depremden kaynaklanan yükleri zemine aktaran taşıyıcı elemanlardır. Tarihi yapıların oturduğu zeminde sığ (yüzeysel) temeller, ayırık (ayak ve sütunlarının altına gelen) ve sürekli temellerden oluşur. Derin temeller ise, dolgu yada yumuşak zeminlerde ve en çok su içinde inşa edilen yapılarda kullanılmaktadır (Mahberel, 2006).



Şekil 3.25. Ayırık temel

Tarihi yapıların taşıma kapasitesini arttırmak için ayrıık ve sürekli temellerde, ahşap elemanı yatay olarak taşlarla ızgara şeklinde birbirine bağlanarak yükleri daha fazla alana yaymak için mesnetlendirilmiştir (Aşık, 2018).

Tarihi yapılarda en önemli kısmı temeller olup gerekli derinliğe kadar kazılır, zemin ıslahı için kazılmış yeri taşlarla doldurarak gerilme tatbiki yapılp yapı temelleri inşa edilir. Temellere zarar veren en önemli etken zemin suyudur. Zemin suyu, kapiler ve cazibe suyu şeklinde bulunmaktadır. Kapiler, temelin yer altı su seviyesinden gelen suyun engellenmesiyle giderilir. Cazibe suyunun engellenmesi için yapının temelini yer altı su seviyesinin üstünde düşünölmektedir. Tarihi yapılarda kapiler suyn kurutulması ve temelin havalanması için temelin tabanında galeriler yapılmıştır. Ayrıca temellerin çevresinde cazibe etkilerinden korumak amacıyla su tahliye boruları döşenmiştir (Bayraktar, 2005).

3.1.7. Döşemeler

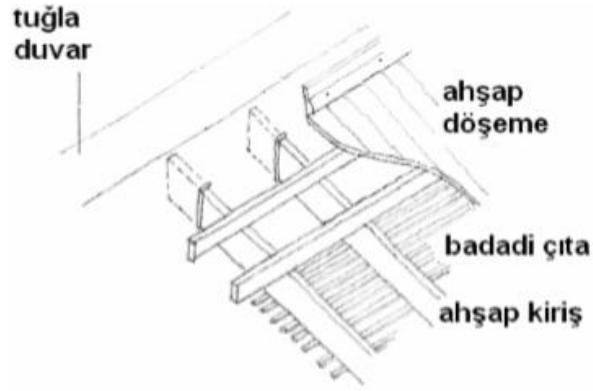
Döşemeler, hacimlerin üstünü kapatmak için kullanılan, katları birbiriden ayıran ve yapıya gelen düşey ve yatay yüklerini taşıyan elemanlardır. Tarihi yapıların döşemeleri; ahşap, çelik ve kagir elemanları yanında kubbe ve tonozlardan oluşmaktadır. Döşemeler kendi ağırlığını ve üzerine gelen diğeri yükleri önce ahşap, çelik vb. kirişlere sonrasında taşıyıcı duvarlara aktarmaktadır.

Deprem sırasında döşemelerden iyi bir davranış beklemek için döşemelerin taşıyıcı duvarlarla iyi bağlanması gerekmektedir. Boşluk bırakılması durumunda kesintiye uğrayıp deprem sırasında olumsuz bir etki sergileyebilmektedir (Kara, 2009).

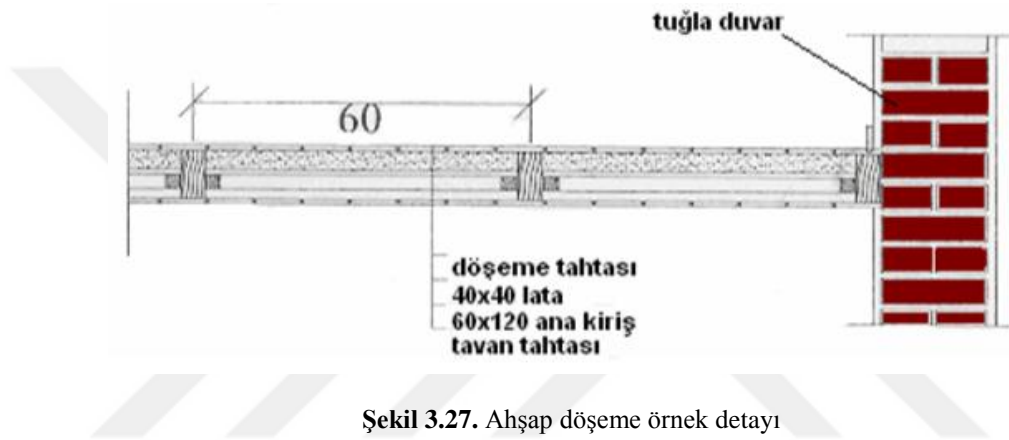
Döşemeler düşey yükler altında yapının genel davranışını çok etkilemeden deprem zamanında diyafram etkisini oluşturur. Gelen kuvvete karşı rijitlikleri ve yatay yük transferi açısından önemini artırır (Aşık, 2018).

Döşemeler; ahşap döşeme, volta döşeme ve adi volta döşeme olarak sınıflandırılmaktadır. Ahşap döşemeler, tek doğrultuda atılan ahşap kirişlerden oluşup üzerileri de ahşap malzemesiyle örtölmektedir. Ahşap kirişler ortalama olarak 50-60 cm aralıklarla konulur. Eğer açıklık büyük ise istenilen mukavemeti elde etmek için kısa açıklık yönünde da araya kirişler atılmaktadır (Kara, 2009).

Ahşap döşemeler tek yönde çalışıp duvarlar üzerine oturan kirişler olup duvar neminden korunmalıdır. Duvarlarla iyi bağlanmalı ve herhangi bir sebep ile oynadığında duvarlara zarar vermeden dönebilmelidirler (Arun, 2005).

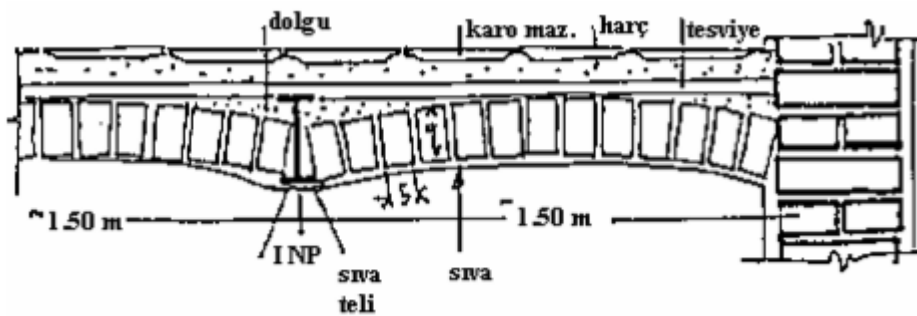


Şekil 3.26. Ahşap döşeme gösterimi



Şekil 3.27. Ahşap döşeme örnek detayı

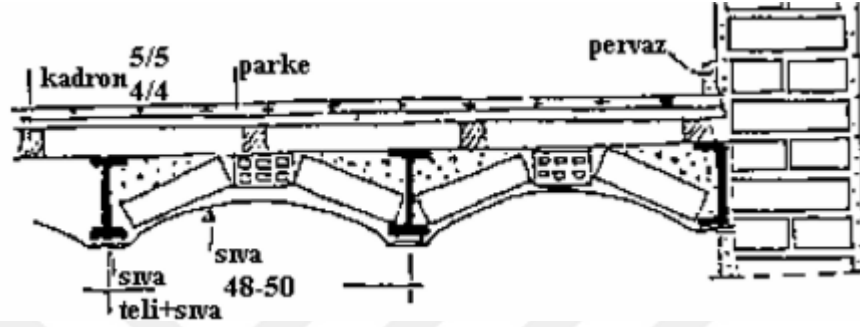
Volta döşemelerde I çelik profilleri kullanılmıştır. Profillerin araları tonoz şeklini alarak tuğla örülmesi ile doldurulmaktadır. Tek doğrultuda çalışan döşemelerdir. Düşey yükleri önce uzun yöndeki çelik kirişlere sonrasında da oturduğu duvara aktarmaktadır. Yatay deprem yükü altında profillerde bir kayma meydana gelebilir. Tuğla tonozlar, düzlemine dik ve düzlemi yönünde eğilme ile zayıflayabilir, çelik kirişler ve tuğla arasında bir dinamik etkileşim olabilir ve sistem bir diyafram işlemi göstermeyebilir (Arun, 2005).



Şekil 3.28. Volta döşeme detayı

Adi volta döşemelerde I çelik profilleri arasında tuğlalar tonoz şeklinde iki uzunlamasına ve bir enlenmesine konulur. Tuğlaları birbirine bağlayan çimento harcıdır.

Adi volta döşemelerin depreme karşı dayanımını artırmak için I profil uçlarını dik kirişlere bağlamakla veya kirişler arasında I profillerin ızgara oluşturacak şekilde düzenlenmesiyle olacaktır (Kara, 2009).



Şekil 3.29. Adi volta döşeme örnek detayı



Şekil 3.30. Adi volta döşeme gösterimi

3.2. Tarihi Yığma Yapılarda Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

3.2.1. Tuğla

Tarihsel kanıtlara göre tuğlalar çok erken zamanlardan beri kullanılmaktadır. Tarihi yapılarda, tuğlalar saf kaolin ve kil malzemelerin fırının içinde yüksek sıcaklıkla pişirilmesiyle üretilmiştir. Önceki dönemlerde fırın teknolojisi olmadığı için güneş ısı altında elde edilmiştir. Tuğlaların ana maddesi killerdir. Kil tuğlasına etkileyen faktörler ise, pişirme sıcaklığı, prozite, kurutma işlemi ve tuğlayı oluşturan malzemelerin özellikleridir. Yatay ve dikey yönlerde üretim süreci nedeniyle farklı özellikler göstermektedir. Tuğla taştan daha yumuşak bir malzemedir; bu yüzden düzlem dışı eğilimde daha güçlü olabilir.

Tuğlanın basınç dayanımı yüksek ve çekme dayanımı düşüktür. Elastisite modülü $E = 5000 - 10000$ MPa ve Poisson oranı $\mu = 0,15 - 0,2$ arasındadır. Tuğlaların bazı fiziksel özellikleri Tablo 3.1' de verilmiştir (Gedik, 2008).

Tablo 3. 1. Tuğlaların ortalama fiziksel özellikleri

Basınç Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Kayma Dayanımı (MPa)
10-30	2,7-5.0	10-20

En eski tuğla türü kerpiçtir. Toprak, su, saman ve gübre gibi organik malzemelerden oluşur. Nem ve yağmur gibi çevresel koşullara karşı dayanıklı olmayıp yağmur, kar vb. zararlarını önlemek için kerpiç duvarlara çamur tabakaları uygulanır (Gedik, 2008).

3.2.2. Doğal taş malzeme

Doğada bulunan veya taş ocaklarından çıkarılan, homojen bir yapıya sahip, çevresel etkilerine karşı dayanıklı olan doğal taş, akıcı kıvamdaki magma tabakasının giderek zamanla soğuyup sertleşmesinde oluşan malzemelerdir (Chamaky, 2014).

Taş en eski duvar malzemelerinden biri olup dayanıklılığı yüksektir. Taşlar, kolayca bulunabildiğinden yaygın bir şekilde tarihi yapılarda kullanılmıştır. Taşların basınç dayanımı yüksek olup çekme dayanımı düşüktür (Gedik, 2008). Bu nedenle, tonoz, kemer, kubbe ve sütunlarda çekmeye maruz kalmayacak şekilde kullanılmıştır.

Eğer yapıda çekme gerilmesi oluşmazsa bile, sıcaklık değişiklikleri, donma ve çözülme olayı gibi olumsuz çevresel koşullar nedeniyle çekme gerilmeleri oluşup elemanlarda çatlaklara neden olabilir (Dabanlı, 2008).

Taşın mineral bileşimi nedeniyle fiziksel özellikleri çok değişmektedir. Taşların ortalama fiziksel özellikleri Tablo 3.2' de verilmiştir.

Tablo 3.2. Taşların ortalama fiziksel özellikleri (Aşık, 2018)

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

Tarihi yapılarda taşlar iki şekilde kullanılmıştır. Doğal bir şekilde harçla bağlanarak ve şekillendirilerek işlenip, düzgün ve estetik duvarlar inşa edilmişlerdir (Şişik, 2017).

3.2.3. Harç

Harç, mineral esaslı bağlayıcı, dolgu malzemesi ve suyun karışımında katılaşma özelliğine sahip olan hamura denilmektedir. Genellikle içinde yer alan bağlayıcının niteliğine göre sınıflandırılırlar. Harcın kullanım amaçları ise, yapı bloklarını birbirine bağlayıp bir bütünlük teşkil etmesi ve yapı elemanlarına gelen yükün dağılmasına katkıda bulunmaktadır. Ayrıca, yapıyı bozucu dış hava şartlarından korumaktadır (Dabanlı, 2008).

Harcın doğmasına vesile olan malzemeler, topraktan yapılmış tuğla ve kerpiçtir. İnsanoğlu ilk başlarda çamuru harç olarak kullanmıştır. Çamurdan sonra Romalılar kireç harcını kullanmaya başlamışlardır. Kireç harcın ardından, kum kireç karışımına pişmiş kil yada puzolan denilen volkanik tüf ilave edilerek suyla reaksiyona giren, sertleşip mukavemet kazanan bağlayıcı elde edilmiştir. Roma, Bizans, Selçuklu ve Osmanlı dönemlerinde bağlayıcı olarak horasan harcı kullanılmıştır (Mahberel, 2006).

Tarihi yapılarda iki tür harç bulunmaktadır; kireç harcı ve sıvaları, horasan harcı ve sıvalarıdır (Kara, 2009).

3.2.3.1. Kireç harcı ve sıvaları

Kireç harcı, bağlayıcı olarak kirecin ve dolgu olarak agregaların suyla karıştırılması sonucu elde edilen hamurdur. Eski dönemlerde çimentonun ortaya çıkana kadar yapılarda bağlayıcı olarak kireç harcı kullanılmıştır. Kireç harcın fiziksel özelliklerini arttırmak ve karbonatlaşmayı hızlandırmak için harca organik ve inorganik maddeler eklenir (Bayraktar, 2008). Bunlardan bazıları, kan, yumurta, peynir, gübre, arap zankı, hayvan tutkalı, bitki suları, kazein gibi hızlandırıcı maddelerdir (Şişik, 2017).

Kireçte karbonatlaşma olayı, dış yüzey alanından başlayıp iç yüzeye doğru ilerlemektedir. Bu yüzden, kireç hacı ve sıvaların kalınlığı kireç/agrega oranları, agrega parçacık dağılımları, karışım ve bunlara dayalı meydana gelen gözenekli yapı karbonatlaşmaya etkilemektedir (Aşık, 2018).

3.2.3.2. Horasan harcı ve sıvaları

Horasan harcını oluşturan malzemeler öğütülmüş tuğla tozu ve kireçtir. Harcın dayanımı tuğla tozunun inceliğine, kireç kalitesine ve karışım oranına bağlıdır. Horasan harcının karışımına ince çakıl takviyesi yapıldığı zaman boşluk oranı azalır ve kirecin harçla giderek sertleşip mukavemet kazandırmaktadır. Ayrıca, horasan harcının rötresini engellemek amacıyla içine saman eklenerek tutucu görevi üstlenmiştir.

Horasan harcı, hemen sertleşmeyen ve yavaş yavaş dayanımı arttığı için eski yapı ustaları bu, malzemenin özelliğini bildiklerinden yapı temelini bitirince uzun bir süre ara vermeden sonraki üst yapıya başlamamışlardır. Horasan harcının sertleşme süresini azaltmak ve kısa bir sürede dayanım kazandırabilmesi için çeşitli katkı maddeleri kullanılmıştır.

Horasan harcı ve sıvaları hidrolik özelliklerinden dolayı Roma, Bizans, Selçuklu ve Osmanlı dönemlerinde su kemerleri, sarnıç, su kuyusu ve hamam gibi yapılarda kullanılmıştır. Tarihi yapıların çoğunda kullanılan horasan harcı özellikleri incelendiğinde, agrega yerine kullanılan tuğlaların özgül ağırlıkları, granit, kireç taşı, bazalt vb. agregalardan daha düşüktür. Bu nedenle, daha hafif ve daha yüksek çekme dayanımına sahiptirler (Aşık, 2018).

Geçmişte, tarihi yapıların sıvası bozulduğunda çimento uygulanması yapılmış ve çok kötü sonuçlara ulaşılmıştır. Bu yüzden, tarihi yapıların restorasyonunda horasan

harcının kullanımı 1990'lı yıllardan itibaren adımlar atılarak günümüzde restorasyonlarda kullanılmıştır. Horasan harcını hazırlayan ustalar günümüzde kalmadığı için tarihi yapıların onarımında kullanılan harc, İstanbul Büyükşehir Belediyesi Koruma Uygulama ve Denetim Müdürlüğü (KUDEB) ve bazı üniversitelerin laboratuvarlarında yapılan analizler sonucunda tespit edilerek hazırlanmaktadır (Şişik, 2017).

3.2.4. Kagir malzeme

Pişmiş toprak (tuğla) yada doğal taş gibi malzemenin bağlayıcı bir harçla kullanılması sonucu oluşan yapım tarzına kagir denilmektedir. Kagir malzeme ile, payanda, duvar, kubbe, tonoz ve kemer gibi taşıyıcı elemanlar yapılmıştır. Kagir malzeme farklı özellikteki malzemelerden meydana geldiği için hetrojen özelliğe sahiptir. Birim ağırlığı 21-22 KN/m³ arasındadır. Kagir malzeme, dış yüklerin etkisinde değişik özellikler gösterdiğinden taşıma gücü, yapımında gösterilen özene, yapımında kullanılan taş yada tuğlanın özelliğine, yapım tekniğine, harç özelliğine, çevresel koşullarına ve zamana bağlıdır (Kara, 2009).

Kagir malzeme kompozit malzemelerden oluştuğu için belirli bir basınç seviyesine mukavemet gösterebilir. Çekme gerilmesine karşı çok düşük bir dirence sahiptir. Kagir malzemenin mukavemeti, taş ve tuğla malzemeleri birleştiren harcın dayanımına eşdeğerdir. Kireç harcın basınç emniyet gerilmesi, $\sigma = 0,2 - 0,6$ MPa iken horasan harcın basınç emniyet gerilmesi, $\sigma = 1,5 \sim 3$ MPa seviyelerindedir (Dabanlı, 2008).

3.2.5. Ahşap

Ahşap doğada kolayca bulunabilir. Hafif olduğu için işçiliği kolaydır. Ancak, ahşap kısa ömürlüdür (Gedik, 2008). Ahşap malzeme tarihi yapılarda en çok konut ve bazen döşeme teşkilinde de kullanılmıştır. Ahşap, basınca ve çekmeye çalıştığı için eğilme elemanı olarak tanımlanır ve büyük açıklıkların geçişinde kullanılmıştır. Ayrıca, duvarlarda hatıl olarak, bazen de saçak ve cumba gibi mimari detaylarda kullanılmıştır. Tarihi yağma yapılarda ahşap, döşeme taşıyıcısı görevini üstlenmektedir (Dabanlı, 2008).

4. TARİHİ YIĞMA YAPILARDA OLUŞAN HASARLAR ve NEDENLERİ

4.1. Zeminden Kaynaklanan Hasarlar

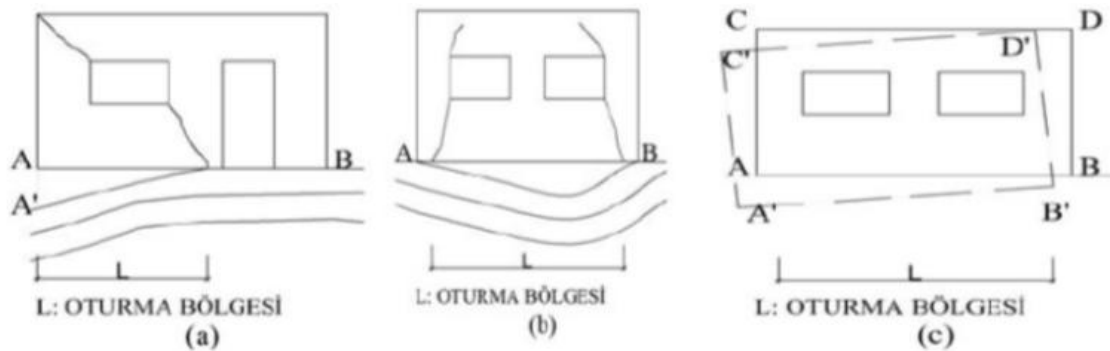
Yapının üzerinde oturduğu zeminin homojen olmaması veya mukavemeti düşük olduğu zaman giderek farklı oturmalar, dönme ve yapıda bazı hareketlerin oluşması (yatay ve düşey) gibi bozulmalara sebep olabilmektedir. Çatlaklar, temel altındaki zemin kısmı homojen olmadığı için yapıda görülür. Yapıda oluşan çatlakların yerleri ve doğrultuları incelendiğinde zeminden kaynaklı olup olmadığı ile ilgili bize kabaca bilgi verebilir. Eğer yapının iki ucu sağlam bir zemine ve arada kalan kısmı gevşik bir zemine oturuyorsa, çatlaklar kapı ve pencere boşlukların köşelerinden başlayıp 45 °C bir açıyla yanlara doğru geliştiği görülmektedir (Asımgil ve ark., 2013).

Zeminden kaynaklanan hasarlar; oturmalar, ayrışmalar, kabarma ve şişme, çatlaklar, kaymalar ve parça kopması olarak tanımlanabilir.

Düzenli oturmalar, yapının güvenliğini, kullanım süresini tehlikeye sokmaz ve hasarlar oluşturmaz. Zeminin kırılma tehlikesini artıran faktörler; zemine kayma direncinin artması, temel genişlik ve derinliğinin azalması, yükün eksantrisitesi ve eğimin artması, zeminin birim hacim ağırlığının azalması ve yeraltı su seviyesinin yükselmesidir (Aşık, 2018).

Yapı temelinde oluşan oturmaların temel nedenleri;

- Yer altı su seviyesinin değişmesi
- Yük sisteminde taban yük dağılımının değişmesi
- Temel kazıkların çürümesi
- Yapı etrafında kazılan kazılar
- Dinamik etkiler, titreşimler vb (Kara, 2009).

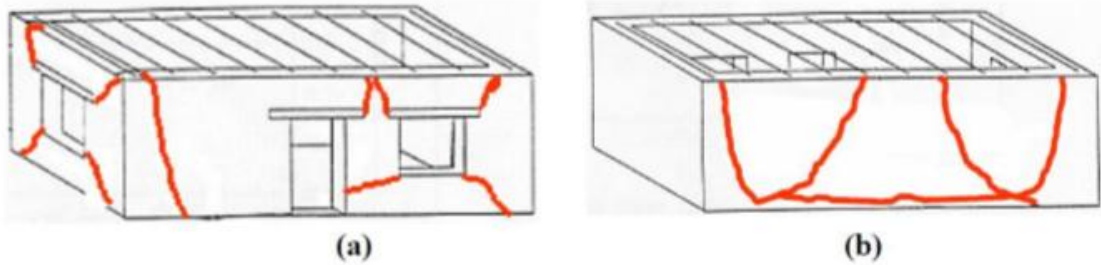


Şekil 4.1. Yığma yapılarda temel oturmalarından kaynaklanan hasarlar (Uğuz, 2017)

Ayrışmaya neden olan hasarlar iki şekilde olabilir. Dönme-çözülme olayı fiziksel bir etki, dış ortamın oluşturduğu sülfat etkisi kimyasal etki olarak tanımlanabilir. Ayrışma hasarına neden olan fiziksel etkiler (Dönme-çözülme) genelde yüzeysel iken kimyasal etkiler (Sülfat) daha derin bölgelerde yayılır.

Parça kopmasına neden olan hasarlar, atmosfer etkisi, kimyasal reaksiyonları, depremin etkisi ve iç sıcaklık yükselmesidir.

Çatlaklar, yapıda meydana gelen gerilmelerin sonucunda, malzemenin dayanım sınırını aştığında oluşan hasarlardır. Tarihi yapılar çekme ve kayma gerilmelerine karşı çok zayıf olduğu için genellikle çatlaklar, çekme ve kayma zorlanmalarına maruz kalan bölgelerde oluşmaktadır. Duvarlarda meydana gelen çatlaklar, fazla gerilme yoğunluğuna sahip olan bölgelerde gözlenmektedir. Kayma gerilmelerin neden olduğu çatlaklar, kapı ve pencere kenarına yakın yerlerde, duvar düzlemine dik eğilme veya duvar düzlemi doğrultusunda görülecektir (Şekil 4.2a). Eğer duvarlarda kapı ve pencere boşluğu olmazsa, duvarın düzlemine dik kuvvetler duvarın alt bölgesinde yatay çatlaklara ve duvar bağlantılarında düşey veya çapraz çatlaklara neden olur. (Şekil 4.2b) (Mahrebel, 2006).



Şekil 4.2. Duvarlarda düşey ve yatay yüklerden dolayı çatlak şekilleri (Mahrebel, 2006)

Basınç ve kayma gerilmelerinin etkisi altındaki bölgelerde paralel çatlaklar, çekme gerilmelerin yoğunlaştığı bölgelerde ise tekil çatlaklar meydana gelir. Çatlağa sebep olan oturmalar iki şekilde, üniform ve farklı oturma olarak incelenmektedir. Üniform oturmalar, yapının temel tabanı sıkışma sonucunda paralelce ilk konumu gibi oturur. Farklı oturmalar tek taraflı oturma, yapının bel vermesi ve taban altındaki zeminin yanlara doğru kaçması gibi başlıklarda incelenebilir. Yapının tabanı, oturma esnasında düzlem halini koruyarak ilk konumuna göre paralel kalmazsa oluşan durum devrilme yada üniform yatma olarak tanımlanabilir. Böyle durumlarda çatlağın ortaya çıkmaması için yapının yeteri kadar esnek veya temelinde meydana gelen sehimlere

karşı rijit olmalıdır. Farklı oturmalar, yapılarda hasar oluşturacak en tehlikeli oturma şekli olup duvarda çatlaklara neden olur.

- 1) Tek taraflı oturmalar, yapının iki ayrı bölgesinin ağırlıkları birbirinden farklı olduğu zaman ağır kısmın altındaki zeminde sıkışma daha fazla olacağından ilgili duvarlarda kesme çatlakları meydana gelir. Bu çatlaklar, yapıda kullanılan malzemelerin çekme dayanımına göre değişiklik göstermektedir. Çekme dayanımı düşük ise, düşey çatlak büyük ise, çatlaklar eğimli olup oturması fazla olan tarafa doğru yükselmektedir.
- 2) Yapının bel vermesi, basınçtan dolayı bir yapının ortasında etkisini gösterir. Bu sebeple, maksimum oturma homojen bir zeminde, yapının genellikle orta kısmında oluşmasıdır.
- 3) Yapı altındaki zeminin yanlara doğru kaçması, eğimli yerlerde inşa edilmiş bir yapının temel zemini yanlara doğru kaçmasından dolayı kenar bölgelerde ortaya göre oturmalar daha fazla meydana gelir. Kenardaki zeminin kaçması sonucu yapının üst kısımlarında düşey yönlü çekme çatlakları meydana gelir.

Kayma, yapının taban kısmında kesit yüzeyine etki eden yatay bileşke kuvveti, emniyetli kayma kuvvetinden büyükse yapıda kayma meydana gelir. Kayma tehlikesinin, yapı önündeki toprak direnci, istinat duvarları, kazıklar, payandalar vb. ile etkisini önleyebiliriz (Aşık, 2018).

4.2. Taşıyıcı Sistem Tasarımındaki Hatalar

- Planda duvarların düzensiz yerleştirilmesi; burulma etkileri oluşarak duvarın kritik bölgesindeki gerilmeler aşılmaktadır.
- Yapı rijitliğinin yüksekliğince üniform olmayan bir şekilde düzenlenmesi; kat seviyesinde bina rijitliğinde oluşan ani değişimler yüzünden duvarlarda hasar oluşmasına neden olmaktadır.
- Duvarlarda hatılların olmaması; duvarların birleşim ve kesişim yerlerinde düşey çatlaklara, düzlemi dışında eğilmesine neden olmaktadır.
- Kesitlerin yetersiz boyutlandırılması; duvar, ayak, payanda gibi düşey yükleri taşıyan elemanlarda sehimlerin meydana gelmesine ve giderek artmasına sebep olup kalıcı hasarlar oluşarak binanın yıkılmasına yol açabilmektedir (Kara, 2009).

4.3. Hatalı Malzeme Kullanımı

Tarihi yapılarda kullanılan malzemenin (doğal taş, tuğla, kerpiç ve harç) iyi özelliğe sahip olmaması drumunda yapılardaki bozulmalarını hızlandırmaktadır. Tuğla duvarlarında kullanılan tuğlanın iyi pişirilmiş olması, yapı dayanımını daha çok sağlayan bir etkidir. Kötü ve kalitesiz tuğla kullanıldığında duvarlarda hızlı aşınma, dökülme, çukur oluşmu şeklinde yüzey kayıpları, ayrışma ve dağılma gibi hasarlar gözlenir. Tuğla gibi, harcın da iyi bir özelliğe sahip olması yapının dayanımına etkiler. Zayıf bir kireç harcı veya çamur, duvarlarda harç olarak kullanılması durumunda bozulan harç çözülerek yapı elemanlarının dağılmasına sebep olur (Arpacı, 2016). Taşın içerisinde kil tabakasının olması hızlı aşınmaya yol açar (Mahberel, 2006). Taşın doğadaki tabakalaşmasına (suyuna) göre biçimlendirilmelidir. Tabakalaşmasına dikkat edilmediğinde bozulmalar taş tabakaların dış cephesinden başlayıp içeriye doğru yavaş yavaş dökülmesi şeklinde gelişir (Aşık, 2018).

4.4. Hasar Biçimlerinin Belirlenmesi

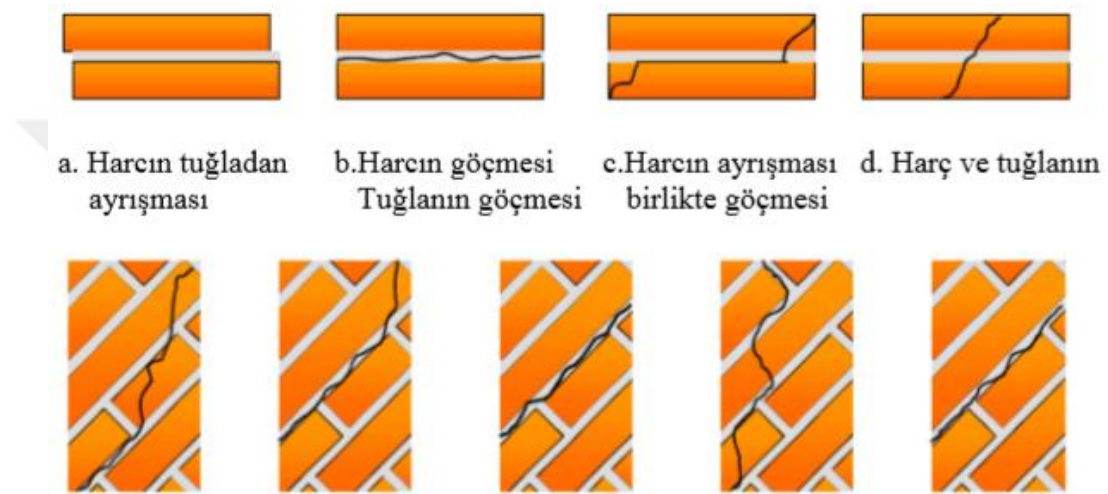
Yıllar önce inşa edilmiş tarihi yapılarda zamanın da etkisi olup farklı sebeplerden dolayı hasarlar oluşmuştur. Tarihi yapılarda onarım ve güçlendirme kararlarını almak ve hasarı önlemek için hasarın sebepleri tespit edilmelidir. Onarım ve güçlendirme, hasarın kendisinden ziyade nedenine yönelik olduğu için hasarlı tarihi yapının hasarının nedeni mutlaka tespit edilmelidir.

Hasarın ana nedenleri şöyle sıralanabilir:

- a. Yapımdan kaynaklanan hasarlar: Taşıyıcı eleman kesitlerinin beklenen yüklerin etkilerini taşıyacak konumunda olmaması ve taşıyıcı sistemde yükün taşınmasındaki ve aktarılmasındaki eksikliklerden kaynaklı hasarlar,
- b. Zeminden kaynaklanan hasarlar: Zeminin düşük taşıma kapasitesi, zemin sıvılaşması, farklı oturmaların oluşması ve yeraltı su seviyesinin yükselip alçalması sonucu meydana gelen hasarlar,
- c. Kullanılan malzemeden kaynaklı hasarlar,
- d. Diğer sebepler: Bakımsızlık, terk ve kasıtlı tahribatın yanı sıra sel, deprem yer hareketi ve yangın gibi doğal afetlerden kaynaklanan hasarlardır (Aköz, 2008).

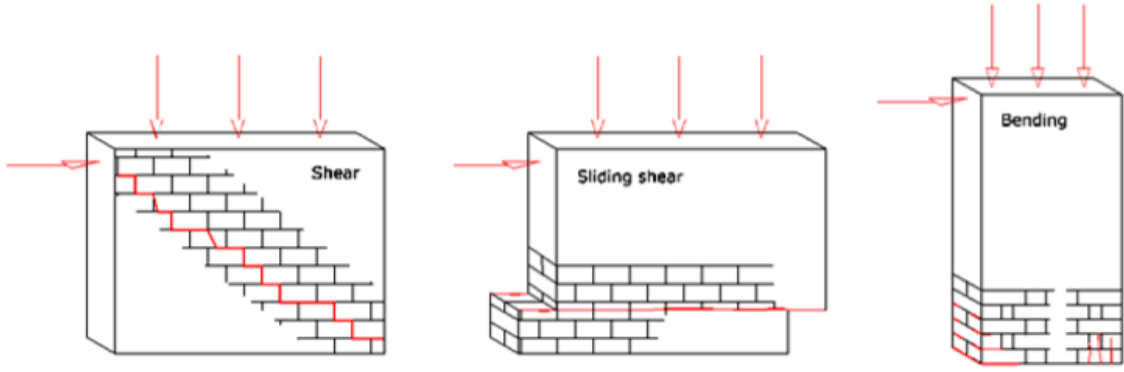
4.4.1 Taşıyıcı duvarlarda oluşan hasarlar

Yığma yapılarda düşey ve deprem yükleri duvarlar tarafından taşınır. Duvarda kullanılan malzemelerin çekme mukavemeti, harcın kayma mukavemetinden düşüktür. Duvarda hasar oluşturan en önemli etken depremler olup, etkisiyle kayma ve çekme gerilmeleri oluşturarak duvarın çatlama, ayrılma ve dağılmasına sebep olur. Şekil 4.3'te tuğla ve harçtan yapılmış olan bir duvarda kayma gerilmeleri ve çekme gerilmeleri nedeniyle meydana gelebilecek göçme şekilleri verilmiştir.



Şekil 4.3. Tuğla bir duvarda göçme tipleri

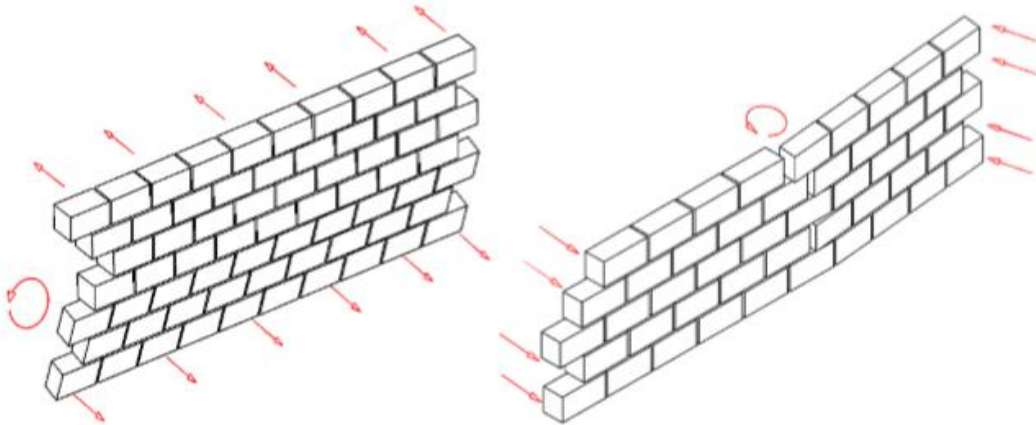
Yığma yapılar rijit ve ağır olduğu için üzerine büyük deprem kuvvetlerini çekerler. Yığma yapı, yükler (çekme ve basınç) altında sünek bir davranış sergilemeyen, önemli bir plastik şekil değiştirme göstererek ani göçmesine sebep olur. Duvarda bırakılan büyük pencere ve kapı boşlukları, planda duvar düzeninin simetrik olmaması, ekstra gerilme yığılmalarından dolayı hasar artışına sebep olur. Ayrıca, duvarların düşeyden ayrılması ve yapım kusurları da önemli ölçüde hasar sebeplerindedir. Duvarda en çok oluşan hasarlardan biri çatlaklardır. Çatlakların oluşum nedenlerinin saptanması onarım ve güçlendirme kararları konusunda çok önemlidir. Çatlak konumu ve yapıda yayılışı, yapıdaki gerilme dağılışı çatlakların neden oluştuğu ile ilgili bizlere fikir verecektir. Yapıda oluşan çatlaklar gözlenebiliyorsa rölövesinin çıkarılması önerilir. Şekil 4.4'te duvardaki kesme ve eğilmeden kaynaklanan çatlaklar görülmektedir (Aköz , 2008).



Şekil 4.4. Yığma bir duvarda kesme ve eğilmeden kaynaklanan çatlaklar

Çatlakların onarılması için öncelikle yeni veya eski olup olmadığına karar verilmelidir. Yeni çatlaklar keskin kenarlı ve daha net iken eski çatlaklar ise, yuvarlak kenarlı ve daha kirlidir. Çatlakların eski veya yeni olduğuna karar verildikten sonra oluşan çatlakların devam edip etmediği saptanmalıdır. Çatlak genişliği, sıcaklık değişimi ve hareketli yüke bağlı olarak değişiklik göstererek artıp veya azalabilir. Bu yüzden, çatlakların genişlikleri her gün belli saatlerde en az bir yıl boyunca ölçülmelidir. Çatlak oluşumu devam eden bir yapıda her şeyden önce çatlağı meydana getiren sebeplerin araştırılması gerekmektedir (Aköz, 2008).

Duvarların kendi eksenlerinden saparak, dönmesi diğer bir hasar biçimi sayılır. Yığma duvardaki dönmeler de çatlaklara benzer yapı taşıyıcı sisteminin hareketi yönünde bizlere net fikir verir. Duvardaki bu dönmeler, fotogrametrik yöntemlerle belirlenmesi istenmektedir. Duvardaki dönmeler bazen yapım hatasından da kaynaklanır. Şekil 4.5'te bir duvarın yatay ve düşey eksen etrafında nasıl döndüğünü göstermektedir (Aköz, 2008).

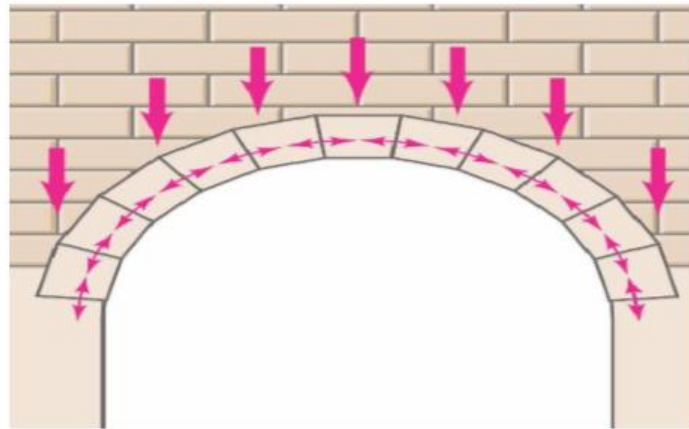


Şekil 4.5. Yığma duvarın yatay ve düşey eksen etrafında dönmesi

Duvarda oluşan bir başka hasar biçimi ise, zemin farklılıklarından veya duvar boyunca üzerine gelen düşey yüklerin büyük değişiklik göstermesi nedeniyle meydana gelen farklı oturmalar. Farklı oturmalar, duvar düzlemi içinde eğik çatlaklarla kendini belirtir. Bu çatlağın yönü oturma yönüne ne tarafta meydana geldiğini kolayca tespit edebilir (Aköz, 2008).

4.4.2. Kemer, tonoz ve kubbelerde oluşan hasarlar

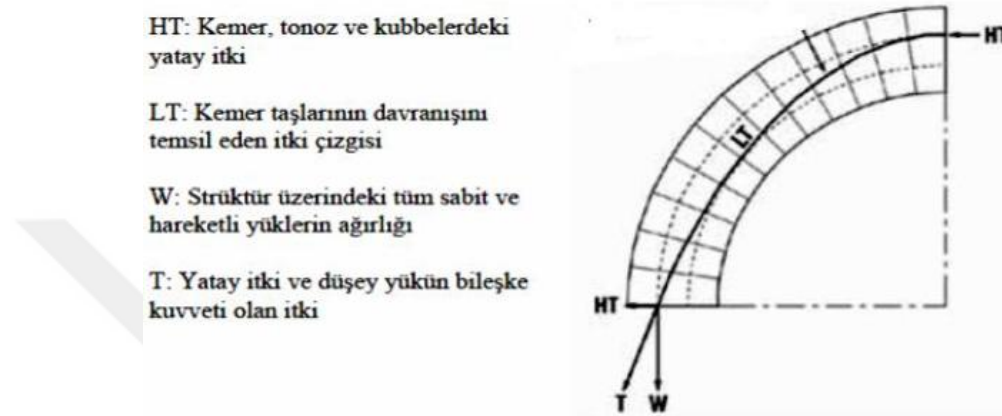
Yığılma duvarları basınca çalışmasına karşın, donatı içermediği için çekme kuvvetleri altında pek dayanım göstermeyip hasara uğrarlar. Bu yüzden, eğilme etkisi altında olan döşeme, çatı vb. elemanlar eğrisel olarak kemer, kubbe ve tonoz şeklinde tasarlanırlar. Ancak, deprem etkileri farklı oturmalar ve asimetrik yüklemeler taşıyıcı elemanlarda çekme gerilmelerinin yoğunlaşmasına sebep olur. Bu yoğunlaşmalar sonucu, çekme gerilmelerine dik doğrultuda bazı çatlaklar meydana gelir. Böylece aktarılan yükün sürekliliği kaybolup bölgesel çatlama/göçmeler ve dökülmeler meydana gelir. Özellikle taşıyıcı elemanlarda meydana gelecek olan oturmalar ve dönmeler daha çok tehlikelidir. Bu yüzden, meydana gelen hasarlar kalıcı olup o bölgenin tamamen göçmesine sebep olabilir. Kagir kemerlerde yük aktarma diyagramı şekil 4.6'da gösterilmiştir (Şişik, 2017).



Şekil 4.6. Kagir kemerlerde yük aktarım diyagramı

Kemerin statik özellikleri açıklık ve yüksekliğine bağlı olarak değişir. Kemerin orta çizgisine teğet olarak geçen tepki kuvvetleri yatay ve düşey bileşenlere ayrılır. Yatay bileşeni kemerin yüksekliği ile ters orantılı değişirken düşey bileşeni değişmez.

Yani, kemerin yüksekliği arttığında yatay itki kuvvetinde bir azalma söz konusu olur. Bu yüzden, basık kemerlerin uçlarda stabilitesi zordur. Kemer uçundaki stabilitesini sağlamak için çekme elemanları (germe) kullanılır. Ayrıca, yatay itki kuvveti öngerilmeli kirişlerle yada ağır blok temellerle karşılanabilir. Kemerin ağırlığı ve yatay itkinin bileşkesi olan itki çizgisi şekil 4.7’de görüldüğü gibi kemerin orta üçte birlik kısmının içinde kalırsa kemer yada tonoz kararlı bir yapıya sahip olur.



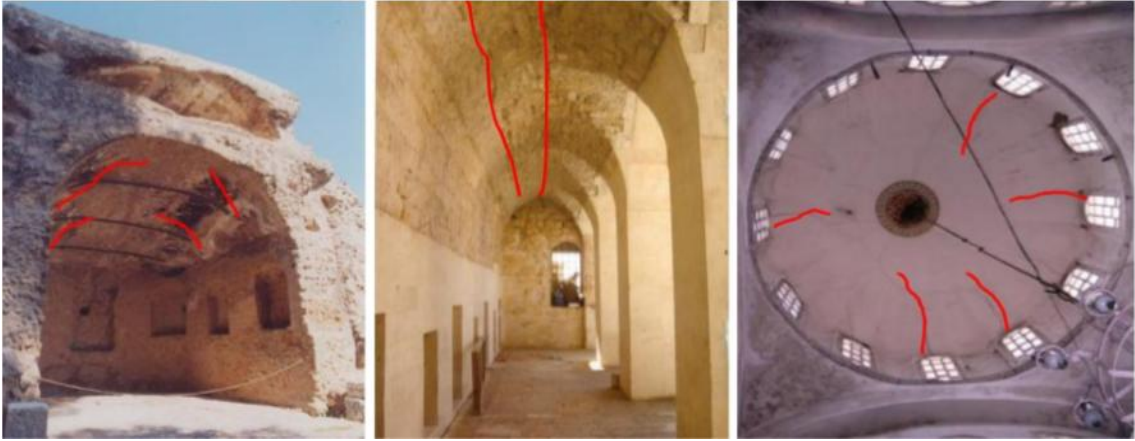
Şekil 4.7. Kemerde itki çizgisinin konumu

Yerçekimi kuvvetleri, kalın kemerlerde iç ve dış halka arasında, duvar boşluğu etrafında çatlaklar oluşturabilir. Yük arttığında parça kopma ve ezilme meydana gelir. Şekil 4.8’de yerçekimin kemerlerde oluşturduğu çatlak tipleri verilmiştir.



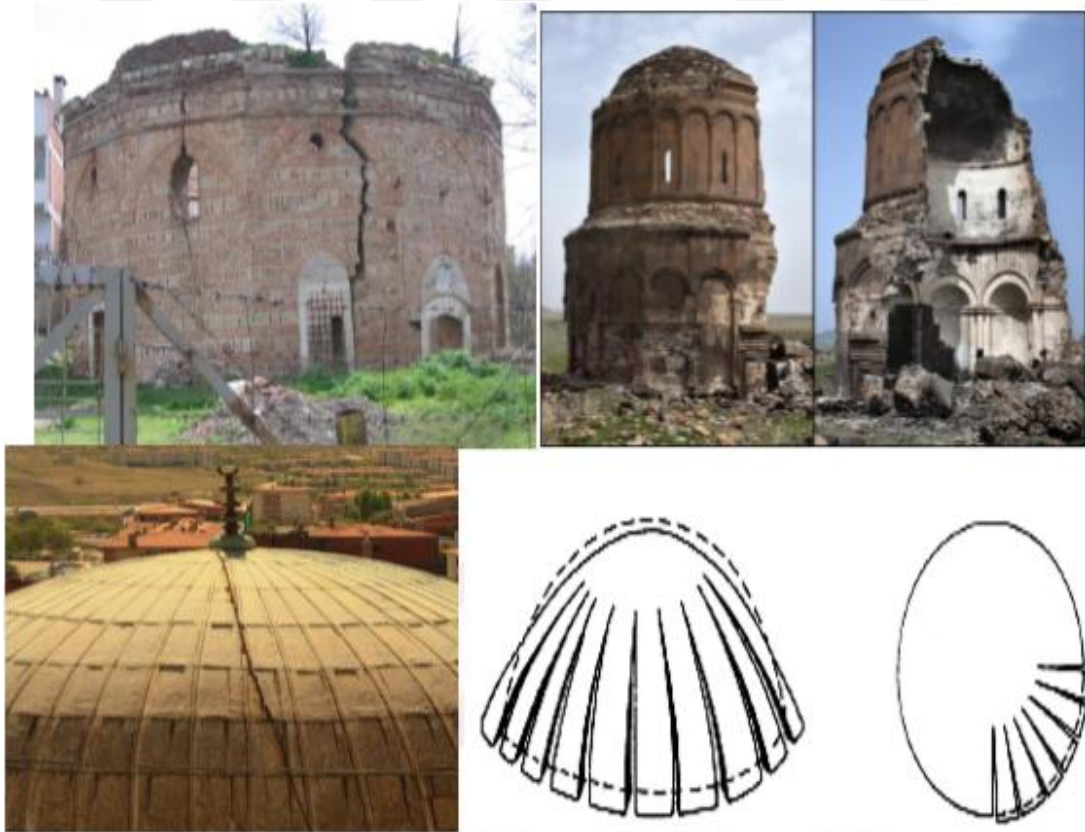
Şekil 4.8. Yerçekimin kemerlerde oluşturduğu çatlak tipleri

Çekme gerilmelerine maruz kalan kubbeler ve tonozlarda, ağırlık ve kalınlık azaldığı zaman çekme bölgesi aktif olup mesnetleri dışa iterek kubbelerde mesnetlere dik çatlaklar ve tonozlarda mesnetlere paralel çatlaklar oluşturur.

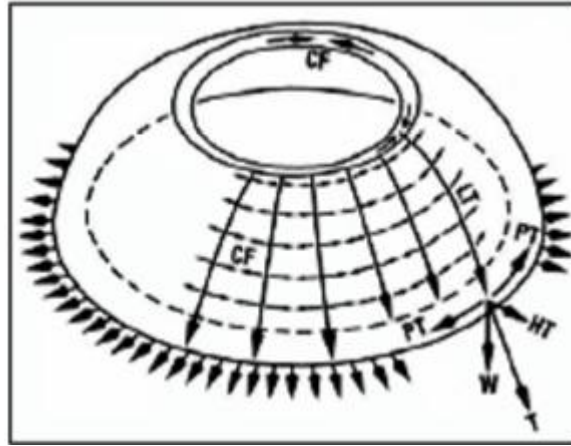


Şekil 4.9. Yerçekimin kubbeler ve tonozda oluşturduğu çatlak tipleri

Kubbelerde genellikle hasarlar çekme bölgesinde meydana gelir. Çekme kuvvetleri kubbe eteği bölgesinde düşey çatlaklara sebep olabilir. Kubbede düşey yük aktarımı kilit taşından başlayarak diğer yanındaki taşlar yardımıyla tabanına kadar iletilir. Kubbenin ağırlık kuvveti, düşey olarak taşlara etkileyip komşu taşlarla çapraz bir şekilde iletilir. Böylece kubbe tabanında yükler yatay ve düşey bileşenleri şeklinde toplanır. Yatay bileşeni genellikle kubbede hasar oluşturur.

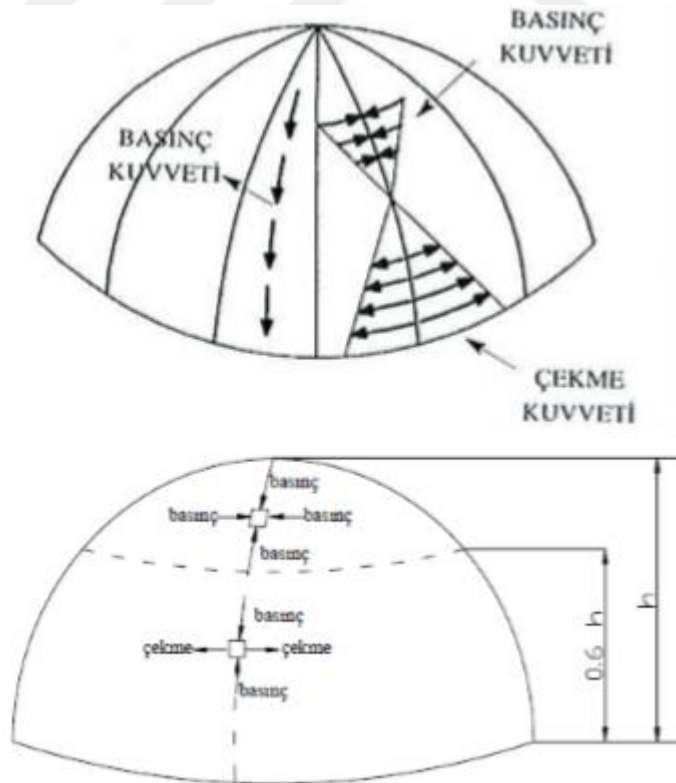


Şekil 4.10. Deprem, hava koşulları, yer çekimi, zemin v.b durumlar sonucu kubbelerde oluşan hasarlar



Şekil 4.11. Kubbede oluşan kuvvetler

Kubbeye etki eden yükün yatay bileşeni, payandalar ve gergiler tarafından karşılanarak kubbenin açılmasını önler. Ayrıca, kalın beden duvarları ve ağırlık kuleleri yardımıyla aşağıya doğru yönlendirerek ve ince bir duvarla da taşınabilir. Yükün düşey bileşeni ise, kubbeyi taşıyan elemanlar (kemer, duvar vb.) ile temele aktarılır. Kubbelere basınca çalışan elemanlar olup çekmeye maruz kaldığında düşey çatlaklar oluşturur. Kubbenin yük aktarma mekanizması aşağıda verilmiştir (Şişik, 2017).



Şekil 4.12. Kubbelerde yük aktarma mekanizması

4.4.3. Zeminden kaynaklanan hasarlar

Zeminden kaynaklanan hasarlarda, oturma, yer altı suyunun etkisi, taşıma gücü sorunu ve zeminin sıvılaşması etkilidir.

Oturma: Zeminden kaynaklanan hasarların en başında oturma söz konusudur. Oturma süreci, zeminin cinsine göre değişiklik göstererek uzun bir sürede tamamlanır. Siltli zeminlerde oturmaların birkaç yıl içinde gerçekleşirken, killi zeminlerde ise, 60-70 yıllık bir süreç içinde gerçekleştiği öngörülmektedir. Tarihi yapılarda zeminden kaynaklanan problemler genelde yapının inşasından hemen veya bir süre sonra ortaya çıkar. Yapıda ve çevrede önemli ve ani bir değişiklik olmadan yıllarca yerinde durmuş bir yapının temel zemininde son yıllarda bir sorun çıkması olasılığı yoktur. Bu tür yapılarda olası oturmalar çoktan tamamlanmıştır. Fakat, temel kazıklarının çürümesi, yeraltı su seviyesinin değişimi, yapı altında veya çevresinde kazılarak açılan boşluklar ve deprem etkileri nedeniyle binada yeni oturmaların meydana geleceği mümkün olabilir.

Yeraltı suyunun etkisi: Yer altı su seviyesinin değişimi, yumuşak zeminlere oturan yapılarda hasara sebep olabilir. Yer altı su seviyesi alçalınca, suyun içindeki zemin taneleri ağırlıkça arttığı için alttaki zemin katmanları üzerinde ilave bir yük oluşacaktır. Bu ilave yük, zemin tabakalarında tekrar bir oturmaya neden olup belli değerlere ulaşıncaya yapıda hasar oluşabilir. Yer altı su seviyesinin alçalması sonucu, kurumuş olan zemin tabakalarında rötre (çatlak) de oluşur. Killi zeminlerde rötre sonucu, hacimlerinde aşırı küçülmeler olacağından, oturmalar bir önceki haline göre daha büyük boyutlara varır. Yer altı su seviyesinin yükselmesiyle, zeminde olan boşluklar suyla dolup doymun bir hale gelir. Bu sebeple, zemin yumuşarak taşıma gücü ve kayma direncinde bir azlama durumu söz konusu olup oturmalar gerçekleşir.

Taşıma gücü sorunu: Tüm zeminlerin taşıyabileceği maksimum bir yük kapasitesi var. Zemine yüklenecek limit yükler, zeminin cinsine göre değişir. Limit değerinden zemine fazla yük yüklenecekse, zemin hareketleri ve hatta göçmeler meydana gelir. Özellikle kumlu ve çakıllı (kohezyonsuz) zeminlerin aşırı yüklenmesiyle göçmeler meydana gelmektedir.

Zeminin sıvılaşması: Yer altı su seviyesinin alt tabakalarındaki zemin, mukavemetini kaybederek katı yerine sıvı bir davranış sergiler. Özellikle yapısında kil olmayan kum, çakıl ve silt içeren zemin tabakaları sıvılaşma bir potansiyele sahiptir. Deprem esnasında, kayma dalgalarının suya doymuş olan taneli tabakalardan geçerek

tanelerin yerleşim düzenini değiştirir ve gevşik olan danelerin göçerek yerleşmesine ve sıkılaşmasına neden olur. Bu yerleşim esnasında, taneler arasında su yol bulup kaçamadığında boşluk suyu basıncı yükselir. Bu basınç, üst tabakaların ağırlığına yakın bir seviyeye ulaşırsa, granüllü (taneli) tabaka geçici olarak sıvı gibi bir davranış sergileyerek sıvılaşma meydana gelir. Zeminin sıvılaşması sonucu, ağır yapılar zemine batarken hafif yapılar da yukarı doğru hareket ederek yüzme eğilimi gösterebilir. Kayma mukavemetinin sıvılaşmayla kaybolduğu yerde, doğrultu değiştiren küçük kayma gerilmeleri, yapılarda büyük şekil değişikliklere ve zeminin çökmesi hasarlarına neden olur. Zeminin sıvılaşması temel olarak, gevşek bir yerleşime sahip olmasına, kil miktarına, taneler arasındaki bağlantıya ve boşluk suyunun drenajının önlenmesine bağlıdır. Zemin sıvılaşmasında meydana gelen büyük yerdeğiştirmeler, sıvılaşan tabakanın kalınlığına, yükleme durumuna ve yüzey eğimine de bağlıdır (Aköz, 2008).

5. TARİHİ YIĞMA YAPILARIN MODELLENMESİ ve ANALİZİ

Tarihi bir yapının modellenmesi karmaşık bir iştir, çünkü tarihi yığma davranışı izotropik, elastik veya homojen değildir. Taş, tuğla ve harç farklı fiziksel ve mekanik özelliklere sahip olduğundan; tarihi yığma malzemelerinin özelliklerini belirlemek zordur (Gedik, 2008).

Yakın geçmişte, yığma yapılar sayısal modellerle yaygın hale gelmiştir. Bilgisayar teknolojisinin gelişmesiyle birlikte, yığma yapıların analizinde çeşitli kavramlar ve deneyimler ortaya çıkmıştır. Yığma yapılar, yapım tekniğine göre birkaç farklı malzemenin montajı şeklinde uygulandığı için, değişik yönlerde değişik davranışları gösteren bir karaktere sahiptir. Modellemenin temeli bu davranışın temsil edebileceğidir. Modeldeki yapının gerçek bir davranış göstermesi amacına birtakım idealleştirmeler ve basitleştirici varsayımlara ihtiyaç duyulur. Yapının değerlendirilmesi için ayrılan zaman ve bütçenin de belirleyici olduğu bir süreçte, varsayılan yaklaşım sınırları içerisinde hesaplamaları elde etmek amacına farklı idealizasyonlar ve modelleme unsurlarının kullanımı uygun olabilir. Örneğin, bir elemanın yapıdaki yerel davranışını incelemek için kullanılacak model, yapı genel değerlendirmesi için daha detaylı veya daha az detaylı olarak hazırlanabilir. Bilgisayarların işlenmesi ve hafıza kapasiteleri de bazı sınırlamalar getirmektedir (Dabanlı, 2008).








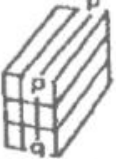
5.1. Modelleme İlkeleri ve İdealleştirmeler

5.1.1. Geometrinin idealleştirilmesi

Tarihi yığma yapıların geometrisi çok karmaşık bileşenlere sahiptir. Özellikle taşıyıcı sistemi ile dekoratif unsurların aynı olduğu yapılarda, taşıyıcı elemanlarda mimari detaylar göze çarpmaktadır. Kemer, tonoz ve kubbe gibi yapı elemanlarının geometrisi, modelleme için lineer parçalara bölünmesiyle mimari detaylar basitleştirilerek gerçek eleman geometrileri oluşturulur. Bu geometrik basitleştirmeler ve varsayımlar, yapının gerçek davranışını yansıtmak için kaçınılmazdır. Geometrik idealleştirmelerle ilgili aşağıda verilen hususlara dikkat edilmesi önerilir.

- Geometrik idealizasyon, mümkün olduğu kadar basit olmalıdır. İdeal ve ortogonal geometri modelleri analizde daha kararlıdır.

- Üç boyutlu modeller yerine, iki boyutlu modellemenin kurulumu kolaydır ve kısa sürede analiz edilebilir.
- Kabuk elemanlarının kullanımına dikkat edilmelidir, çünkü kabuk elemanlarının kalınlığı boyunca gerilme değişimi incelenememektedir.
- Geometrik idealizasyon, yapısal elemanların gerçek konumlarına ve şekillerine göre yapılmalı ve davranışlarını etkilememelidir.
- Hangi modelin yapısal davranışı en iyi temsil ettiğini belirlemek için çeşitli analitik modeller arasında karşılaştırmalar yapmak için çoklu alternatif çözümler uygulanabilir (Şekil 5.1) (Dabanlı, 2008).

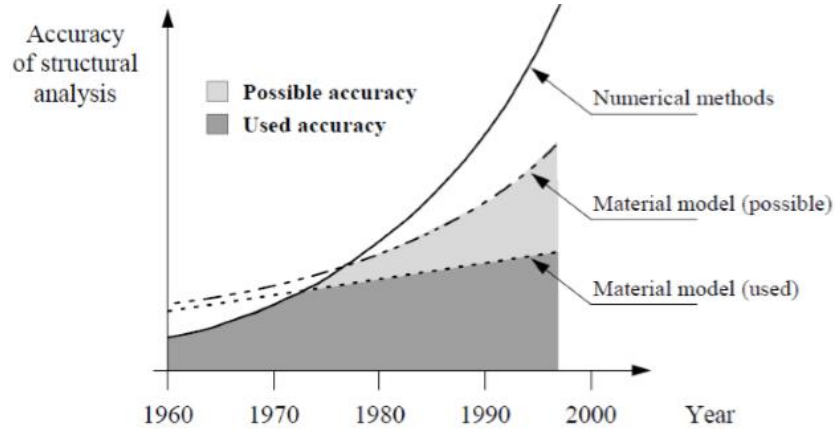
Model	A	B	C	D
Kubbe				
Alt Yapı				

Şekil 5.1. Çeşitli analitik modellerin gösterimi

5.1.2. Malzemenin idealleştirilmesi

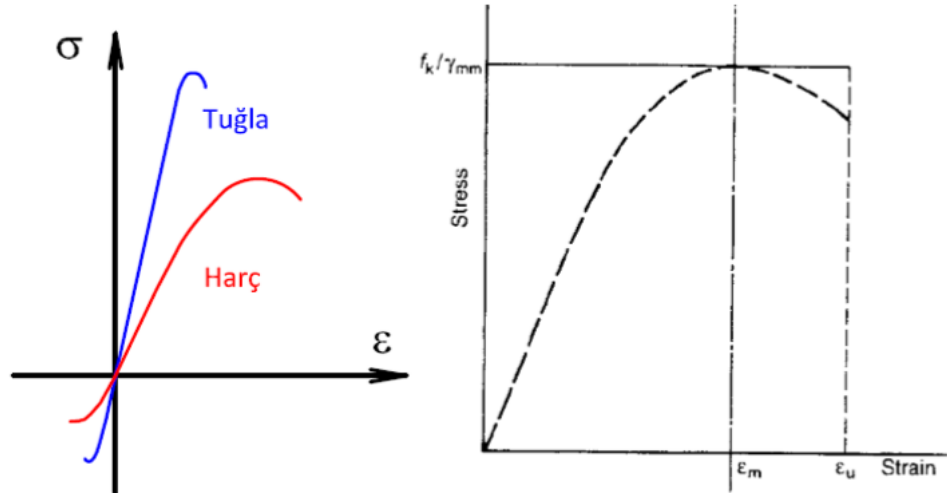
Malzeme davranışı, gerilme - şekil değiştirme ilişkisini gösteren matematiksel bir model ile nitelendirilir. Malzemelerin matematiksel modelleri, uygun bir analiz modelinin oluşturulmasında en önemli kısmı oluşturmaktadır. Bu matematik modele 'Esas Model' olarak ad verilir. Esas model, gerçek davranışın sadeleştirilmiş bir temsilidir. Bir yapının esas davranışını kavramak için, karmaşık ve ayrıntılı malzeme modelleri kullanılabilir. Ancak, bu modellerin göçme yüküne yakınsayan sonuçlara yol açmadığı bulunmuştur. Günümüzde yaygın bir şekilde kullanılan yaklaşım, yapının gerçek davranışını tahmin edebilecek doğrusal elastik davranıştan daha sağlam sayısal araçlar kullanılmaktadır. Bu araçların kullanılması, güç tükenmesine tamamen ulaşmadan önce oluşabilecek çatlak ve kırılmaları tespit ederek kullanılabilirlik

seviyesi, göçme mekanizmaları ve yapısal güvenlik seviyesinin değerlendirilmesini sağlar (Dabanlı, 2008).



Şekil 5.2. Tarih boyunca yapısal analizlerin doğrulukları

Geçtiğimiz yüzyıl, yapısal analiz ve sayısal yöntemlerde büyük gelişmelere tanık olmuştur. Bugün, yüksek doğruluk ve güvenilirlik seviyeleri bilgisayar tarafından analiz edilebilir (Şekil 5.2). Ancak, yapı mühendisliğinde mekanik, statik ve hesaplamalı yöntemlere verilen önem malzeme bilimine verilmez. Bu malzeme davranışının yapısal analizin gelişimine ayak uyduramayacağı anlamına gelir. Bu nedenle, mevcut malzeme modelleri, genellikle yapısal analizin doğruluk mertebesini ve yaklaşıklıkını açıklayan bir unsurdur. Malzemedeki her gerilmenin bir deformasyon durumuna karşılık geldiğini açıklayan ve $\sigma / E = \varepsilon$ şeklinde R. Hooke tarafından homojen/elastik cisimler için belirtilen elastisite kuralı, yapısal davranışını ve göçme yükünü açıklamak için mühendisler tarafından kullanılmaktadır. Güvenlik katsayıları kullanılsa bile, deneyime ve deneye dayalı değerlendirme yöntemleri bazı yanlışlıklara neden olmuştur. Yığılma yapılarında malzeme davranış modelleriyle ilgili çok az çalışma olmasına rağmen, mevcut bilgi seviyesinde, sayısal modeller, yapısal değerlendirme ve güçlendirme için yapısal davranış bilgisi önemli rol oynamaktadır (Dabanlı, 2008).

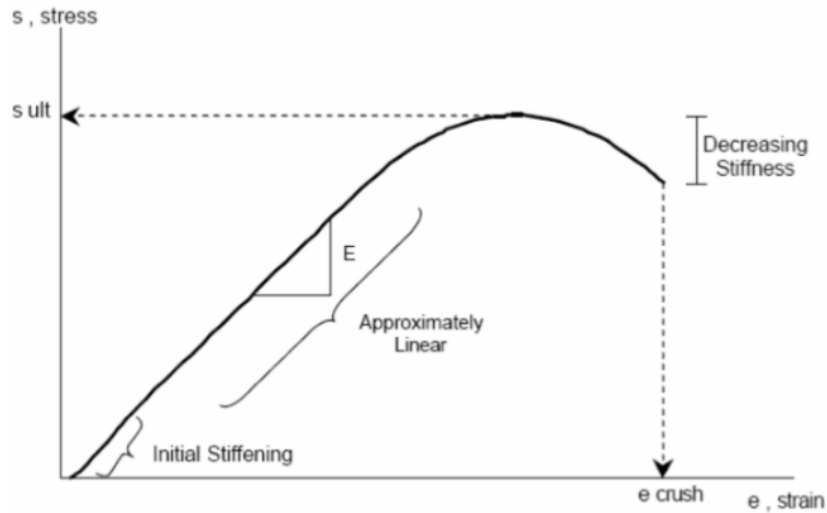


Şekil 5.3. Tuğla, harç ve yığma eleman - gerilme-şekil değiştirme diyagramı

Yığma yapı malzemeleri homojen olmadığından, değişik davranışlar sergileyebilirler. Ancak, inşaat aşamalarındaki süreksizliklerden dolayı, birbirlerinin yerine farklı malzemeler kullanılabilir. Bu malzemeler, farklı mekanik davranışlara sahip olacaktır. Yığma yapılarının mekanik özellikleri şöyle sıralanabilir.

- Mekanik davranışı homojen değildir.
- Malzeme izotropik değildir, yöne göre değişik davranışlar sergiler.
- Çekme dayanımı, özellikle uzun süreli yükler için sıfır olarak kabul edilir.
- Basınç gerilmesi altında gevrek bir davranışa sahiptir.
- Kayma gerilmelerinde belli bir oranda sünek davranış gösterir.
- Elemanların gerçek rijitliklerini hesaplarken, çatlaklar ve elemanlar arasındaki bağlantılar göz önüne alınmalıdır.
- Mekanik davranışı doğrusal değildir, çoğu zaman da elastik değildir.

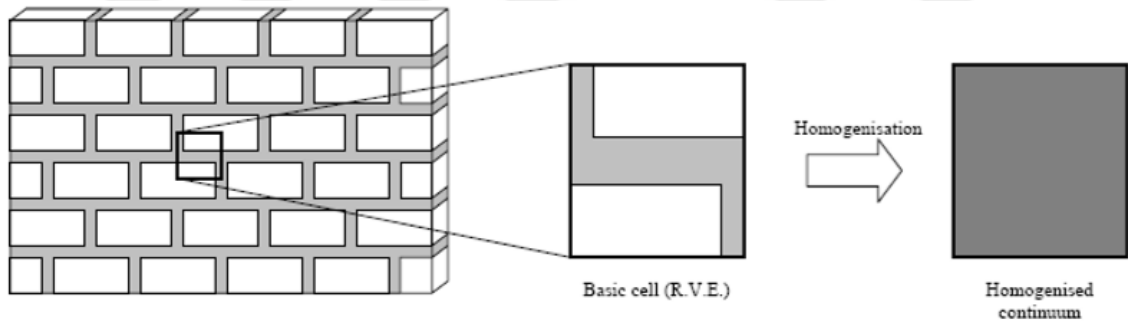
Gerilme deformasyon yâda yük ve yerdeğiştirme arasındaki ilişkiyi açıklayan diyagramlarda, malzemeye ait başlangıç rijitliği, elastisite modülü, şekil değiştirmeler karşısındaki rijitlik değişimi ve varsa tekrar yükleme altında elemanın rijitlik değişimi ile enerji sönmüleme karakteristikleri hususunda bilgiler sağlanabilir (Dabanlı, 2008).



Şekil 5.4. Basınç altında yığma elemanın gerilme ve deformasyon diyagramı

Malzeme idealizasyonu yaparken, özellikle yapının bir bütün olarak kabul edildiği makro modellemede, aşağıda verilen sadeleştirmeler ve idealleştirmeler dikkate alınabilir:

- Homojen ve İzotrop Malzeme: Malzeme homojen olarak kabul edilebilir ve benzer davranışı her yön için geçerlidir (Şekil 5.5).



Şekil 5.5. Yığma malzemelerin homojenleştirilmesi

- Lineer–Elastik Davranış: Düşük gerilme seviyelerinde, malzemenin doğrusal elastik davranış gösterdiği düşünülebilir. Aslında, bu varsayım basınç gerilmeleri altında daha fazla uyumludur. Çünkü yığma yapıların kesitleri, ölü yükler altında çok düşük gerilme seviyelerine sahiptir. Ancak, çekme gerilmeleri küçük seviyelerde bile çatlaklara neden olabilir (Şekil 5.4).
- Çekme Dayanımı: Yığma malzemelerin çekme dayanımı taşıması da varsayılabilir. Her ne kadar bu gerçek davranışa uyumsuz görünürse de, çekme gerilmesinin gerçekleştiği alanları belirlemek faydalıdır, çünkü olası çatlakların

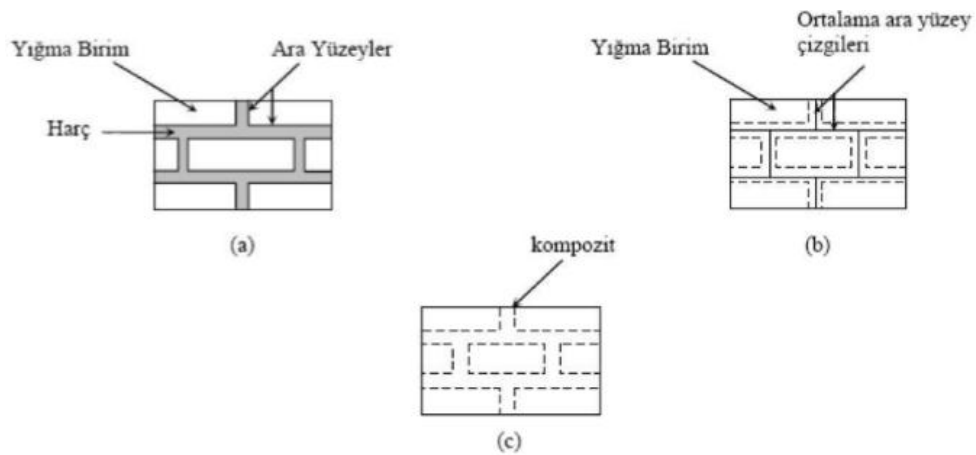
yerleri hakkında bilgi sağlar. Ayrıca, çekme gerilmesinin gerçekleştiği bölgedeki malzemeleri modelden çıkararak doğrusal olmayan davranışı belirlemek te mümkündür.

- Lineer Olmayan Davranış: Doğrusal olmayan davranışlar, yüksek gerilme seviyelerinde göz önünde bulundurulmamalıdır. Doğrusal olmayan davranış genellikle iki kriter olarak modellenir. Bunlar, Mohr-Coulomb kriteri ve Drucker-Prager kriterleridir (Dabanlı, 2008).

5.2. Modelleme Yöntemleri

Tarihi yığma yapıların modellenmesinde üç farklı yöntem kullanılabilir. Yani, ayrıntılı mikro modelleme, basitleştirilmiş mikro modelleme ve makro modellemedir (Gedik, 2008). Mikro modelleme tekniğinde, harç bağlayıcısı ile taş yada tuğla ayrı ayrı modellenir. Makro modellemede ise, malzemeler tek malzeme olarak modellenir (Dabanlı, 2008).

Mikro modelleme yaklaşımında, ara yüz elemanlarında elastik olmayan davranış meydana gelir ve böylece rijitliğin azalmasına neden olan gerilmeler ve yük akışı takip edilebilir. Ara yüz elemanı için farklı farklı göçme modlarını içeren modeller geliştirilmiştir (Şekil 5.6) (Dabanlı, 2008).



Şekil 5.6. Modelleme yöntemlerinin açıklaması a) detaylı mikro b) basit mikro c) makro modelleme

5.2.1. Mikro modelleme yöntemi

Yığma yapıların analizinde, malzemelerin iki parçalı tek bir malzeme olduğu varsayılmaktadır. Bu malzemeler ile tuğla ve harç ayrı ayrı modellenir. Bu yöntem

zordur ve uzun bir süreye ihtiyaç vardır. Ayrıca, tuğla ve harcın mekanik özellikleri, tuğla ve çatlakların fiziksel özellikleri ve tuğlaların diziliş tarzları gibi istenen değerlerin sayısı da yüksek olacaktır. Bu yöntem sadece küçük deneylerde kullanılacaktır (Chamaky, 2014).

Mikro modelleme yaklaşımında, yığma yapı birimlerinin ve bağlayıcılarının mekanik özellikleri kesin ve net bir şekilde mevcut olmalıdır. Bu nedenle, mikro modellemeden önce malzeme üzerinde ayrıntılı bir çalışma gereklidir. Mikro modellemede, doğrusal olmayan tüm davranış ara yüzlerinde, olası düşey kırıklar da birimin ortasında yoğunlaştırılabilir. Ardından, bu yaklaşım genellikle büyük bir hesap yüküyle karşılaşılır. Bu nedenle, mikro modelleme yaklaşımı yerel analiz için yaygın bir şekilde kullanılır, oysa büyük ölçekli yapının tamamını değerlendiren çalışmalar için tercih edilmez. Sonlu elemanlar, ayrık elemanlar ve limit analizi kullanılarak uygulamalar gerçekleştirilebilir (Dabanlı, 2008).

5.2.2. Makro modelleme yöntemi

Yığma yapıların analizinde homojenleştirilmiş eşdeğer malzemeler tek parçalı bir malzeme olduğu varsayılmaktadır. Analizde bu malzeme tuğla ve harç yerine kullanılır. Mekanik özellikleri, tuğla ve harcın mekanik özelliklerinden farklıdır, ancak onların ortalamasına yakındır. Bu eşdeğer malzeme İzotropik veya Ortotropik olabilir. Bu yöntemde, analiz daha basit ve daha kısa sürede gerçekleşir, hataların yüzdesi de düşük ve ihmal edilir (Chamaky, 2014).

Makro modellerin anlaşılmasında ve uygulanmasında, deneysel veri eksikliği ve izotrop olmayan malzeme davranışındaki karmaşıklığı nedeniyle zorluklarla karşılaşmaktadır. Yeterli sayıda çalışmaya sahip olmayan belirli modellerin, makro modellemenin zorluklarının üstesinden gelebilmek amacına yetersiz olduğu görülmektedir. Bazı çalışmalarda, anizotropik malzeme davranışı ile plastisite kavramı kullanılarak, değişik yönlerde değişik sertleşme/ yumuşama özelliği gösteren uygulamalar daha iyi sonuç vermiştir. Bu noktadan da anlaşılacağı gibi, makro modellemede malzeme nitelenmeleri model ve analizin doğru olduğunu tanımlayan en önemli faktördür (Dabanlı, 2008).

5.2.3. Sonlu elemanlar yöntemi

Sonlu elemanlar yöntemi, mühendislik problemlerinin sayısal çözümlerinde yaygın olarak kullanıldığı ve geçerliliği kanıtlanmış güçlü bir araçtır. Sonlu elemanlar yönteminde, sürekli tanımlanmış bir karmaşık ortam, sonlu eleman adı verilen küçük ve basit geometrik şekillere ayrılır. Bu küçük elemanlara malzeme özellikleri atanır ve elemanlar üzerinde ilgili bağıntılar kurularak eleman düğüm noktalarında bilinmeyen bir değer olarak nitelendirilir. Daha sonra bir birleştirme işlemi gerçekleştirilerek sınır koşulları ve yükleme durumu denklem takımlarıyla sonuçlandırılır. Bu denklem takımlarının çözümleri bize sistemin çözümünü verir.

Sonlu elemanlar yöntemi ile oluşturulan matematiksel modelin doğru sonuçlar vermesi, modelin; seçilen eleman tipine, eleman sayısına, eleman davranışlarında yapılan kabullere, malzeme özelliklerinin tanımlanmasına, geometrik özelliklere, sınır ve kısıtlama koşullarına bağlıdır (Ercan, 2010).

Yapı mühendisliğinde Sonlu Elemanlar Yöntemi, yapıların 3 boyutlu statik ve dinamik analizlerine olanak sağlayan, lineer ve lineer olmayan çözümleri yapılabilen ve sonuçları sayısal yada grafiksel bir şekilde gösterebilen analiz yöntemidir.

Sonlu Elemanlar Yöntemi, statik ve dinamik yükler altında yapıların davranışını belirlemek ve yapı elemanlarının gerilmelerini belirlemek için yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Çeşitli yapı elemanın modellerini birlikte kullanılmasına izin verilen bu yöntem, ekonomi ve zaman açısından oldukça tercih edilir (Dabanlı, 2008).

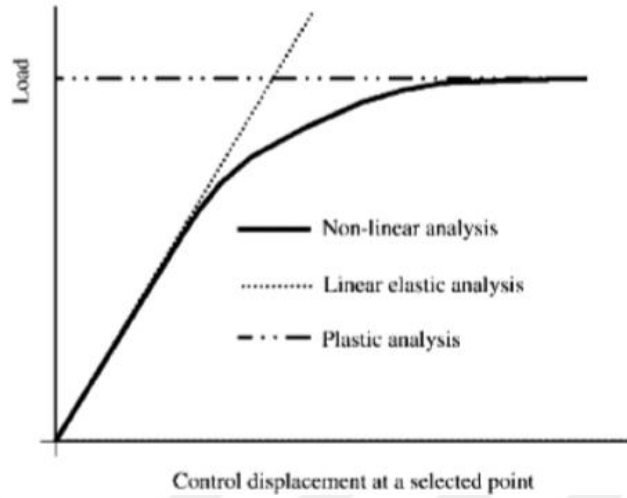
5.3. Analiz Yöntemleri

Tarihi yığma yapıların analizinde, Doğrusal Analiz, Doğrusal Olmayan Analiz ve Plastik Analiz olmak üzere 3 farklı analiz yöntemi mevcuttur (Şen, 2006).

5.3.1. Doğrusal (lineer) analizi

Yapının doğrusal analizi, malzemenin lineer-elastik davranışına dayanır. Yapının limit durumları doğrusal davranış ile analiz edilebilir. Ayrıca, yapıdaki kademeli çatlaklar ve hasarları incelenerek kullanılabilirlik sınırları elde edilebilmektedir. Çatlamış elemanların rijitliklerinde azaltmalar yaparak yeniden

gerilmelerin dağılımı yardımıyla limit yük analizi de yapılmaktadır. Analiz yöntemleri, aşağıda grafiksel olarak verilmiştir (Şen, 2006).



Şekil 5.7. Analiz tiplerinin karşılaştırılması

5.3.2. Doğrusal olmayan (non-linear) analizi

Doğrusal olmayan analizlerde, yapıdaki baştan limit durumana kadar olan hasarlar ve tepkiler hepsi incelenir. Yapım esnası ve önceki yüklemelerden kaynaklanan etkiler de bu analizde göz önüne bulunabilir. Yapılarda doğrusal olmayan davranışı etkileyen faktörler iki şekilde olabilir. İlki, malzemenin elastik ötesi davranışıdır. İkincisi ise, geometriden dolayı oluşan ikinci mertebe etkileri olarak tanımlanan, yüklemeye geometride oluşan değişimleri göz önüne bulunduran etkileri kapsar. Doğrusal olmayan analizi, limit yük ve kullanılabilirlik analizlerinde uygulanabilir (Şen, 2006).

5.3.3. Plastik analizi

Yapının plastik bir davranışı sergileyen prensibine dayanarak limit yük analizinde kullanılan bir metottur. Genel olarak doğrulama çalışmaları için kullanılacaktır. Plastik mafsal hipotezine dayanan yapısal bir davranış modelidir. Bu analiz yönteminde önceki yüklemelerin etkisi dikkate alınmadan, yüklerin yoğunlaşması göz önüne alınabilir ve yüklerin monoton bir şekilde arttığı varsayılır. Bu yöntem, alt yada üst sınır teoremlerinin birine göre uygulanabilir. İtke çizgisi analizi statik bir alt sınır teoremi uygulamasıdır. Plastik mafsal analizi ise, kinematik bir üst sınır

uygulamasıdır. Plastik davranış, çekme gerilmeleri için sıfır varsayılırsa, tarihi yığma yapılara yeterli bir yaklaşım olabilir.

Tüm analiz yöntemleri, malzeme davranışı ve sonuçlara göre birbirinden farklıdır. Basit yapıların çekme dayanımı sıfır sayılması koşuluyla non-lineer analizi ve limit yük analizi aynı göçme mekanizmalarına neden olur. Bununla birlikte, karmaşık yapıların limit yük analizi zor olup sonuçlar yanlış çıkabilir. Tarihi yığma yapıların analizinde çekme dayanımı önemli bir konudur. Analizde sıfır olmayan, düşük yada azalan çekme dayanımı hesaba katıldığında, sonuçlar kısmında güvenliği artmaktadır. Ancak, çekme gerilmelerin değerlendirilmesi kolay değildir (Şen, 2006).

5.3.4. Analiz yöntemlerinin karşılaştırılması

Tüm analiz metotları, analiz malzemesi ve sonuç seviyeleri açısından birbirinden farklıdır. Her bir analiz için gerekli bilgi ve sonuç tablo 5.1’de gösterilmiştir.

Tablo 5.1. Analiz metotlarının karşılaştırılması

ANALİZ TİPİ	GEREKLİ BİLGİSİ	SONUÇ BİLGİSİ
Doğrusal analiz	Malzemelerin elastik özellikleri ve izin verilen maksimum gerilmeler	Şekil değiştirme davranışı ve yapının gerilme dağılımı
Doğrusal olmayan analiz	Malzemenin elastik ve mukavemet özellikleri, Malzemenin elastik olmayan özellikleri	Şekil değiştirme, gerilme dağılımı ve yapının göçme mekanizması
Plastik analiz	Malzeme mukavemeti	Yapının göçme mekanizması

Basit yapılar için, doğrusal olmayan analiz ve limit durum analizinde, çekme dayanımı sıfır olarak kabul edilirse aynı göçme mekanizmalarını verir. Karmaşık yapılar göz önüne alındığında, limit analizi yapmak zordur ve elde edilen bilgiler yanıltıcı olabilir.

Tarihi yapının çekme dayanımı, analizin en önemli konularından biridir. Sıfır alınmaksızın, düşük veya küçük olduğu kabul edilirse, çekme dayanımı analizin güvenilirliğini artırır. Bununla birlikte, çekme gerilme dayanımının değerlendirilmesi zordur ve araştırmacı çekme gerilme dayanımının kritik yerlerde ciddi bir şekilde azaltılabileceğini akılda tutmalıdır.

Büyük yapılar için uygulama oldukça zahmetli olsa da, limit analizi mühendislik amaçları için çok pratiklidir. Analizin kilit yönü, belirli bir yük kombinasyonu için çökme mekanizmalarının seçimidir.

Lineer elastik analiz, tarihi yığma yapıların analizinde yaygın olarak kullanılmıştır. Mühendislik problemlerini çözmek için mevcut olan ileri araçlar ve programlar göz önüne alındığında doğrusal elastik analizin kullanılması tartışmalı görünmektedir.

Sonuç olarak, yöntem seçimi bir araştırmacının elinde olup ne tür bilgilere sahip olduğuna ve ne tür sonuçlara ihtiyaç duyduğuna bağlıdır (Şen, 2006).



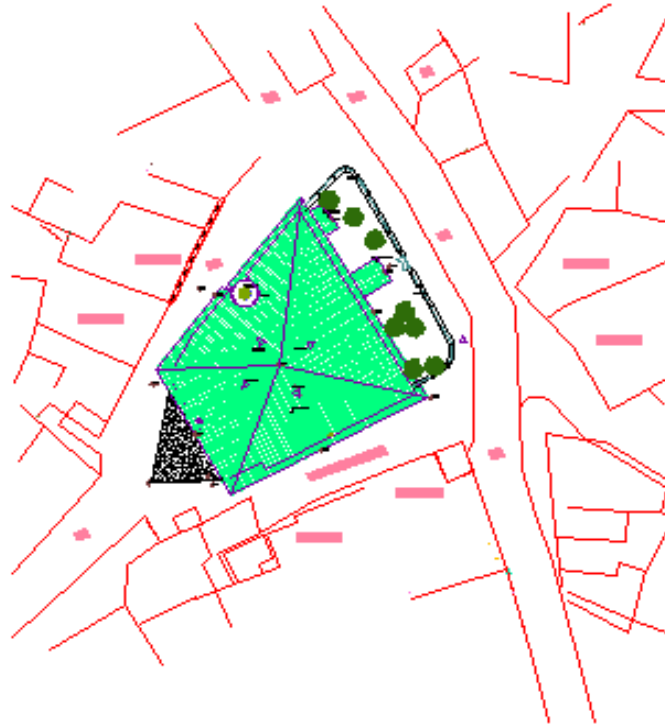
6. ÖRNEK ÇALIŞMA: SİLLE AK CAMİİ

6.1. Genel Bilgiler

6.1.1. Ak camii tanıtımı ve tarihçesi

Ak Camii, Sille Ak mahallesindedir. Caminin güney cephesindeki kapı üzerindeki kitabesi bulunmaktadır. Bu kitabeğe göre R.1280/M.1864 yılında Bektaşoğlu Mehmet usta ve oğlu Ahmet usta tarafından yapıldığı anlaşılmaktadır. Mimari ve süsleme özelliklerine bakıldığında 19.yy dönem özelliklerini göstermektedir. 400 m² alanı olup, avlusu ile 590 m²'lik yüz ölçümüne sahiptir. Sille'nin en büyük camisidir. Yamuk planlı cami kuzey güney doğrultusunda ve aynı zamanda doğu batı doğrultusunda eğimli bir arazi üzerine yapılmıştır. Bu nedenle, cami güney cepheden 2 katlı görünüme sahiptir. Dört tarafı yolla çevrili caminin avlusu doğudadır ve duvarla çevrili vaziyettedir.

Üzeri ahşap hatıllara yükseltilmiş düz dam örtülü iken sonradan kiremitli bir çatıyla kapatılmıştır. Örtüyü içeride ahşap sütunlar taşır. Caminin, biri doğuda diğeri kuzeyde olmak üzere iki avlu kapısı vardır (Sarıkose, 2008).



Şekil 6.1. Caminin plan görünümü



Şekil 6.2. Batı cepheden görünüş



Şekil 6.3. Doğu cepheden görünüş



Şekil 6.4. Güney cepheden görünüş



Şekil 6.5. Kuzey cepheden görünüş



Şekil 6.6. Ak camii harim görünüşü



Şekil 6.7. Ak camii minare görünüşü

6.1.2. Yapının mimari özellikleri

6.1.2.1. Yapım tekniği ve malzeme kullanımı

Yapım malzemesi olarak taş ve ahşap malzemenin birlikte kullanıldığı görülmektedir. Caminin beden duvarları ve bahçe duvarları tamamen moloz taş malzemeyle yığma olarak örülmüştür. Duvarlar örülürken taşların arasında geleneksel Sille derz tekniği uygulanmıştır. Bu teknikte derzler taşların yüzeyinin büyük bir bölümünü kaplayarak derzler arasına malakari eğrisel çizgiler atılmıştır. Caminin minare kaide ve gövdesinde düzgün kesme taş malzeme kullanılmıştır. Ahşap yapıda hem taşıyıcı hem de süsleme öğesi olarak dikkatimizi çekmektedir.

Ahşap malzeme; üst örtüde çatı ve saçaklarda, caminin içinde kapı ve pencere doğramalarında, caminin içinde taşıyıcı direklerde, tavan kaplamasında, mihrap, kürsü, minber ve mahfilde, iç duvarda sonradan yapılan lambriplerde görülmektedir. İç kısımda direkler profilli yastıklara oturur ve kirişleme sistemi bu kolonlara oturtulmuştur. Kirişler çok düzgün hatlı değildir ve kiriş altı Sille'ye özgü "pardı" denilen, ince ağaç dallarıyla kaplanmıştır.

Mihrap ve minberde ağırlıklı olarak ajur tekniğinde yapılmış uygulamalar dikkati çekmektedir. Bitkisel süslemeler maili kesim tekniğinde yapılmıştır.

Alt kat pencere sisteminde korkuluklar dövme demirden yapılmıştır. Güney cephedeki depo ve kazan dairelerinin kapıları metalden yapılmıştır.

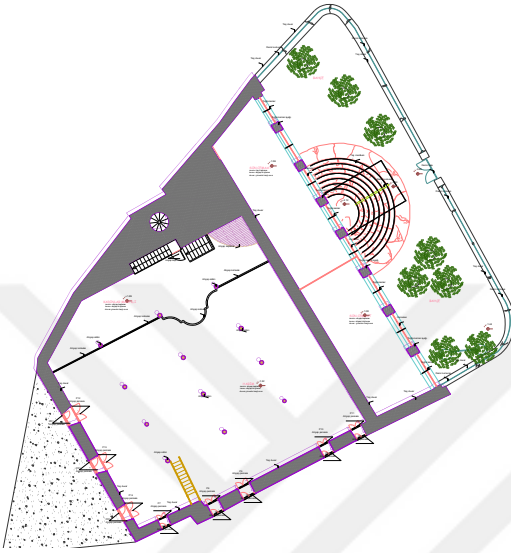
Bahçe zemininde, giriş merdivenlerinde ve ön cephede belli bir seviyeye kadar beton kaplama görülür. Yapının iç ve dış duvarlarına çimento harçlı sıva yapılmıştır. Duvarların alt kısmında Sille derz tekniği kullanılarak örülmüş moloz taş duvar dikkati çekmektedir.

Çatıda oluklu saç levha kaplaması yapılmıştır. Minare külahı ise kurşun kaplamadır.

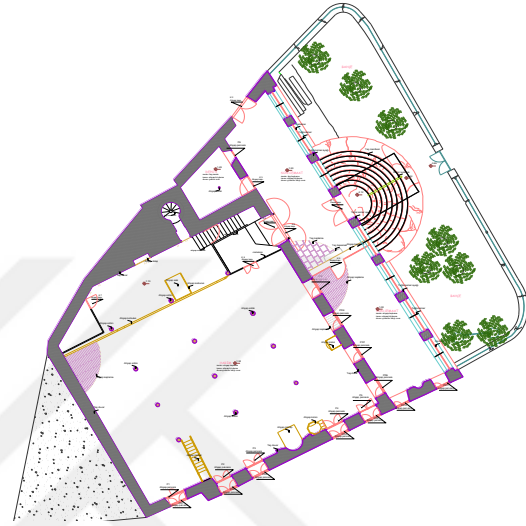
6.1.2.2. Plan tipi ve plan elemanları

19. yy geleneksel ahşap direkli camilerin tipik bir örneğidir. Harim yaklaşık olarak yamuk planlıdır. Yapının kuzey cephesindeki yol eğiminden dolayı bu duvarın köşesi pahlıdır. Boyuna düzenlenmiş dikdörtgen planlı cami boyuna düzenlenmiş 12 ahşap direk ile 4 sahnalı olarak düzenlenmiş (bazilikal) plan şemasına sahiptir. Harimin

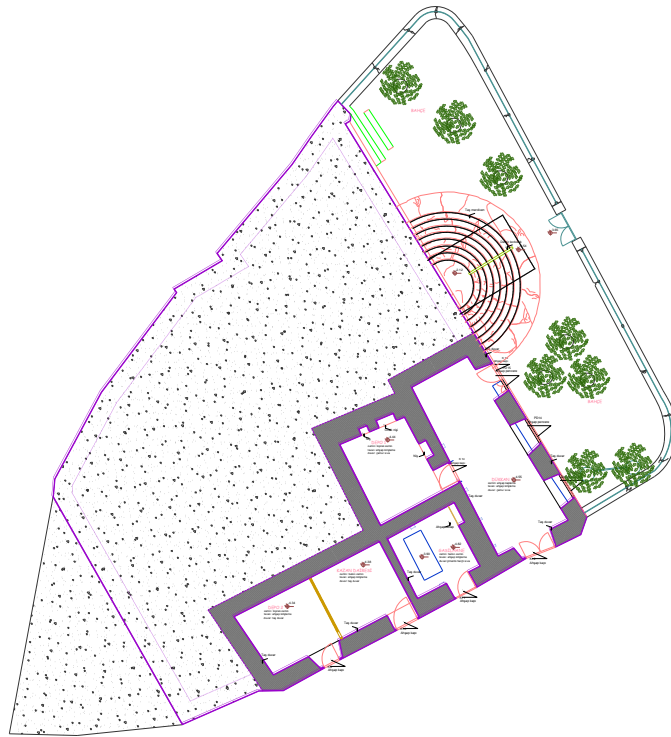
giriş bölümü camekânla ayrılmıştır. Harimde mahfil altına yapılan imam odası dışında planda değişme olmamıştır. Son cemaat (yazlık bölüm) mihrabın olduğu seki üstü kısımla giriş önündeki taşlık camekânla bölünmüştür. Caminin bodrum katı dört ayrı mekân olarak tasarlanmıştır. Dükkan ve depo olarak değerlendirilen mekanlar yan yana sıralanmış ve bağımsız mekanlar halinde kullanılmışlardır.



Şekil 6.8. Yapının mevcut plan şeması



Şekil 6.9. Harim planı



Şekil 6.10. Bodrum kat planı

6.1.3. Yapının geçirdiği onarımlar

Ak Cami'nin onarımları günümüze kadar devam etmiştir. Çatının kiremitle kaplanması, son cemaat mahallinin avluya bakan tuğla kemer aralarının ahşap sütunler ile değişmesidir. Cami günümüze gelene kadar, onarım ve ilaveler sonrasında bazı değişikliklere uğramıştır. Bilinmeyen bir tarihte yapılan onarımlarda giriş bölümü değiştirilerek son cemaat kapatılmıştır.

2003 yılında pencere doğramaları ısı camlı olarak yenilenmiştir.

2005 yılında; kabaran sıvaların tamir edildiği, iç mekanda badanaların yenilendiği, ahşapların pinotekslenerek verniklendiği, ahşap döşemenin sökülerek blokaj üstüne grobeton imalatı sonrasında orijinal kotunun yenilenmesi gibi kararlar alınmıştır.

2014 yılında duvarlarında bulunan derin çatlaklar dikişleme metoduyla onarılmıştır. Caminin alt ve üst kat döşemeleri orijinal haline uygun olarak değiştirilmiştir. İç ve dış sıvaları kaldırılmış ve çatı saç kaplamaları, kurşun kaplama ile değiştirilmiştir. Son cemaatte tuğla ile örülen kemerler kaldırılmıştır.

6.2. TBDY 2018' e Göre Ak Camii Hesap Analizleri

❖ Duvar boylarının kontrolü

İki doğrultu boyunca taşıyıcı duvarların, kapı ve pencere boşlukları dikkate alınmadan toplam uzunluğunun brüt kat alanına (konsol döşeme alanları hariç) oranının $\ell_d / A \geq 0.2 I \text{ m/m}^2$ koşulunu sağlaması gerekmektedir.

ℓ_d : Taralı alan uzunluğu (m)

A : Brüt kat alanı (m²)

I : Bina önem katsayısı

Tablo 3.1 Bina Kullanım Sınıfları ve Bina Önem Katsayıları (Bölüm 3)

Bina Kullanım Sınıfı	Binanın Kullanım Amacı	Bina Önem Katsayısı (I)
BKS = 1	Deprem sonrası kullanımı gereken binalar, insanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar, değerli eşyanın saklandığı binalar ve tehlikeli madde içeren binalar a) Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri; vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları) b) Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, vb. c) Müzeler d) Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar	1.5
BKS = 2	İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar Aalışveriş merkezleri, spor tesisleri, sinema, tiyatro, konser salonları, ibadethaneler, vb.	1.2
BKS = 3	Diğer binalar Yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb)	1.0

Tablodan camiiler için bina kullanım sınıfına göre bina önem katsayısı $I = 1,2$ seçilecektir (TBDY, 2018).

Bodrum Kat

X-Doğrultusu;

Duvar No	Uzunluk L (m)	Kalınlık t (m)
1	8.65	0,9
2	4.38	0,9
3	5.35	0.9
4	8.94	0,9
5	4.97	0.77
6	5.40	1.29
7	4.94	0.9

Toplam taşıyıcı duvar uzunluğu = 42.63 m

Kat alanı = 151,315 m²

$\ell_d / A = 42.63 / 151,315 = 0,28 > 0,20 \times 1,2 = 0,24 \text{ m/m}^2$ (Sağlanıyor).

Y-Doğrultusu;

Duvar No	Uzunluk L (m)	Kalınlık t (m)
1	3,48	0,9
2	3,3	0,4
3	3,37	1,06
4	9,54	0,9
5	4,49	0,9
6	4,15	0,9

Toplam taşıyıcı duvar uzunluğu = 28.33 m

Kat alanı = 151,315 m²

$\ell_d / A = 28.33 / 151,315 = 0,187 < 0,20 \times 1,2 = 0,24 \text{ m/m}^2$ (Sağlanmıyor).

Normal Kat

X-Doğrultusu;

L1 = 5,02 m t1 = 0,74 m

L2 = 13,75 m t2 = 0,77 m

L3 = 4,9 m t3 = 0,77 m

L4 = 4,9 m t4 = 0,61 m

L5 = 6,21 m t5 = 1,3 m

L6 = 2,79 m t6 = 1,06 m

L7 = 4,43 m t7 = 0,61 m

L8 = 4,2 m t8 = 0,77 m

L9 = 5,2 m t9 = 0,61 m

Toplam taşıyıcı duvar uzunluğu = 51,4 m

Kat alanı = 400 m²

$\ell_d / A = 51,4 / 400 = 0,128 < 0,20 \times 1,2 = 0,24 \text{ m/m}^2$ (Sağlanmıyor).

Y-Doğrultusu;

$$L1 = 12.56 \text{ m} \quad t1 = 0,61 \text{ m}$$

$$L2 = 2.61 \text{ m} \quad t2 = 0,90 \text{ m}$$

$$L3 = 2.61 \text{ m} \quad t3 = 0,90 \text{ m}$$

$$L4 = 15.92 \text{ m} \quad t4 = 0,74 \text{ m}$$

$$L5 = 3,79 \text{ m} \quad t5 = 0,52 \text{ m}$$

Toplam taşıyıcı duvar uzunluğu = 37.49 m

Kat alanı = 246,85 m²

$\ell_d / A = 37.49 / 400 = 0,094 < 0,20 \times 1,2 = 0,24 \text{ m/m}^2$ (Sağlanmıyor).

❖ Düşey Gerilmelerin Hesabı ve Kontrolü

➤ Basınç Emniyet Gerilmesi

Tablo 6.2. Serbest basınç dayanımı bilinmeyen duvarların basınç emniyet gerilmeleri (DBYBHY 2007)

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

➤ Duvar Narinliği İle Azaltma

11.4.2 – Narinliğe bağlı λ kapasite azaltma katsayısı, narinlik (hk/t) oranının 6 ile 10 arasında olması durumunda 0.9 ve 10 ile 15 olması durumunda 0.75 alınacaktır. Yığma duvar için dayanım azaltma katsayısı λ_m 11.2.11'e göre belirlenecektir (TBDY-2018).

11.2.11 – Duvarların tasarım dayanımları belirlenirken yığma malzemede λ_m ve donatıda λ_s malzeme katsayıları (dayanım azaltma katsayıları) kullanılacaktır. λ_s katsayısı 1.15 kabul edilecek, yığma malzeme katsayısı λ_m ise gazbeton malzemede 1.75, diğer malzemelerde 2.0 olarak kullanılacaktır (TBDY-2018)

➤ **Azaltılmış basınç emniyet gerilmeleri**

Bodrum Kat

X yönündeki duvarlar;

DUVAR NO	UZUNLUK (cm)	h (cm)	t (cm)	h/t	fem	Azaltma katsayısı	Azaltılmış fem
1	865	339	90	3,77	0,3	2	0,6
2	438	339	90	3,77	0,3	2	0,6
3	535	339	90	3,77	0,3	2	0,6
4	894	339	90	3,77	0,3	2	0,6
5	497	339	77	4,40	0,3	2	0,6
6	540	339	129	2,63	0,3	2	0,6
7	494	339	90	3,77	0,3	2	0,6
TOPLAM	4263						

Y yönündeki duvarlar;

DUVAR NO	UZUNLUK (cm)	h (cm)	t (cm)	h/t	fem	Azaltma katsayısı	Azaltılmış fem
1	348	339	90	3,77	0,3	2	0,6
2	330	339	40	8,48	0,3	2	0,6
3	337	339	106	3,2	0,3	2	0,6
4	954	339	90	3,77	0,3	2	0,6
5	449	339	90	3,77	0,3	2	0,6
6	415	339	90	3,77	0,3	2	0,6
TOPLAM	2833						

GENEL TOPLAM = 42.63 m + 28,33 m = 70.96 m

Normal Kat

X Yönündeki duvarlar;

DUVAR NO	UZUNLUK (cm)	h (cm)	t (cm)	h/t	fem	Azaltma katsayısı	Azaltılmış fem
1	502	620	74	8,38	0,3	2	0,6
2	1375	620	77	8,05	0,3	2	0,6
3	490	620	77	8,05	0,3	2	0,6
4	490	620	61	10,16	0,3	2	0,6
5	621	620	130	4,77	0,3	2	0,6
6	279	620	106	5,85	0,3	2	0,6
7	443	620	61	10,16	0,3	2	0,6
8	420	620	77	8,05	0,3	2	0,6
9	520	620	61	10,16	0,3	2	0,6
TOPLAM	5140						

Y Yönündeki duvarlar;

DUVAR NO	UZUNLUK (cm)	h (cm)	t (cm)	h/t	fem	Azaltma katsayısı	Azaltılmış fem
1	1256	620	61	10,16	0,3	2	0,6
2	261	620	90	6,89	0,3	2	0,6
3	261	620	90	6,89	0,3	2	0,6
4	1592	620	74	8,38	0,3	2	0,6
5	379	620	52	12,12	0,3	2	0,6
TOPLAM	3749						

GENEL TOPLAM = 51.40 m + 37.49 m = 88,89 m

➤ Değerlendirme için kullanılacak basınç emniyet gerilmesi

$$➤ f_{em,d} = (\text{Bilgi düzeyi katsayısı}) \times f_{em}$$

Tablo 15.1 – Binalar için Bilgi Düzeyi Katsayıları.

Bilgi Düzeyi	Bilgi Düzeyi Katsayısı
Sınırlı	0.75
Kapsamlı	1.00

X Yönündeki duvarlar;

DUVAR NO	Azaltılmış fem	Bilgi düzeyi katsayısı	fem,d
Güney	0,6	1,00	0,6
Kuzey	0,6	1,00	0,6

Y Yönündeki duvarlar;

DUVAR NO	Azaltılmış fem	Bilgi düzeyi katsayısı	fem,d
Doğu	0,6	1,00	0,6
Batı	0,6	1,00	0,6

Düşey Gerilmelerin Hesabı ve Kontrolü**Bodrum Kat**

DUVAR NO	UZUNLUK L (m)	Kalınlık t (m)	Yükseklik h (m)	Hacim (m ³)	BHA (t/m ³)	Ağırlık (t)	A _w (m ²)
1	18,38	0,85	9,59	149,82	2,4	359,58	15,62
2	14,11	0,835	3,39	39,94	2,4	95,86	11,78
3	4,50	1,29	3,39	19,68	2,4	47,23	5,81
4	4,88	0,9	3,39	14,89	2,4	35,73	4,39
5	3,48	0,9	3,39	10,62	2,4	25,48	3,13
6	3,30	0,4	3,39	4,47	2,4	10,74	1,32
7	3,37	0,895	9,59	28,92	2,4	69,42	3,02
8	10,77	0,9	3,39	32,86	2,4	78,86	9,69
9	4,49	0,9	3,39	22,85	2,4	54,84	4,04
10	4,15	0,82	9,59	32,63	2,4	78,32	3,4
TOPLAM						856,06	62,20

Normal Kat

DUVAR NO	UZUNLUK L (m)	Kalınlık t (m)	Yükseklik h (m)	Hacim (m ³)	BHA (t/m ³)	Ağırlık (t)	A _w (m ²)
1	5,02	0,74	6,2	23,03	2,4	55,27	3,71
2	5,21	0,77	6,2	24,87	2,4	59,69	4,01
3	4,90	0,61	6,2	18,53	2,4	44,48	2,99
4	6,21	1,30	6,2	50,05	2,4	120,13	8,07
5	2,79	1,06	6,2	18,33	2,4	44	2,96
6	4,43	0,61	6,2	16,75	2,4	40,21	2,70
7	4,20	0,77	6,2	20,05	2,4	48,12	3,23
8	5,20	0,61	6,2	19,67	2,4	47,2	3,17
9	13,03	0,9	6,2	72,71	2,4	174,5	11,73
10	3,22	0,61	6,2	12,17	2,4	29,22	1,96
11	3,22	0,9	6,2	17,96	2,4	43,12	2,90
12	9,82	0,9	6,2	54,80	2,4	131,51	8,84
13	3,79	0,74	6,2	17,39	2,4	41,73	2,80
TOPLAM						879,18	70,13

Bodrum Kat;

Duvarlar = 856,06 ton

Döşeme = 9,75 ton

Hareketli Yük = 0,2 t/m² x 131,51 m² = 26 ton

W = 865,81 + 0,6 x 26 = 881.41 ton

$\sigma = W / A_w = 881.41 / 62,20 = 14,17 \text{ t/m}^2 < 60 \text{ t/m}^2 \checkmark$ (Sağlıyor).

Normal Kat;

Minare = 58,76 ton

Duvarlar = 879,18 ton

Döşeme = 10,97 ton

Kar yükü = 0,1155 x 400 = 46,2 ton

W_{Normal Kat} = 62,846 + 879,18 + 10,97 + 46,2 = 999,2 ton

$\sigma = W / A_w = 999,2 / 70,13 = 14,25 \text{ t/m}^2 < 60 \text{ t/m}^2 \checkmark$ (Sağlanıyor).

❖ Kesme gerilmelerinin hesabı ve kontrolü

▪ Deprem Kuvveti Hesabı

Türkiye Deprem Tehlike Haritaları
İnteraktif Web Uygulaması

Adres Sorgulama

İl: Konya

İlçe: Selçuklu

Köy: Merkez

Mahalle: Sille Ak Mh.

Raporlama

Rapor Başlığı: SİLLE AK CAMİİ

Deprem Yer Hareketi Düzeyi: DD-2

Yerel Zemin Sınıfı: ZC

Enlem: 37.928383

Boylam: 32.419967

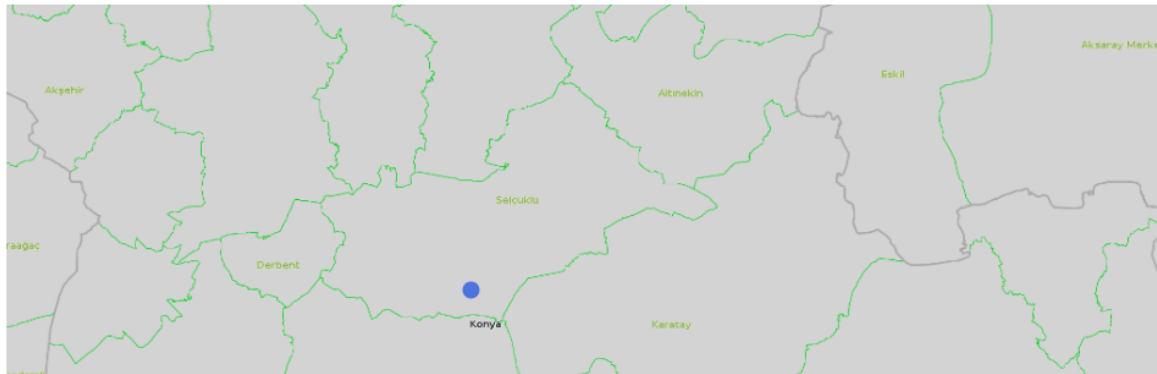
Haritadan Nokta Seç Düzenle

Değerleri Hesapla

PGA 475 (g)

0.1 0.2 0.3 0.4 0.5

Rapor Başlığı:	SİLLE AK CAMİİ	
Deprem Yer Hareketi Düzeyi:	DD-2	50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
Yerel Zemin Sınıfı	ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrılmış, çok çatlaklı zayıf kayalar
Enlem:	37.928383°	
Boylam	32.419967°	



Şekil 6.11. Binaya ait genel özellikler ve proje verileri

➤ **Harita Spektral İvme Katsayıları**

DD-2 (475 yıl tekerrür süreli 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem) için,
 $S_s = 0.320$ (Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı).

$S_1 = 0.076$ (1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı).

➤ **Yerel Zemin Etki Katsayıları**

Tablo 2.1'den ZC yerel zemin sınıfı ve kısa periyot harita spektral ivme katsayısı $S_s = 0.320$ için; yerel zemin etki sınıfı $F_s = 1,3$ seçilir.

Tablo 2.1. Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayıları

Yerel Zemin Sınıfı	Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_s					
	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.50$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.00$	$S_s = 1.25$	$S_s \geq 1.50$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
ZC	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
ZD	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
ZE	2.4	1.7	1.3	1.1	0.9	0.8
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır.					

Tablo 2.2'den ZC yerel zemin sınıfı ve 1 saniye periyot harita spektral ivme katsayısı $S_1 = 0.076$ için; yerel zemin etki sınıfı $F_1 = 1,5$ seçilir.

Tablo 2.2. 1.0 saniye periyot için Yerel Zemin Etki Katsayıları

Yerel Zemin Sınıfı	1.0 saniye periyot için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_1					
	$S_1 \leq 0.10$	$S_1 = 0.20$	$S_1 = 0.30$	$S_1 = 0.40$	$S_1 = 0.50$	$S_1 \geq 0.60$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZC	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
ZD	2.4	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7
ZE	4.2	3.3	2.8	2.4	2.2	2.0
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır.					

➤ **Tasarım Spektral İvme Katsayıları**

$$S_{DS} = S_S F_S = 0.320 \times 1.3 = 0.416g$$

$$S_{D1} = S_1 F_1 = 0.076 \times 1.5 = 0.114g$$

➤ **Deprem Tasarım Sınıfı**

Deprem tasarım sınıfı (DTS), bina kullanım sınıfı (BKS) ve kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı (S_{DS})' na göre aşağıdaki tablolardan DTS = 3 seçilecektir.

Tablo 3.1. Bina Kullanım Sınıfları ve Bina Önem Katsayıları

Bina Kullanım Sınıfı	Binanın Kullanım Amacı	Bina Önem Katsayısı (I)
BKS = 1	Deprem sonrası kullanımı gereken binalar, insanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar, değerli eşyanın saklandığı binalar ve tehlikeli madde içeren binalar a) Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminaleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri; vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları) b) Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, vb. c) Müzeler d) Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar	1.5
BKS = 2	İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar Alışveriş merkezleri, spor tesisleri, sinema, tiyatro, konser salonları, ibadethaneler, vb.	1.2
BKS = 3	Diğer binalar Yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb)	1.0

Tablo 3.2. Deprem Tasarım Sınıfları (DTS)

(DD-2) Deprem Yer Hareketi Düzeyinde Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı (S_{DS})	Bina Kullanım Sınıfı	
	BKS = 1	BKS = 2, 3
$S_{DS} < 0.333$	DTS = 4a	DTS = 4
$0.333 \leq S_{DS} < 0.667$	DTS = 3a	DTS = 3
$0.667 \leq S_{DS} < 1.00$	DTS = 2a	DTS = 2
$1.00 \leq S_{DS}$	DTS = 1a	DTS = 1

➤ **Bina Yükseklik Sınıfı**

Deprem tasarım sınıfı (DTS) 3 ve bina toplam yüksekliği (H_N) 9,59 m için Bina Yükseklik Sınıfı (BYS) Tablo 3.3'ten Bina Yükseklik Sınıfı (BYS) = 8 seçilecektir.

Tablo 3.3. Bina Yükseklik Sınıfları ve Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Tanımlanan Bina Yükseklik Aralıkları

Bina Yükseklik Sınıfı	Bina Yükseklik Sınıfları ve Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Tanımlanan Bina Yükseklik Aralıkları [m]		
	DTS = 1, 1a, 2, 2a	DTS = 3, 3a	DTS = 4, 4a
BYS = 1	$H_N > 70$	$H_N > 91$	$H_N > 105$
BYS = 2	$56 < H_N \leq 70$	$70 < H_N \leq 91$	$91 < H_N \leq 105$
BYS = 3	$42 < H_N \leq 56$	$56 < H_N \leq 70$	$56 < H_N \leq 91$
BYS = 4	$28 < H_N \leq 42$	$42 < H_N \leq 56$	
BYS = 5	$17.5 < H_N \leq 28$	$28 < H_N \leq 42$	
BYS = 6	$10.5 < H_N \leq 17.5$	$17.5 < H_N \leq 28$	
BYS = 7	$7 < H_N \leq 10.5$	$10.5 < H_N \leq 17.5$	
BYS = 8	$H_N \leq 7$	$H_N \leq 10.5$	

➤ **Taşıyıcı Sistem Davranış ve Dayanım Fazlalığı Katsayısı**

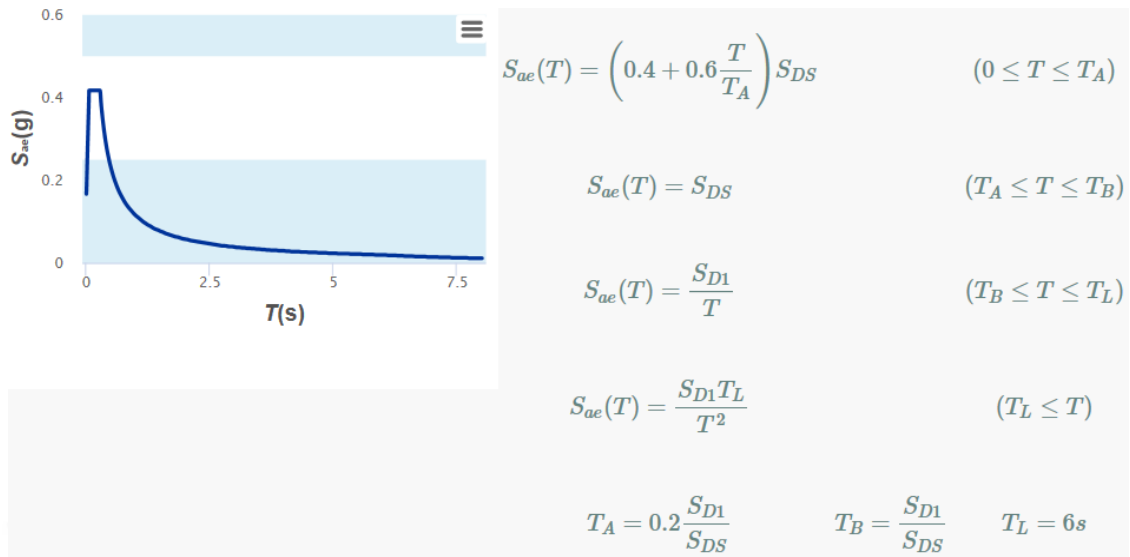
Tablo 4.1. Bina Taşıyıcı Sistemleri için Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı, Dayanım Fazlalığı Katsayısı ve İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfları

Bina Taşıyıcı Sistemi	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı R	Dayanım Fazlalığı Katsayısı D	İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfları BYS
D. HAFİF ÇELİK BİNA TAŞIYICI SİSTEMLERİ			
D1. Süneklik Düzeyi Sınırlı Taşıyıcı Sistemler (Bkz.4.3.4.1)			
Deprem etkilerinin tamamının kaplamalı veya çaprazlı panellerle karşılandığı süneklik düzeyi sınırlı hafif çelik binalar	3	2	$BYS \geq 7$
D2. Süneklik Düzeyi Karma Taşıyıcı Sistemler (Bkz. 4.3.4.1, 4.3.4.6)			
Deprem etkilerinin <i>süneklik düzeyi yüksek</i> merkezi çaprazlı yapısal çelik çerçeveler ile kaplamalı ve çaprazlı hafif çelik paneller tarafından birlikte karşılandığı binalar	4	2	$BYS \geq 6$
E. YIĞMA BİNA TAŞIYICI SİSTEMLERİ			
E1. Donatısız yığma binalar	2	2	$BYS = 8$
E2. Kuşatılmış yığma binalar	3	2	$BYS \geq 7$
E3. Donatılı yığma binalar	4	2	$BYS \geq 7$
E3. Donatılı gazbeton panel binalar	3	2	$BYS \geq 7$

Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı $R = 2$

Dayanım Fazlalığı Katsayısı $D = 2$

➤ Yatay Elastik Tasarım Spektrumu



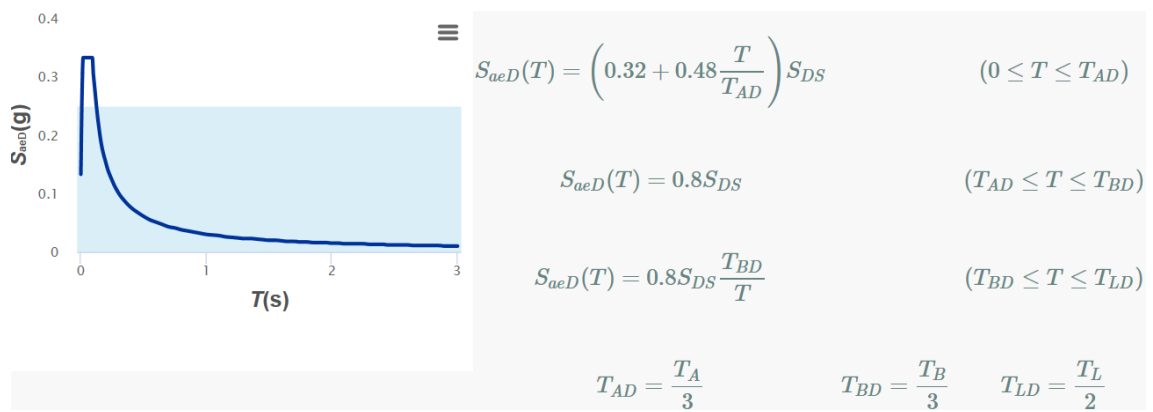
$$S_{DS} = 0.416 \text{ g}, S_{D1} = 0.114 \text{ g}$$

$$T_A = 0.055 \text{ (s)}, T_B = 0.274 \text{ (s)}$$

$$T = 0.37 \text{ (s)}$$

$$S_{ae}(T) = S_{D1} / T = 0.308 \text{ g}$$

➤ Düşey Elastik Tasarım Spektrumu



$$T_{AD} = 0.018 \text{ (s)}$$

$$T_{BD} = 0.091 \text{ (s)}$$

$$T_{LD} = 3.000 \text{ (s)}$$

➤ **Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı**

$$R_a(T) = \frac{R}{I} \quad T > T_B \quad (4.1a)$$

$$R_a(T) = D + \left(\frac{R}{I} - D \right) \frac{T}{T_B} \quad T \leq T_B \quad (4.1b)$$

Bina hakim periyodu $T_1 = 0.37$ sn

$T_1 = 0.37 > T_B = 0.274$

$R_a(T) = R / I = 2 / 1,2 = 1,667$

➤ **Yatay Deprem Etkisi Altında Azaltılmış Tasarım İvme Spektrumu**

$S_{ac}(T) = S_{D1} / T = 0,308g$

$S_{aR}(T_1) = S_{ac}(T) / R_a(T) = 0,308g / 1,667 = 0,185g$

➤ **Eşdeğer Deprem Yüğü**

$V_t = m S_{aR} = m \times 0,185g = 0,185 W$

$W = 1857,1$ ton

$V_t = 0,185 \times 1857,1 = 343,56$ ton (Taban kesme kuvveti)

❖ **Duvarların kayma emniyet gerilmesi**

Bodrum Kat

$$\tau_{em} = \tau_0 + \mu \times \sigma$$

$$\tau_{em} = 0,10 + 0,5 \times 0,1417 = 0,170 \text{ Mpa}$$

Normal Kat

$$\tau_{em} = \tau_0 + \mu \times \sigma$$

$$\tau_{em} = 0,10 + 0,5 \times 0,1425 = 0,171 \text{ Mpa}$$

Tablo 6.6. Duvarların çatlama emniyet gerilmesi (τ_o)

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

Bu denklemde τ_{em} = duvar kayma emniyet gerilmesi (MPa), τ_o = duvar çatlama emniyet gerilmesi (MPa), μ = sürtünme katsayısı (0.5 olarak alınabilir), σ ise hesaplanmış duvar düşey gerilmesidir (MPa). Duvarda kullanılan kargir birim cinsine göre duvar çatlama emniyet gerilmesi τ_o değeri Tablo 6.6'den alınacaktır.

➤ **Değerlendirme için kullanılacak kayma emniyet gerilmesi**

Bodrum Kat

$$\tau_{em,d} = \tau_{em} \times (\text{Bilgi düzeyi katsayısı})$$

$$\tau_{em,d} = 0,170 \times 1 = 0,170 \text{ MPa}$$

Normal Kat

$$\tau_{em,d} = \tau_{em} \times (\text{Bilgi düzeyi katsayısı}).$$

$$\tau_{em,d} = 0,171 \times 1 = 0,171 \text{ MPa}$$

➤ **Rijitlik merkezi hesabı**

$$x_c = Sx_i k_{y,i} / Sk_{y,i}$$

$$k_{x,i} = A_{x,i} / h_i$$

$$k_{y,i} = A_{y,i} / h_i$$

$$y_c = Sy_i k_{x,i} / Sk_{x,i}$$

Borum Kat

X YÖNÜ								
DUVAR NO	UZUNLUK L (m)	Kalınlık t (m)	Yükseklik h (m)	Alan (m ²)	X (m)	Y (m)	K _x	Yk _x
1	8.65	0,90	3,39	7.79	8,55	0	2,30	0
2	4.38	0,90	3,39	3.94	15,06	0	1,16	0
3	5.35	0,90	3,39	4.82	19,93	0	1,42	0
4	8.94	0,90	3,39	8.05	8,69	4,77	2,37	11,30
5	4.97	0,77	3,39	3.83	15,65	4,59	1,13	5,19
6	5.40	1,29	3,39	6.97	15,48	10,11	2,06	20,83
7	4.94	0,90	3,39	4.45	19,69	10,76	1,31	14,10
TOPLAM							11,75	51,42

Y YÖNÜ								
DUVAR NO	UZUNLUK L (m)	Kalınlık t (m)	Yükseklik h (m)	Alan (m ²)	X (m)	Y (m)	K _y	Xk _y
1	3,48	0,90	3,39	3,13	4,67	2,64	0,92	4,29
2	3,30	0,40	3,39	1,32	13,07	2,55	0,39	5,09
3	3,37	1,06	3,39	3,57	17,24	2,59	1,05	18,10
4	9,54	0,90	3,39	8,59	22,16	5,67	2,53	56,06
5	4,49	0,90	3,39	4,04	13,21	7,22	1,19	15,72
6	4,15	0,90	3,39	3,74	17,67	7,12	1,10	19,44
TOPLAM							7,18	118,70

$$x_c = \Sigma x_i k_{y,i} / \Sigma k_{y,i} = 118,70 / 7,18 = 16,53 \text{ m}$$

$$y_c = \Sigma y_i k_{x,i} / \Sigma k_{x,i} = 51,42 / 11,75 = 4,38 \text{ m}$$

Normal Kat

X YÖNÜ								
DUVAR NO	UZUNLUK L (m)	Kalınlık t (m)	Yükseklik h (m)	Alan (m ²)	X (m)	Y (m)	K _x	Yk _x
1	5,02	0,74	6,2	3,71	2,51	1,05	0,6	0,63
2	13,75	0,77	6,2	10,59	11,02	0	1,71	0
3	4,90	0,77	6,2	3,77	20,34	0	0,61	0
4	4,90	0,61	6,2	2,99	2,45	15,27	0,48	7,33
5	6,21	1,30	6,2	8,07	8,16	17,45	1,30	22,69
6	2,79	1,06	6,2	2,96	11,54	20,2	0,48	9,69
7	4,43	0,61	6,2	2,70	15,32	21,07	0,44	9,27
8	4,20	0,77	6,2	3,23	15,32	16,29	0,52	8,47
9	5,20	0,61	6,2	3,17	17,71	23,41	0,51	11,94
TOPLAM							6,64	70,02

Y YÖNÜ								
DUVAR NO	UZUNLUK L (m)	Kalınlık t (m)	Yükseklik h (m)	Alan (m ²)	X (m)	Y (m)	K _y	Xk _y
1	12,56	0,61	6,2	7,66	0	7,55	1,24	0
2	2,61	0,9	6,2	2,35	10,61	18,7	0,38	4,03
3	2,61	0,9	6,2	2,35	12,74	18,7	0,38	4,84
4	15,92	0,74	6,2	11,78	17,66	8,73	1,9	33,55
5	3,79	0,52	6,2	1,97	17,66	19,36	0,32	5,65
TOPLAM							4,22	48,07

$$x_c = \frac{\sum x_i k_{y,i}}{\sum k_{y,i}} = 48,07 / 4,22 = 11,39 \text{ m}$$

$$y_c = \frac{\sum y_i k_{x,i}}{\sum k_{x,i}} = 70,02 / 6,64 = 10,55 \text{ m}$$

➤ **Kütle merkezi hesabı**

Bodrum Kat

DUVAR NO	x (m)	y (m)	Ağırlık (t)	m*x	m*y
1	8,55	0	63,34	541.557	0
2	15,06	0	32,07	482.9742	0
3	19,93	0	39,17	780.6581	0
4	8,69	4,77	65,48	569.0212	312.3396
5	15,65	4,59	31,14	487.341	142.9326
6	15,48	10,11	56,68	877.4064	573.0348
7	19,69	10,76	36,17	712.1873	389.1892
8	4,67	2,64	25,48	118.9916	67.2672
9	13,07	2,55	10,74	140.3718	27.387
10	17,24	2,59	29,06	500.9944	75.2654
11	22,16	5,67	69,86	1548.098	396.1062
12	13,21	7,22	32,88	434.3448	237.3936
13	17,67	7,12	30,39	536.9913	216.3768
TOPLAM			522,46	7730.937	2437.292

$$X_G = 14,80 \text{ m}$$

$$Y_G = 4,66 \text{ m}$$

Normal Kat

DUVAR NO	x (m)	y (m)	Ağırlık (t)	m*x	m*y
1	2,51	1,05	55.276224	138.7433	58.04004
2	11,02	0	157.542	1736.113	0
3	20,34	0	56.14224	1141.933	0
4	2,45	15,27	44.47632	108.967	679.1534
5	8,16	17,45	120.12624	980.2301	2096.203
6	11,54	20,2	44.006112	507.8305	888.9235
7	15,32	21,07	40.210224	616.0206	847.2294
8	15,32	16,29	48.12192	737.2278	783.9061
9	17,71	23,41	47.19936	835.9007	1104.937
10	2,51	1,05	114.004608	286.1516	119.7048
11	0	7,55	34.95312	0	263.8961
12	10,61	18,7	34.95312	370.8526	653.6233
13	12,74	18,7	175.298304	2233.3	3278.078
14	17,66	8,73	29.325504	517.8884	256.0116
		TOPLAM	1001.635296	10211.16	11029.71

X_G = 10.19 m**Y_G = 11,01 m****➤ Burkulma rijitliği hesabı****Bodrum Kat**

$$J = I_x + I_y$$

$$I_x = \sum \bar{y}_i^2 * k_{x,i} - y_{CG}^2 * \sum k_{x,i}$$

$$I_y = \sum \bar{x}_i^2 * k_{y,i} - x_{CG}^2 * \sum k_{y,i}$$

$$\bar{x}_i = x_i - x_G, \quad \bar{y}_i = y_i - y_G$$

$$x_{CG} = x_C - x_G = 16.53 - 14.80 = 1.73 \text{ m}$$

$$y_{CG} = y_C - y_G = 4.38 - 4.66 = -0,28 \text{ m}$$

X YÖNÜ										
DUVAR NO	UZUNLUK L (m)	Kalınlık t (m)	Yükseklik h (m)	Alan (m ²)	X (m)	Y (m)	K _x	X _i (m)	Y _i (m)	Y _i ² *K _x
1	8.65	0,90	3,39	7.79	8,55	0	2,30	-6.25	-4.66	49.945
2	4.38	0,90	3,39	3.94	15,06	0	1,16	0.26	-4.66	25.190
3	5.35	0,90	3,39	4.82	19,93	0	1,42	5.13	-4.66	30.836
4	8.94	0,90	3,39	8.05	8,69	4,77	2,37	-6.11	0.11	0.0286
5	4.97	0,77	3,39	3.83	15,65	4,59	1,13	0.85	-0.07	0.0055
6	5.40	1.29	3,39	6.97	15,48	10,11	2,06	0.68	5.45	61.187
7	4.94	0.90	3,39	4.45	19,69	10,76	1,31	4.89	6.1	48.745
						TOPLAM	11.75			215.94

Y YÖNÜ										
DUVAR NO	UZUNLUK L (m)	Kalınlık t (m)	Yükseklik h (m)	Alan (m ²)	X (m)	Y (m)	K _y	X(m)	Y(m)	x ² k _y
1	3,48	0,90	3,39	3,13	4,67	2,64	0,92	-10,13	-2,02	94,41
2	3,30	0,40	3,39	1,32	13,07	2,55	0,39	-1,73	-2,11	1,167
3	3,37	1,06	3,39	3,57	17,24	2,59	1,05	2,44	-2,07	6,251
4	9,54	0,90	3,39	8,59	22,16	5,67	2,53	7,36	1,01	137,05
5	4,49	0,90	3,39	4,04	13,21	7,22	1,19	-1,59	2,56	3,008
6	4,15	0,90	3,39	3,74	17,67	7,12	1,10	2,87	2,46	9,061
TOPLAM							7,18			250,94

$$I_x = 215,94 - (-0,28)^2 \times 11,75 = 215,02 \text{ m}^3$$

$$I_y = 250,94 - (1,73)^2 \times 7,18 = 229,45 \text{ m}^3$$

$$J = I_x + I_y = 215,02 + 229,45 = 444,47 \text{ m}^3$$

Normal kat

$$x_{CG} = x_C - x_G = 11,39 - 10,19 = 1,20 \text{ m}$$

$$y_{CG} = y_C - y_G = 10,55 - 11,01 = -0,46 \text{ m}$$

X YÖNÜ										
DUVAR NO	UZUNLUK L (m)	Kalınlık t (m)	Yükseklik h (m)	Alan (m ²)	X (m)	Y (m)	K _x	Xi(m)	Yi(m)	Y ² k _x
1	5,02	0,74	6,2	3,71	2,51	1,05	0,6	-7,68	-9,96	59,52
2	13,75	0,77	6,2	10,59	11,02	0	1,71	0,83	-11,01	207,2
3	4,90	0,77	6,2	3,77	20,34	0	0,61	10,15	-11,01	73,94
4	4,90	0,61	6,2	2,99	2,45	15,27	0,48	-7,74	4,26	8,711
5	6,21	1,30	6,2	8,07	8,16	17,45	1,30	-2,03	6,44	53,91
6	2,79	1,06	6,2	2,96	11,54	20,2	0,48	1,35	9,19	40,53
7	4,43	0,61	6,2	2,70	15,32	21,07	0,44	-7,68	-9,96	59,52
8	4,20	0,77	6,2	3,23	15,32	16,29	0,52	0,83	-11,01	207,2
9	5,20	0,61	6,2	3,17	17,71	23,41	0,51	10,15	-11,01	73,94
TOPLAM							6,65			443,92

Y YÖNÜ										
DUVAR NO	UZUNLUK L (m)	Kalınlık t (m)	Yükseklik h (m)	Alan (m ²)	X (m)	Y (m)	K _y	Xi(m)	Yi(m)	x ² k _y
1	12,56	0,61	6,2	7,66	0	7,55	1,24	-10,19	-3,46	128,7
2	2,61	0,9	6,2	2,35	10,61	18,7	0,38	0,42	7,69	0,067
3	2,61	0,9	6,2	2,35	12,74	18,7	0,38	2,55	7,69	2,471
4	15,92	0,74	6,2	11,7	17,66	8,73	1,9	7,47	-2,28	106
5	3,79	0,52	6,2	1,97	17,66	19,36	0,32	7,47	8,35	17,86
TOPLAM							4,22			256,04

$$I_x = 443,92 - (-0,46)^2 \times 6,65 = 442,51 \text{ m}^3$$

$$I_y = 256,04 - (1,20)^2 \times 4,7 = 249,27 \text{ m}^3$$

$$J = I_x + I_y = 442,51 + 249,27 = 691,78 \text{ m}^3$$

➤ **Kat burulma momenti**

Taban kesme kuvvetinin etkidiği doğrultu dikkate alınarak;

$$M = V_{bx} \times Y_{CG} \quad \text{ve} \quad M = - V_{by} \times X_{CG}$$

V_{bx} ve V_{by} ; Birbirine dik iki doğrultuda geometrik merkezden uygulanan taban kesme kuvvetleri

M = Burulma momenti

Bodrum Kat

$$M_1 = 343,56 \times (-0,28) = -96,19 \text{ tm}$$

$$M_2 = -343,56 \times (1,73) = -594,36 \text{ tm}$$

Normal Kat

$$M_1 = 343,56 \times (-0,46) = -158,04 \text{ tm}$$

$$M_2 = -343,56 \times (1,20) = -412,27 \text{ tm}$$

➤ **Duvarlara etki eden kesme kuvvetleri;**

$$V_{x,i} = (k_{x,i} / Sk_{x,i}) * V_{b,x} - (M_x / J) * k_{x,i} * (y_i - y_{CG})$$

$$V_{y,i} = (k_{y,i} / Sk_{y,i}) * V_{b,y} - (M_y / J) * k_{y,i} * (x_i - x_{CG})$$

➤ **Kesme gerilmeleri**

$$\tau_i = V_i / A_i$$

Bodrum Kat

X Yönü			X Yönü		
Duvar No	V _{x,i}	$\bar{\tau}_i$ (Mpa)	Duvar No	V _{x,i}	$\bar{\tau}_i$ (Mpa)
1	65.06987728	0.083530009 ✓	1	-65.06987728	-0.083530009 ✓
2	32.81785115	0.083294038 ✓	2	-32.81785115	-0.083294038 ✓
3	40.17357641	0.083347669 ✓	3	-40.17357641	-0.083347669 ✓
4	69.49681542	0.086331448 ✓	4	-69.49681542	-0.086331448 ✓
5	33.09159359	0.086401028 ✓	5	-33.09159359	-0.086401028 ✓
6	62.78716685	0.090082018 ✓	6	-62.78716685	-0.090082018 ✓
7	40.11203886	0.090139413 ✓	7	-40.11203886	-0.090139413 ✓

Y Yönü			Y Yönü		
Duvar No	V _{y,i}	$\bar{\tau}_i$ (Mpa)	Duvar No	V _{y,i}	$\bar{\tau}_i$ (Mpa)
1	29.4307977	0.094028108 ✓	1	-29.4307977	-0.094028108 ✓
2	16.85687469	0.127703596 ✓	2	-16.85687469	-0.127703596 ✓
3	51.23896856	0.143526523 ✓	3	-51.23896856	-0.143526523 ✓
4	140.1068576	0.163104607 ✓	4	-140.1068576	-0.163104607 ✓
5	51.65786222	0.127865996 ✓	5	-51.65786222	-0.127865996 ✓
6	54.31143071	0.145217729 ✓	6	-54.31143071	-0.145217729 ✓

Bodrum kat duvarlarında oluşan kayma gerilmeler, hem x hem de yönünde, bodrum katına ait kayma emniyet gerilmesini ($\tau_{em,d} = 0,170$ MPa) aşmadığı için tüm duvarlar kayma açısından güvenlidir.

Normal Kat

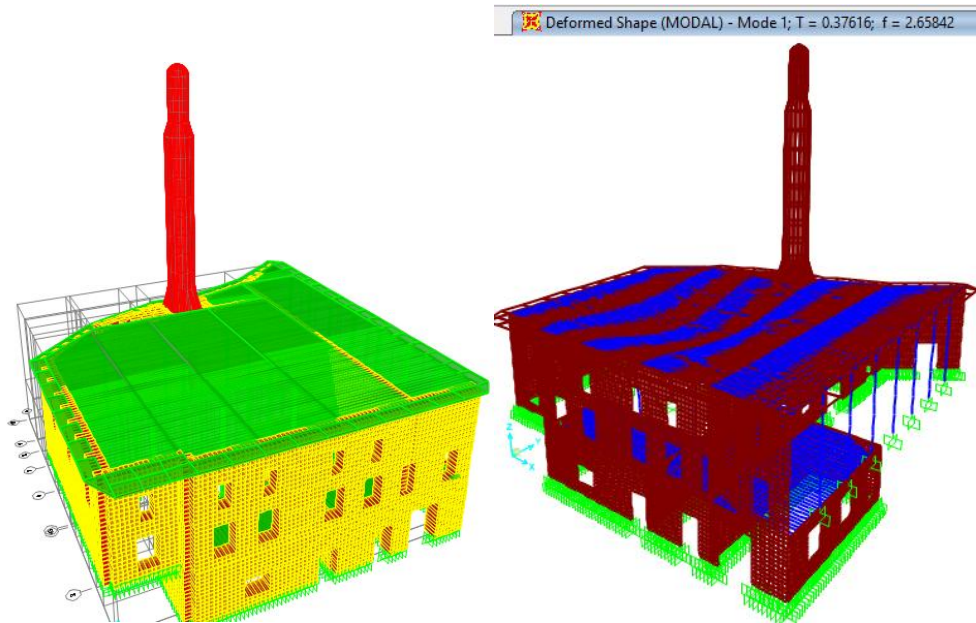
X Yönü			X Yönü		
Duvar No	V _{x,i}	$\bar{\tau}_i$ (Mpa)	Duvar No	V _{x,i}	$\bar{\tau}_i$ (Mpa)
1	29.69833618	0.080049424 ✓	1	-29.69833618	-0.080049424 ✓
2	84.23089717	0.079538147 ✓	2	-84.23089717	-0.079538147 ✓
3	30.04727911	0.079701006 ✓	3	-30.04727911	-0.079701006 ✓
4	25.31485612	0.084665071 ✓	4	-25.31485612	-0.084665071 ✓
5	69.20720004	0.085758612 ✓	5	-69.20720004	-0.085758612 ✓
6	25.85437811	0.087345872 ✓	6	-25.85437811	-0.087345872 ✓
7	21.77877987	0.080662148 ✓	7	-21.77877987	-0.080662148 ✓
8	25.61407399	0.079300539 ✓	8	-25.61407399	-0.079300539 ✓
9	25.12149565	0.07924762 ✓	9	-25.12149565	-0.07924762 ✓

Y Yönü			Y Yönü		
Duvar No	V _{y,i}	τ _i (Mpa)	Duvar No	V _{y,i}	τ _i (Mpa)
1	92.53424448	0.120801886 ✓	1	-92.53424448	-0.120801886 ✓
2	30.7600413	0.130893793 ✓	2	-30.7600413	-0.130893793 ✓
3	31.24240756	0.132946415 ✓	3	-31.24240756	-0.132946415 ✓
4	161.7830285	0.138276093 ✓	4	-161.7830285	-0.138276093 ✓
5	27.24766797	0.138313035 ✓	5	-27.24766797	-0.138313035 ✓

Normal kat duvarlarında oluşan kayma gerilmeler, hem x hem de y yönünde, normal katına ait kayma emniyet gerilmesini ($\tau_{em,d} = 0,171$ MPa) aşmadığı için tüm duvarlar kayma açısından güvenlidir. Dolayısıyla bu tarihi yapı kesme yönünden güvenlidir.

6.3. Yapının Sap 2000 İle TDY-2007' e Göre Statik Analizi

Tarihi Ak camii SAP2000 programı ile V19.2 sürümünde yapının mevcut durumu sonlu elemanlar yöntemiyle modellenmiştir. Modelleme oluşturulurken 19246 nokta, 18088 kabuk (Shell) elemanı, 1136 kesit (Frame) olarak boyutlandırılmıştır. Minare ve duvarlar kabuk elemanı olarak, ahşap döşemesi kesit olarak modellenmiştir. Tarihi ak caminin üç boyutlu modeli şekil 6.12'de gösterilmiştir.



Şekil 6.12. Ak Camii model, periyod ve frekansı

6.3.1. Malzemenin tanımlanması

Duvar malzemesinin tanımlanmasında, TDY-2007'e göre duvar yapımında kullanılan kagir ünitelerin Elastisite Modülü, malzemenin basınç dayanımının 200 katı ($E_d = 200 f_d$) olarak alınmıştır. Buna göre taş duvarın elastisite modüllü aşağıdaki gibi bulunacaktır.

$$F_d = 0,5 \times F_{em} \text{ (5.3.2.)}$$

$$f_{em} = 0,25 \times f_d = 0,3 = 0,25 \times f_d$$

$$f_d = 1,2 \text{ MPa (Duvar basınç dayanımı)}$$

$$E_{duvar} = 200 \times 1,2 = 240 \text{ Mpa (Duvar elastisite modülü)}$$

$$G_{duvar} = E / 2 \times (1 + \gamma) = 240 / 2 \times (1+0,25) = 96 \text{ Mpa (Duvar kayma modülü)}$$

$$\gamma = 0,25 \text{ (Poisson oranı)}$$

$$\alpha = 9. 10^{-6} \text{ cm/cm}^\circ \text{ (Isı genleşme katsayısı).}$$

Ahşap malzemesi için girilen değerler ise;

$$E_{ahşap} = 12,5 \text{ Mpa}$$

$$G_{ahşap} = 1 \text{ Mpa}$$

$$\gamma = 0$$

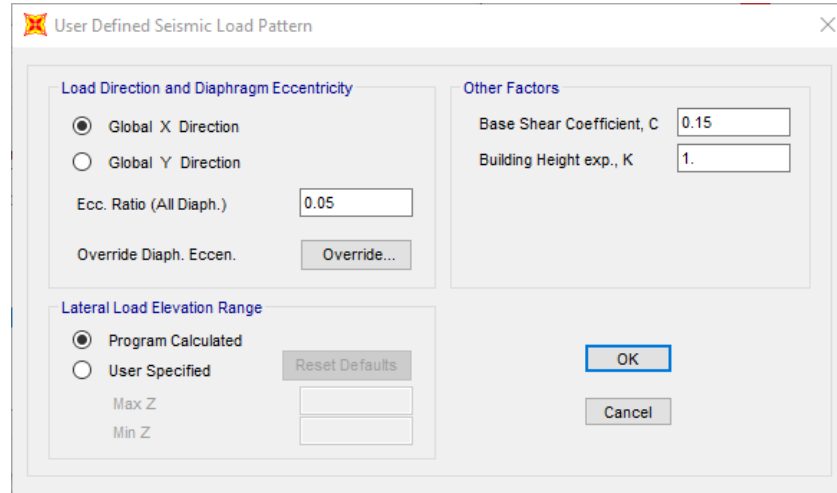
$$\alpha = 4. 10^{-6} \text{ cm/cm}^\circ$$

6.3.2. Deprem kuvvetlerinin hesabı

Yapıya etkiyen deprem yüklerinin hesabında aşağıdaki parametreler kullanılmıştır.

- $A_0 = 0.1$ (4. Bölge)
- Zemin Sınıfı: belirlenmemiştir (TDY-2007 gereğince $S(T) = 2.5$ alınmıştır)
- $I = 1.2$ (Bina önem katsayısı)
- $R = 2$ (Taşıyıcı sistem davranış katsayısı)
- $n = 0.3$ (Hareketli yük katılım katsayısı)

Deprem analiz yöntemi olarak Eşdeğer Deprem Yüğü seçilmiştir. Bu yöntem, SAP 2000 programında kullanıcı katsayısı (user coefficient) olarak geçmektedir.



Şekil 6.13. Eşdeğer deprem yükü

Şekil 6.13'te görüldüğü gibi yükleme, X ve Y yönü için ayrı olarak %5 dış merkezlik kullanılarak tanımlanmıştır.

$$C = A_0 \times I \times S(T) / R = 0,150$$

Dikkate alınan deprem doğrultusunda, yapının deprem kuvvetlerinin hesaplanması için kullanılacak olan sismik kütle (w_i) TDY-2007'de;

$$w_i = g_i + nq_i$$

olarak verilmiştir. Hareketli yük katılım katsayısı Tablo 2.7'de verilmiştir. Bu yapı, camii binası olduğu için $n = 0,3$ alınmıştır. Buna göre yapıya etki edecek olan sismik kütle yönetmeliğe göre $G + 0,3 Q$ şeklinde tanımlanmıştır (Uğuz, 2016).

Tablo 2.7. Hareketli yük katılım katsayısı

<i>Binanın Kullanım Amacı</i>	<i>n</i>
Depo, antrepo, vb.	0.80
Okul, öğrenci yurdu, spor tesisi, sinema, tiyatro, konser salonu, garaj, lokanta, mağaza, vb.	0.60
Konut, işyeri, otel, hastane, vb.	0.30

6.3.3. Binaya etkiyen yükler

- **Zati yükler**

$$\gamma = 2,4 \text{ t/m}^3 \text{ (Moloz taş)}$$

$$\gamma = 2,6 \text{ t/m}^3 \text{ (Kesme taş)}$$

$$\gamma = 0,99 \text{ t/m}^3 \text{ (Ahşap)}$$

- **Hareketli Yük**

$$Q = 200 \text{ kg/m}^2$$

- **Kar Yüğü**

$$\alpha = 10^\circ \text{ (Çatı eğimi)}$$

$$m = 1 \text{ (Azaltma değeri)}$$

Kar bölgesi: II (Sille- Konya)

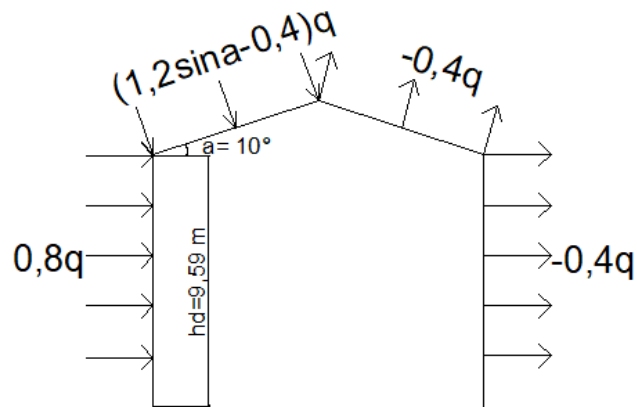
$$P_k = m \times P_o,$$

$$P_o = 1,05 + 0,105 = 1,155 \text{ KN/m}^2 \text{ (TS-498)}$$

$$P_k = 1 \times 1,155 = 1,155 \text{ KN/m}^2$$

- **Rüzgar Yüğü**

Bina yüksekliğine bağılı olarak değışen kar yüğü, duvarlara ve çatıya şekil 6.14' deki gibi etki edecektir. $H_d = 9,59 \text{ m}$ için TS-498 yönetmeliğinden $q = 0,8 \text{ KN/m}^2$ seçilecektir. Dolayısıyla, Y yönünde $+w$ (basınç) kar yüğü değeri $-0,64 \text{ KN/m}^2$ ve $-w$ (emme) kar yüğü değeri için $+0,32 \text{ KN/m}^2$ alınacaktır.



Şekil 6.14. Duvarlara ve çatıya etkiyen rüzgar yüğü

Minare için rüzgar yüğü $q = 1,1 \text{ KN/m}^2$ alınacaktır.

6.3.4. Yük kombinasyonları

G+Q

G+Q+EX+0,3EY

G+Q+EX-0,3EY

G+Q+0,3EX+EY

G+Q-0,3EX+EY

G+Q+WX

G+Q+WY

S

G

MAX (Tüm kombinasyonlar dahildir).

6.3.5. Analiz sonuçları

6.3.5.1. Modal analiz sonuçlar

Modal analiz, Eigen-value analizi veya öz değer analizi olarak bilinen, yapının serbest titreşim periyotları ve mod Őekillerini belirlemek için kullanılan bir araçtır. Yapı sisteminin kütle ve rijitlik matrisleri kullanılarak serbest titreşim periyotları ve modları belirlenebilmektedir.

Sille Ak Camisinin modeli Sap 2000 programında 12 farklı mod için modal analizi gerçekleştirilmiştir.

Şekil 6.15. Modal analiz parametreleri

Yapının 12 farklı mod da çözümünden en yüksek periyot değeri 0,376163 ve frekans değeri 2,65842391 değeri elde edilmiştir.

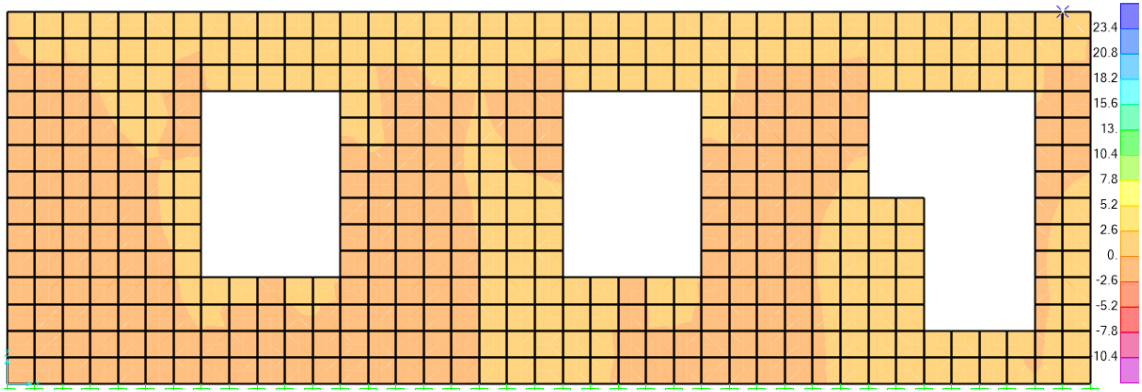
Tablo 6.7. Model durumundaki binanın periyod ve frekansları

TABLE: Modal Periods And Frequencies						
OutputCase	StepType	StepNum	Period	Frequency	CircFreq	Eigenvalue
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad2/sec2
MODAL	Mode	1	0.376163	2.65842391	16.70337006	279.00257138
MODAL	Mode	2	0.300144	3.33173882	20.93393244	438.22952745
MODAL	Mode	3	0.28763	3.47668399	21.84464978	477.18872425
MODAL	Mode	4	0.287629	3.47670335	21.84477145	477.19403984
MODAL	Mode	5	0.255925	3.90738918	24.55085034	602.74425264
MODAL	Mode	6	0.2531	3.95101151	24.82493752	616.27752326
MODAL	Mode	7	0.249942	4.00093007	25.13858508	631.94845988
MODAL	Mode	8	0.245177	4.07868556	25.62713723	656.75016271
MODAL	Mode	9	0.236496	4.22840152	26.56783035	705.84960990
MODAL	Mode	10	0.234621	4.26219665	26.78017138	717.17757918
MODAL	Mode	11	0.186352	5.36618844	33.71675638	1136.81966105
MODAL	Mode	12	0.172111	5.81021861	36.50668023	1332.73770181

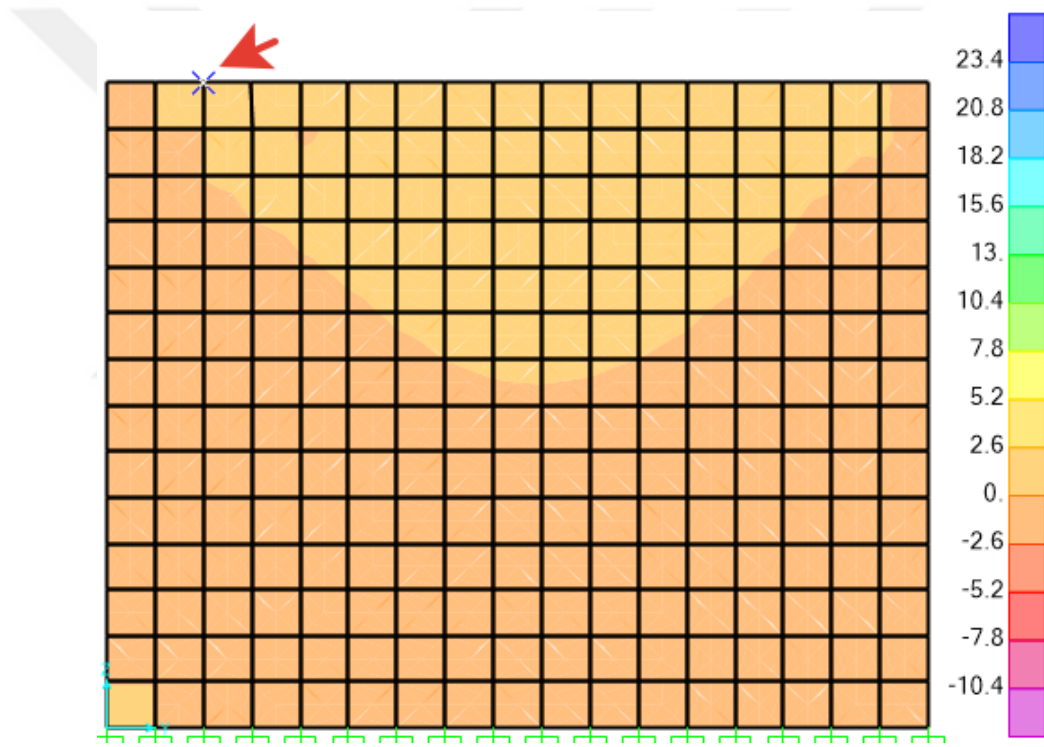
6.3.5.2. Eksenel gerilme sonuçları

Eksenel gerilmeler, yapıya etkiyen düşey (sabit ile hareketli) yükler, kar yükü ve deprem sırasında meydana gelen çekme ve basınç yüklerinin birleşiminin sonucu olarak oluşmaktadır. Eksenel gerilme SAP 2000 programında adlandırılan “S22” gerilmeleri olarak tanımlanmaktadır.

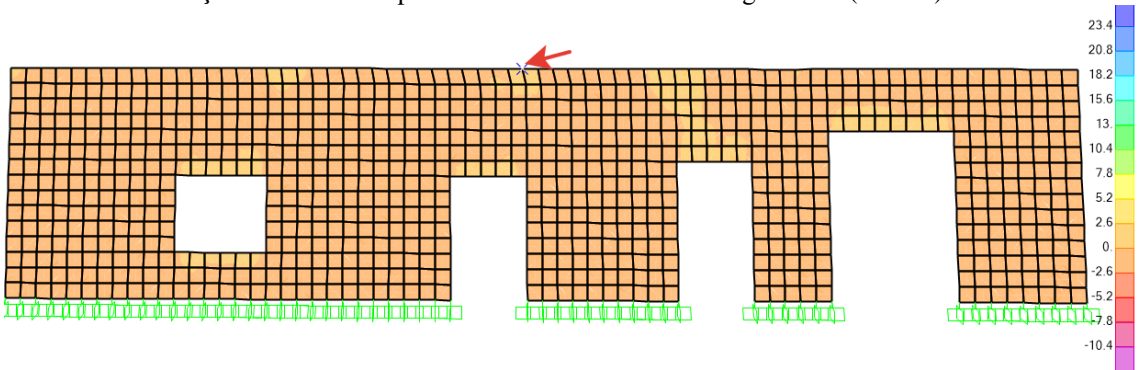
Bodrum Kat



Şekil 6.16. Doğu cephesindeki duvarın S22 aksenal gerilmesi (N/mm²)

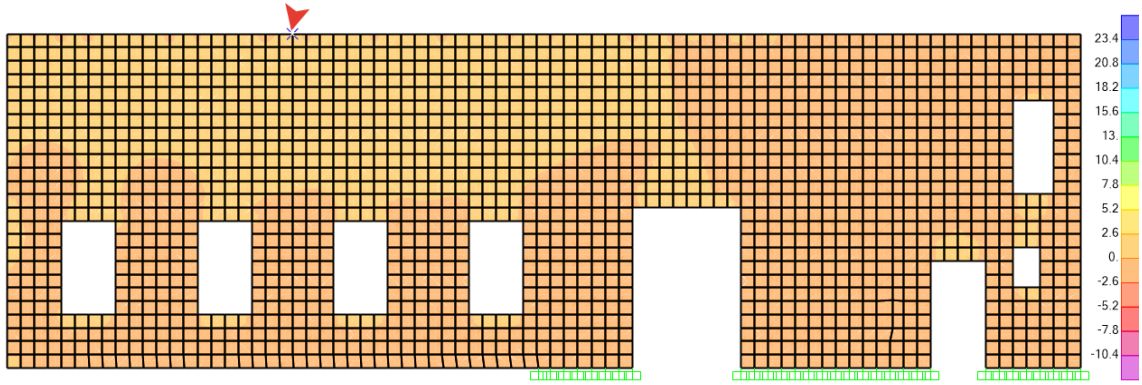


Şekil 6.17. Batı cephesindeki duvarın S22 aksenal gerilmesi (N/mm²)

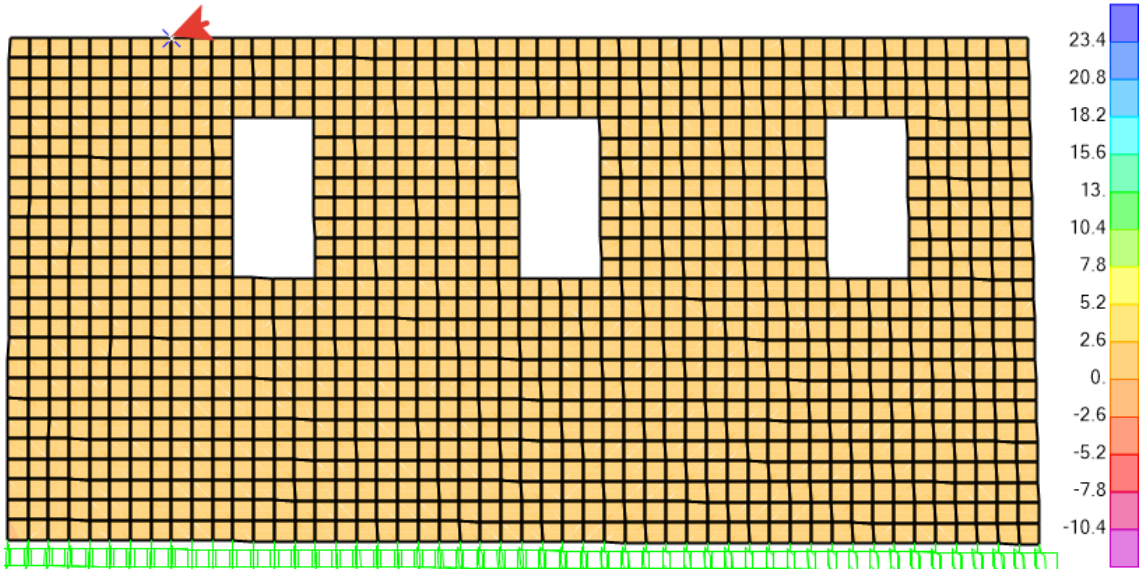


Şekil 6.18. Güney cephesindeki duvarın S22 aksenal gerilmesi (N/mm²)

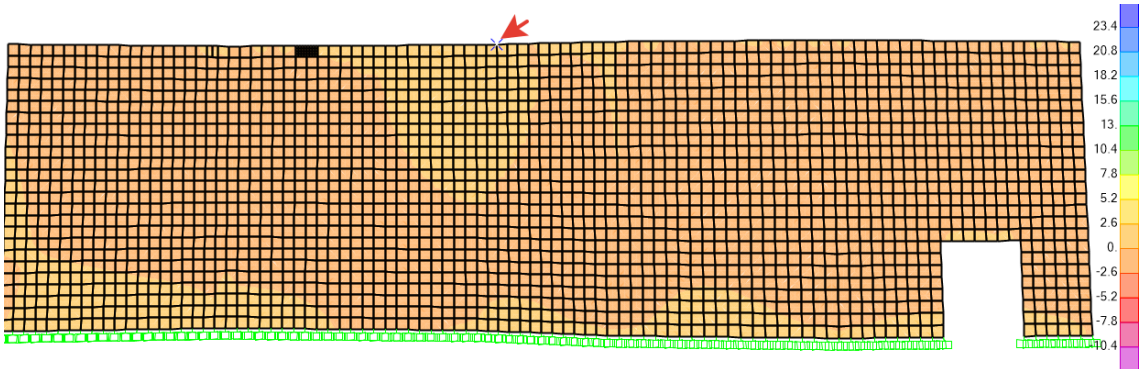
Normal Kat



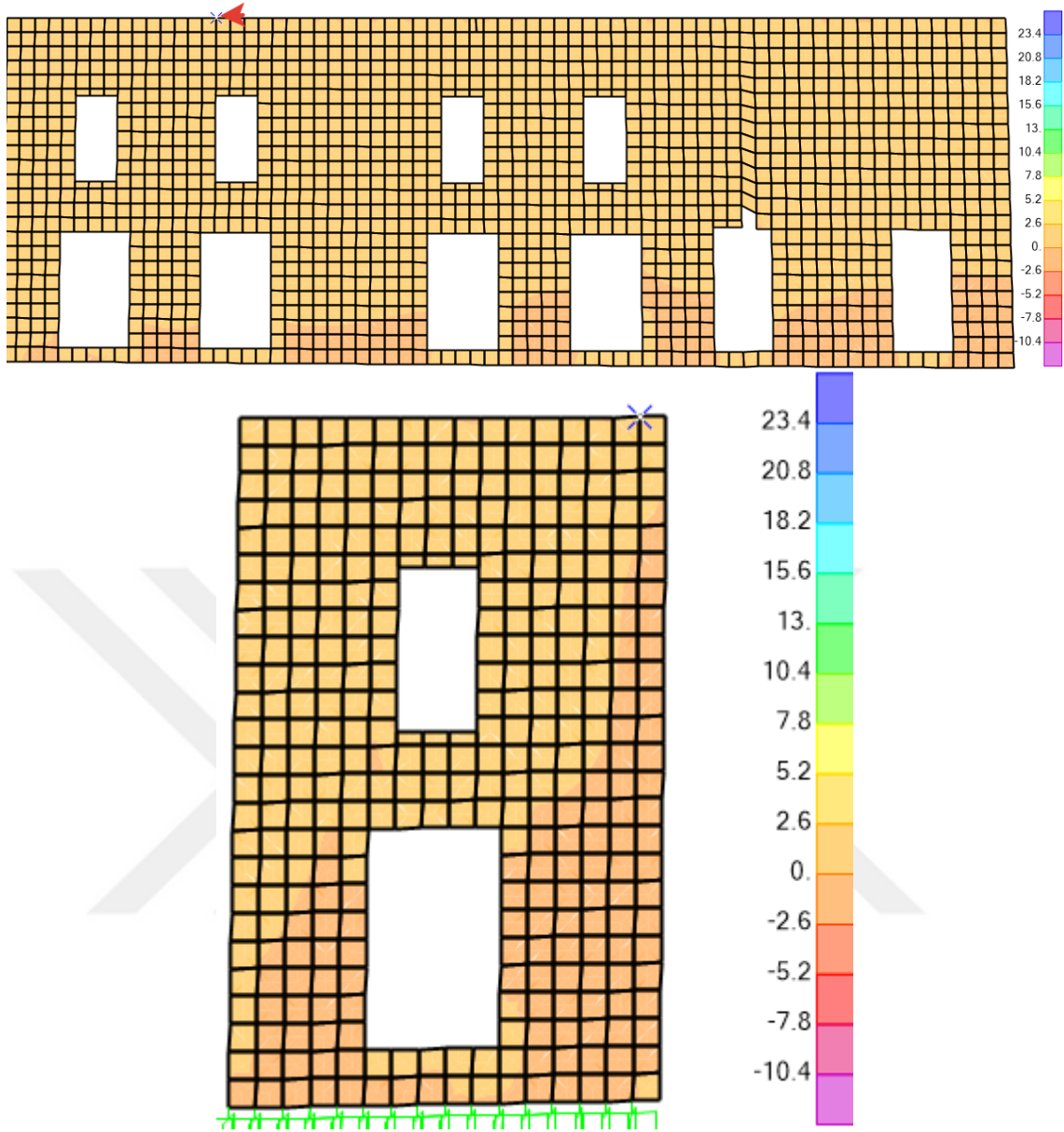
Şekil 6.19. Doğü cephesindeki duvarın S22 aksel gerilmesi (N/mm²)



Şekil 6.20. Batı cephesindeki duvarın S22 aksel gerilmesi (N/mm²)



Şekil 6.21. Kuzey cephesindeki duvarın S22 aksel gerilmesi (N/mm²)



Şekil 6.22. Güney cephesindeki duvarların S22 eksenel gerilmesi (N/mm^2)

Duvarlardaki basınç gerilmeleri, yığma duvar tipine göre izin verilen gerilmelerle karşılaştırılmalıdır. Bu hesapta, duvarlar ve döşemeden gelen yükler dikkate alınmaktadır. Bu gerilmeler, duvar cinsine göre yönetmelikte izin verilen basınç emniyet gerilmesinden daha büyük olmayacaktır (DBYBHY, 2007).

Yönetmelikte izin verilen duvar basınç dayanımları, duvarda kullanılan harç sınıfına ve duvar malzemesinin ortalama serbest basınç dayanımına bağlı olarak basınç emniyet gerilmesi tablosundan alınmaktadır. Duvar kâgir birimin basınç dayanımı belli değilse yada üzerinde deney yapılmamışsa, duvarda kullanılan kâgir birim basınç

emniyet gerilmesi yönetmelikte yığma yapılar için tasarım kuralları bölümünde verilen Tablo 5.3.'den alınacaktır (DBYBHY, 2007).

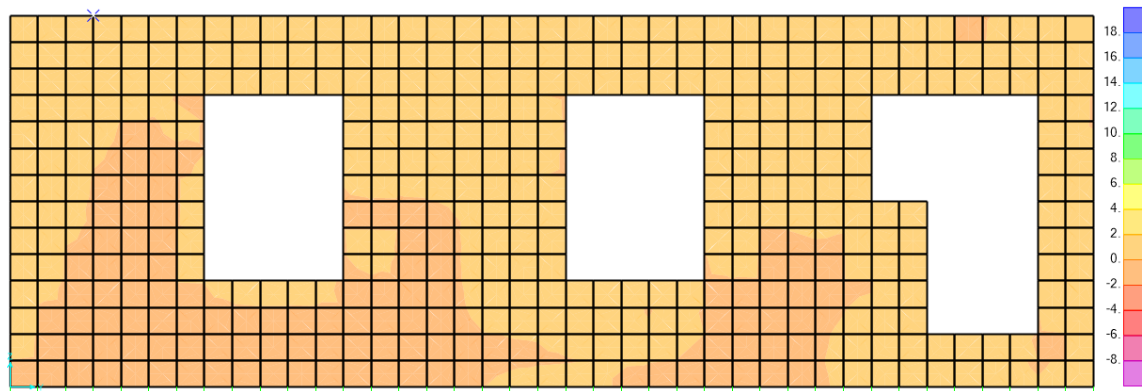
Sille Ak Camii duvar malzemesi olarak taş duvar kullanılmıştır. Çalışmada duvar birimleri üzerinde deney yapılmadığı için malzemenin basınç dayanımı belirlenememiştir. Bu nedenle, yönetmelikte taş duvar için verilen basınç emniyet gerilmesi (0,3 Mpa) değeri kullanılmıştır.

Bodrum katın; doğu duvarında oluşan maksimum aksenal gerilmesi 0,038 MPa, batı duvarında oluşan maksimum gerilmesi 0,146 MPa ve güney duvarında oluşan maksimum gerilmesi 0,097 MPa olduğundan yönetmelikte verilen değer, taş duvarlar için 0,3 MPa'ı aşmadığı için bu duvarlar basınç yönünden güvenlidir. Normal katın duvarlarında oluşan maksimum aksenal gerilmeler; doğu duvarın 0,37 MPa, batı duvarın 0,464 MPa, kuzey duvarın 2,16 MPa ve güney duvarın 1,99 MPa olduğu için duvar basınç emniyet gerilmesi değerini (0,3 MPa) aşarak basınç yönünden güvenli değildir. Duvarlarda meydana gelen bu gerilmeler, genelde kapı ve pencere boşluğunun üst kısmı, duvarların birleşim yeri ve duvarların döşeme ile birleştiği bölgelerdedir.

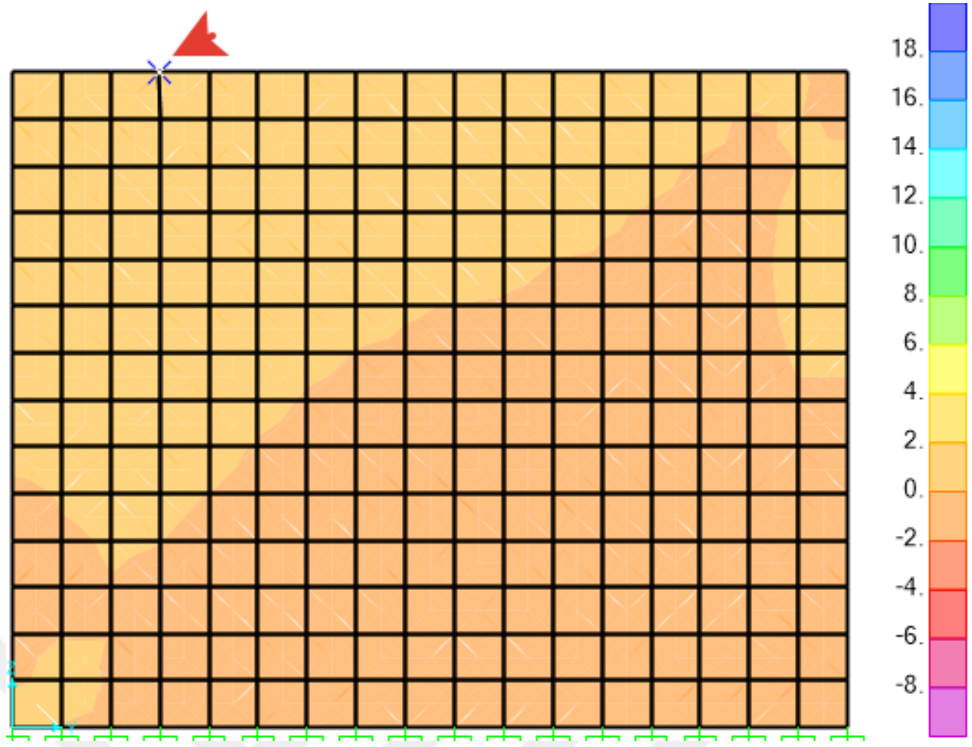
6.3.5.3. Kayma gerilmesi sonuçları

Yapıya etkileyen kayma gerilmeleri deprem etkisiyle oluşan yatay yükler nedeniyle meydana gelmektedir. Kayma gerilmeleri SAP 2000 programında adlandırılan "S11" gerilmeleri olarak tanımlanmaktadır.

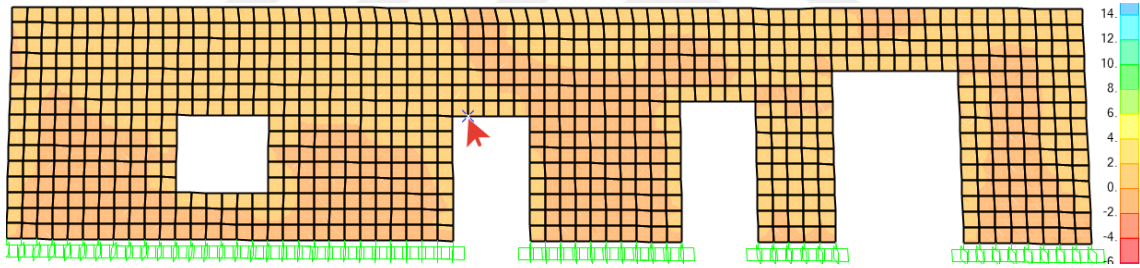
Bodrum Kat



Şekil 6.23. Doğu cephesindeki duvarın S11 kayma gerilmesi (N/mm²)

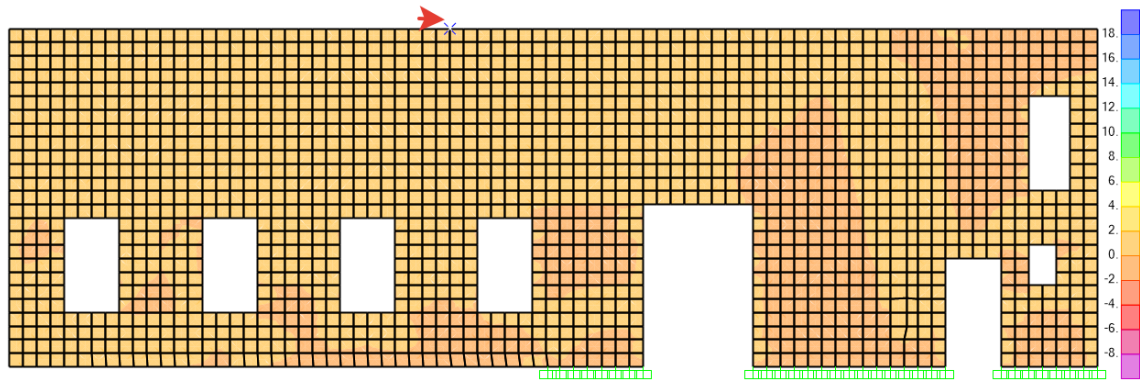


Şekil 6.24. Batı cephesindeki duvarın S11 kayma gerilmesi (N/mm²)

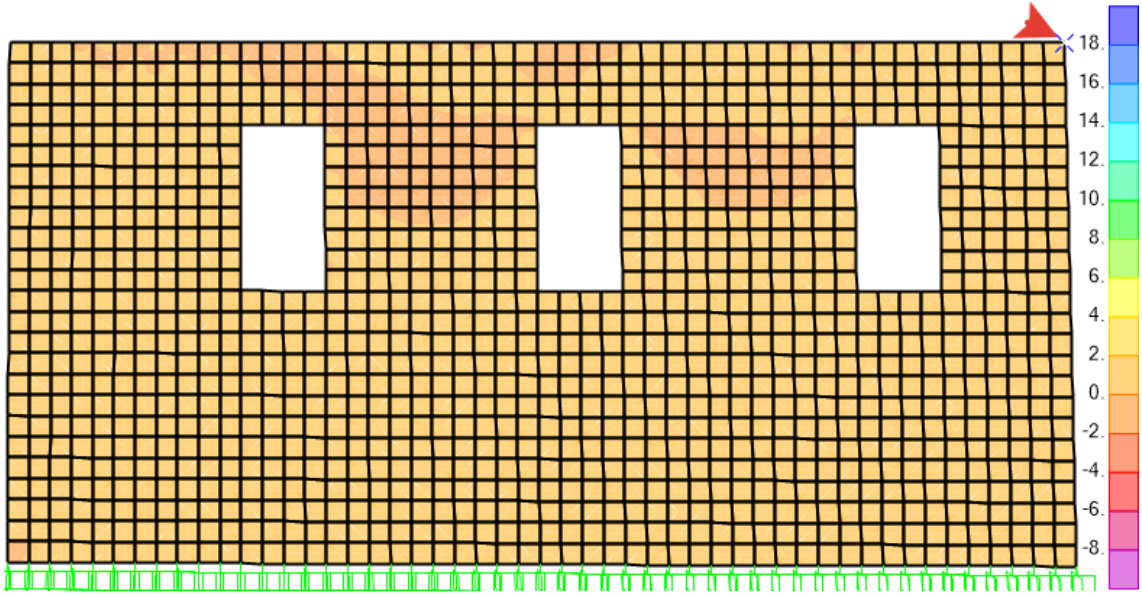


Şekil 6.25. Güney cephesindeki duvarın S11 kayma gerilmesi (N/mm²)

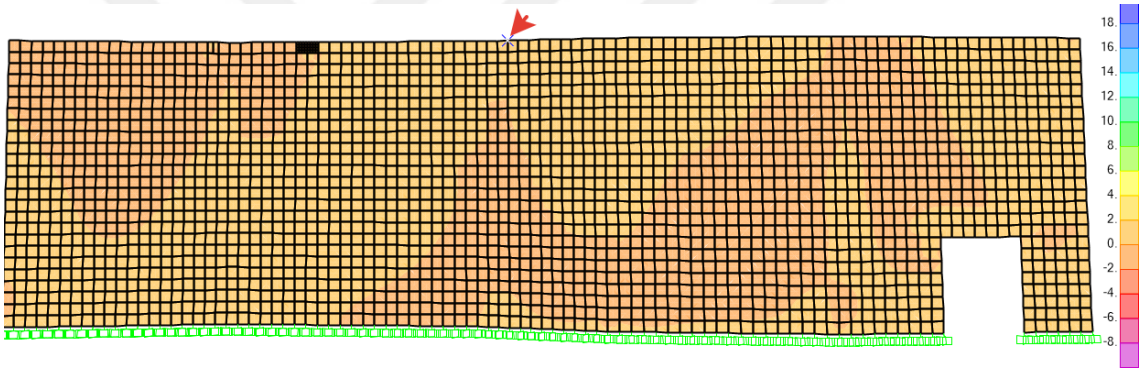
Normal Kat



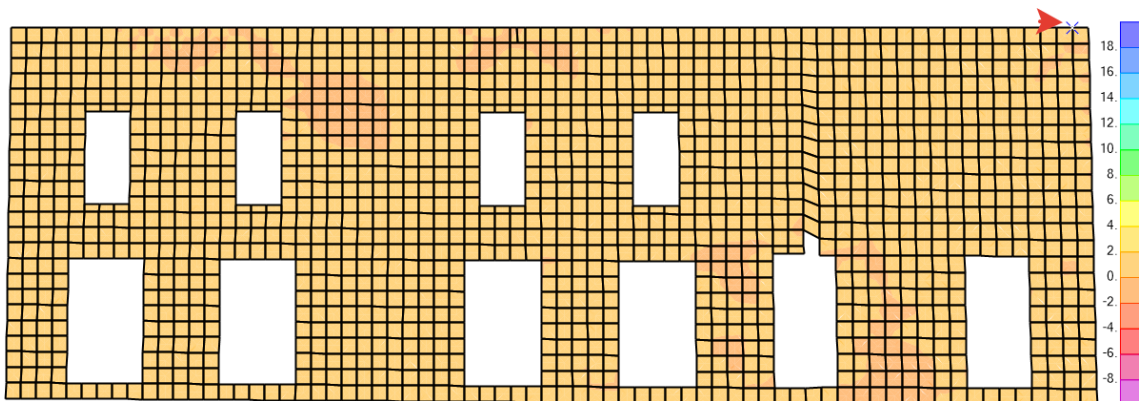
Şekil 6.26. Doğu cephesindeki duvarın S11 kayma gerilmesi (N/mm²)



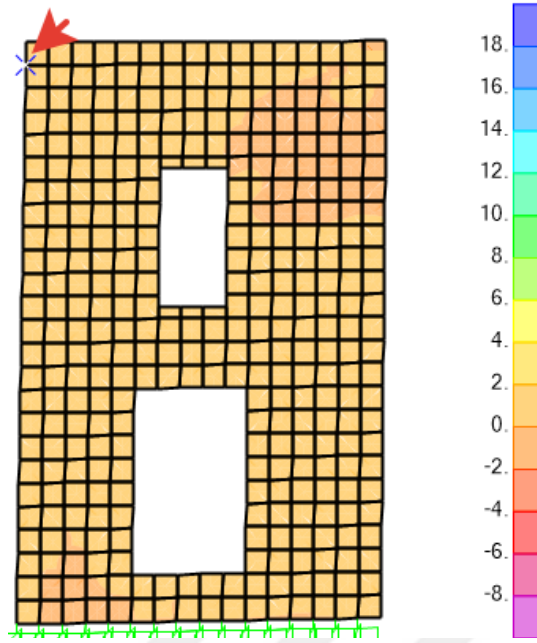
Şekil 6.27. Batı cephesindeki duvarın S11 kayma gerilmesi (N/mm²)



Şekil 6.28. Kuzey cephesindeki duvarın S11 kayma gerilmesi (N/mm²)



Şekil 6.29. Güney cephesindeki duvarların S11 kayma gerilmeleri (N/mm²)

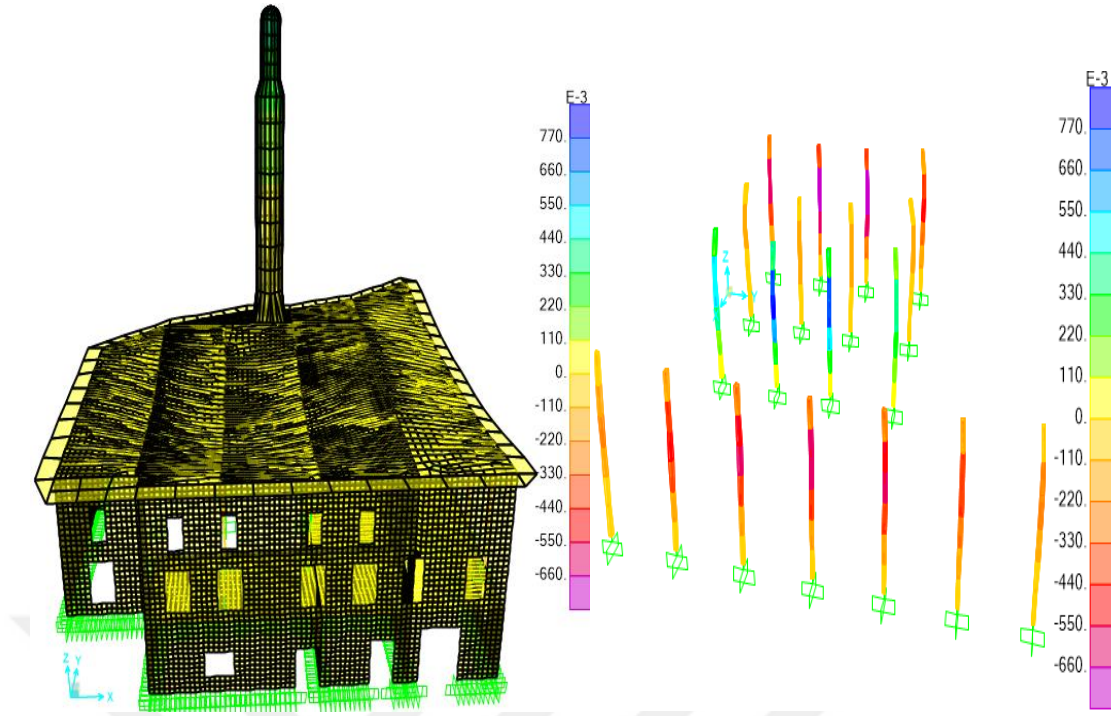


Şekil 6.30. Güney cephesindeki duvarın S11 kayma gerilmeleri (N/mm²)

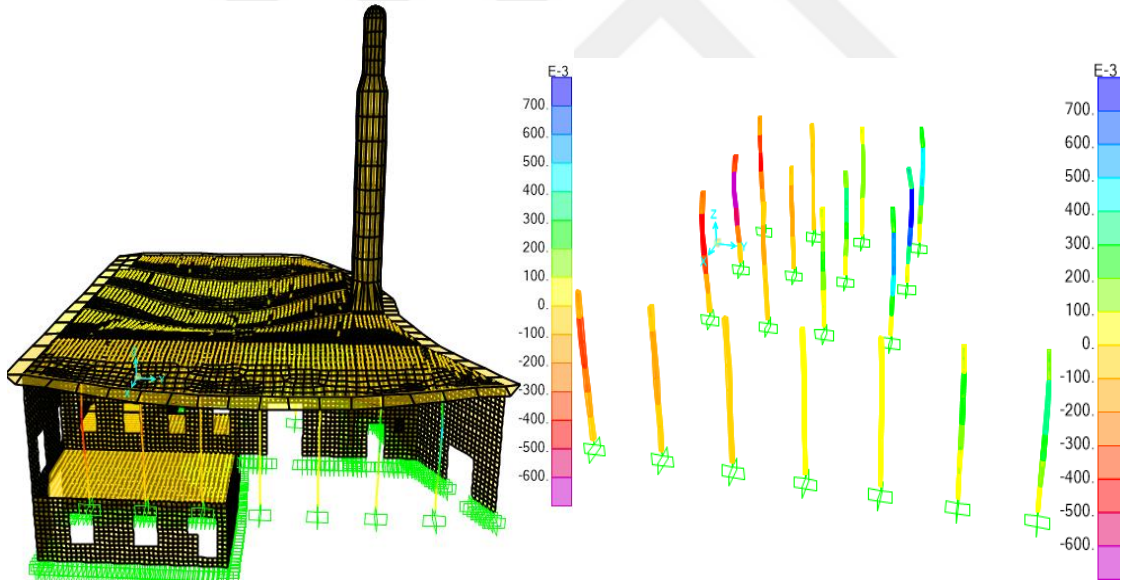
Bodrum kat duvarlarında oluşan maksimum kayma gerilmeler; doğu duvarın 0,221 MPa ve güney duvarın 0,203 MPa olduğu için TDY-2007’de belirtilen formüle hesaplanan maksimum kayma gerilmesi bodrum kat için 0,170 MPa değerini aştığı için kayma yönünden bu iki duvar güvensizdir. Batı duvar ise, kayma gerilmesi 0,117 MPa olduğu için kayma yönünden güvenlidir. Normal kat duvarlarında oluşan maksimum kayma gerilmeler; doğu duvarın 0,229 MPa, batı duvarın 0,654 MPa, kuzey duvarın 1,45 MPa ve güney duvarın 0,46 MPa olduğu için TDY-2007’de belirtilen formüle hesaplanan maksimum kayma gerilmesi normal kat için 0,171 MPa değerini aştığı için kayma yönünden güvensizdir. Duvarlarda meydana gelen bu gerilmeler, genelde pencere boşluğunun üst kısmı, duvarların birleşim yeri ve duvarların döşeme ile birleştiği yerlerdedir.

6.3.5.4. Yer değiştirme sonuçları

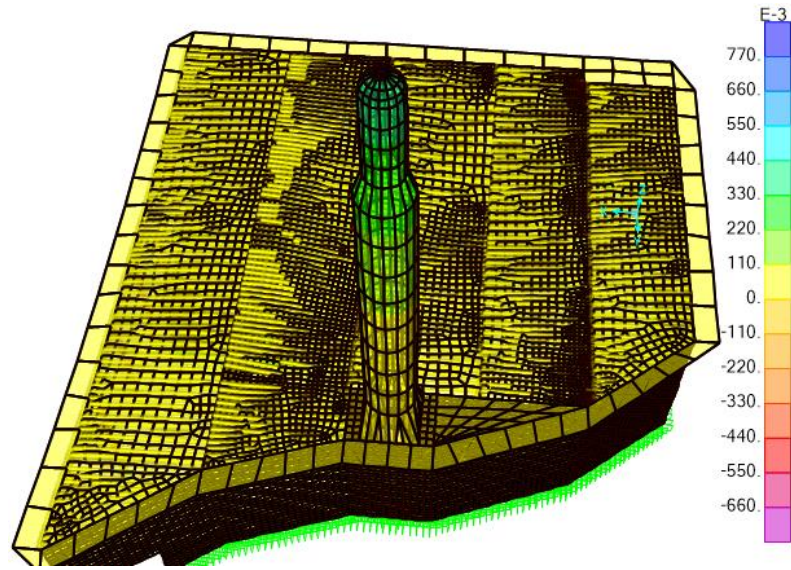
Modal analizde yapının x ve y doğrultusundaki yer değiştirmeleri; aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir. Gösterilen değerler (cm x 10⁻³) cinsindedir.



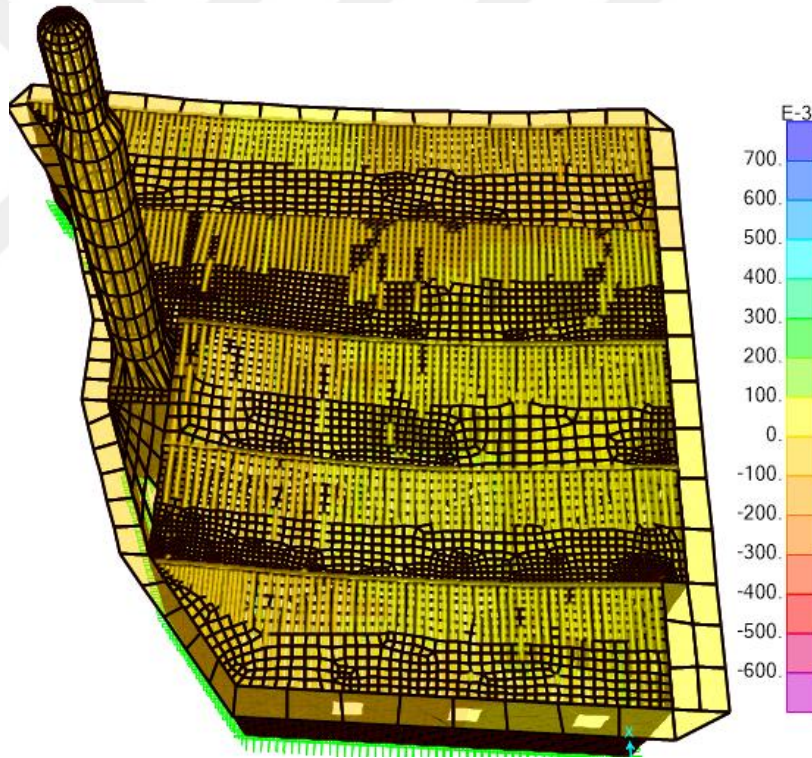
Şekil 6.31. Yapı geneli ve orta direklerin X yönündeki max yerdeğıştirmeler



Şekil 6.32. Yapı geneli ve orta direklerin Y yönündeki max yerdeğıştirmeler



Şekil 6.33. Döşeme ve minarenin x yönündeki max yer değiştirmeler

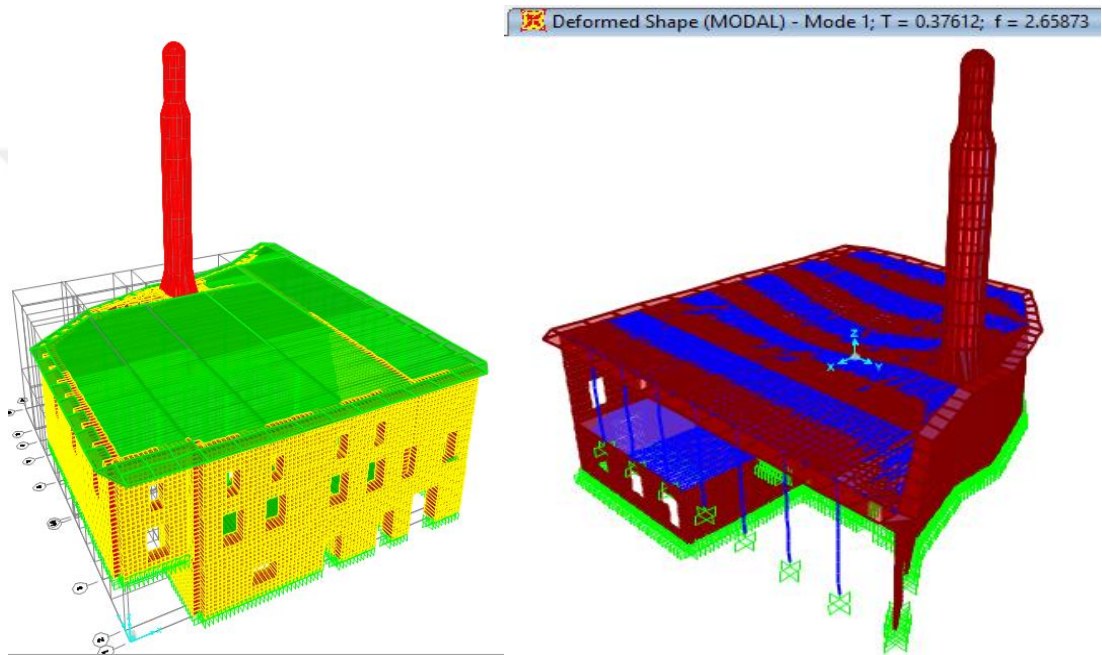


Şekil 6.34. Döşeme ve minarenin y yönündeki max yer değiştirmeler

Yapıda oluşan maksimum yerdeğiştirmeler, x ve y yönünde 4002×10^{-3} cm minarenin en üst bölgesinde meydana gelmektedir. Duvarlarda maksimum yerdeğiştirme ise, x ve y yönünde $5,7 \times 10^{-3}$ cm batı duvarında meydana gelmektedir.

6.4. Yapının Sap 2000 İle TBDY-2018' e Göre Statik Analizi

Tarihi Ak camii SAP2000 programı ile V20.2.0 sürümünde yapının mevcut durumu sonlu elemanlar yöntemiyle modellenmiştir. Modelleme oluşturulurken 19246 nokta, 18088 kabuk (Shell) elemanı, 1136 kesit (Frame) olarak boyutlandırılmıştır. Minare ve duvarlar kabuk elemanı olarak, ahşap döşemesi kesit olarak modellenmiştir. Tarihi ak caminin üç boyutlu modeli şekil 6.35’de gösterilmiştir.



Şekil 6.35. Yapının modeli ve frekansı

6.4.1. Malzemenin tanımlanması

Taşıyıcı duvarların elastisite modülü (E_{duvar}), kagir birim üzerinde deneylerin yapılmadığı durumlarda duvar karakteristik basınç dayanımının (f_k) 750 katına eşit alınacaktır. Duvar kayma modülü (G_{duvar}) ise, elastisite modülünün %40'ı olarak alınacaktır (TBDY-2018). Buna göre taş duvarın elastisite modüllü aşağıdaki gibi alınacaktır.

$$F_k = 1,2 \text{ MPa (Duvar karakteristik basınç dayanımı)}$$

$$E_{duvar} = 750 \times 1,2 = 900 \text{ Mpa (Duvar elastisite modülü)}$$

$$G_{duvar} = 900 \times 0,4 = 360 \text{ Mpa (Duvar kayma modülü)}$$

$$\gamma = 0,25 \text{ (Poisson oranı)}$$

$\alpha = 9 \cdot 10^{-6} \text{ cm/cm}^\circ$ (Isı genleşme katsayısı).

Ahşap malzemesi için kullanılan değerler ise;

$E_{\text{ahşap}} = 12,5 \text{ Mpa}$

$G_{\text{ahşap}} = 1 \text{ Mpa}$

$\gamma = 0$

$\alpha = 4 \cdot 10^{-6} \text{ cm/cm}^\circ$

6.4.2. Deprem hesabı için parametrelerin girilmesi

Response Spectrum TSC-2018 Function Definition

Function Name: Sille Ak Camii Yatay spec. Function Damping Ratio: 0,05

Parameters

0.2 Sec Spectral Accel, Ss: 0,32
 1 Sec Spectral Accel, S1: 0,076
 Long-Period Transition Period: 6,
 Site Class: ZC
 Site Coefficient, Fs: 1,3
 Site Coefficient, F1: 1,5
 Design Spectrum Direction: Horizontal

Define Function

Period	Acceleration
0,	0,1664
0,0548	0,416
0,274	0,416
0,4	0,285
0,6	0,19
0,8	0,1425
1,	0,114
1,2	0,095

Function Graph

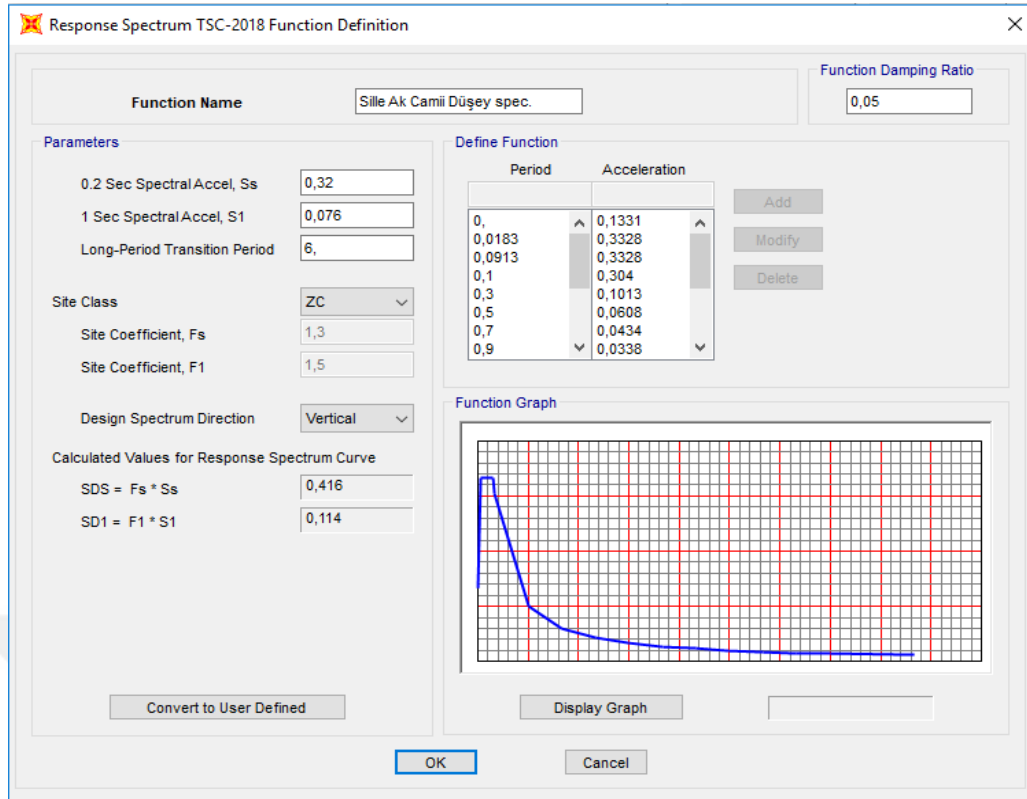
Calculated Values for Response Spectrum Curve

SDS = Fs * Ss: 0,416
 SD1 = F1 * S1: 0,114

Convert to User Defined Display Graph

OK Cancel

Şekil 6.36. Yapının yatay spektrumu



Şekil 6.37. Yapının düşey spektrumu

TSC-2018 Seismic Load Pattern

Load Direction and Diaphragm Eccentricity

Global X Direction
 Global Y Direction
 Ecc. Ratio (All Diaph.): 0,05
 Override Diaph. Eccen.: Override...

Time Period

Approx. Period Ct (m), x =
 Program Calc Ct (m), x = 0.10; 0.75
 User Defined T =

Lateral Load Elevation Range

Program Calculated
 User Specified
 Max Z
 Min Z
 Reset Defaults

Seismic Coefficients

0.2 Sec Spectral Accel, Ss: 0,32
 1 Sec Spectral Accel, S1: 0,076
 Long-Period Transition Period: 6

Site Class: ZC
 Site Coefficient, Fs: 1,3
 Site Coefficient, F1: 1,5

Calculated Coefficients
 SDS = $F_s * S_s$: 0,416
 SDS = $F_1 * S_1$: 0,114

Factors

Response Modification, R: 2
 System Overstrength, D: 2
 Occupancy Importance, I: 1,2

Buttons: OK, Cancel

Şekil 6.38. Yapının X yönündeki deprem yük düzeni

TSC-2018 Seismic Load Pattern

Load Direction and Diaphragm Eccentricity

Global X Direction

Global Y Direction

Ecc. Ratio (All Diaph.)

Override Diaph. Eccen.

Time Period

Approx. Period Ct (m), x =

Program Calc Ct (m), x = T =

User Defined

Lateral Load Elevation Range

Program Calculated

User Specified

Max Z

Min Z

Seismic Coefficients

0.2 Sec Spectral Accel, Ss

1 Sec Spectral Accel, S1

Long-Period Transition Period

Site Class

Site Coefficient, Fs

Site Coefficient, F1

Calculated Coefficients

SDS = Fs * Ss

SDS = F1 * S1

Factors

Response Modification, R

System Overstrength, D

Occupancy Importance, I

Şekil 6.39. Yapının Y yönündeki deprem yük düzeni

6.4.5. Analiz sonuçları

6.4.5.1. Modal analiz sonuçları

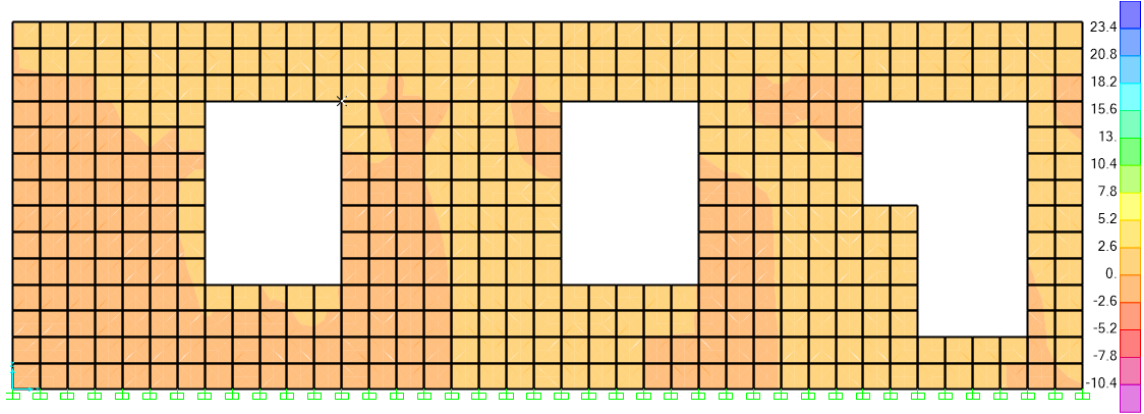
Yapının 12 farklı mod da çözümünden en yüksek periyot değeri 0,37612 ve frekans değeri 2,659 değeri elde edilmiştir.

Tablo 6.7. Model durumundaki binanın periyod ve frekansları

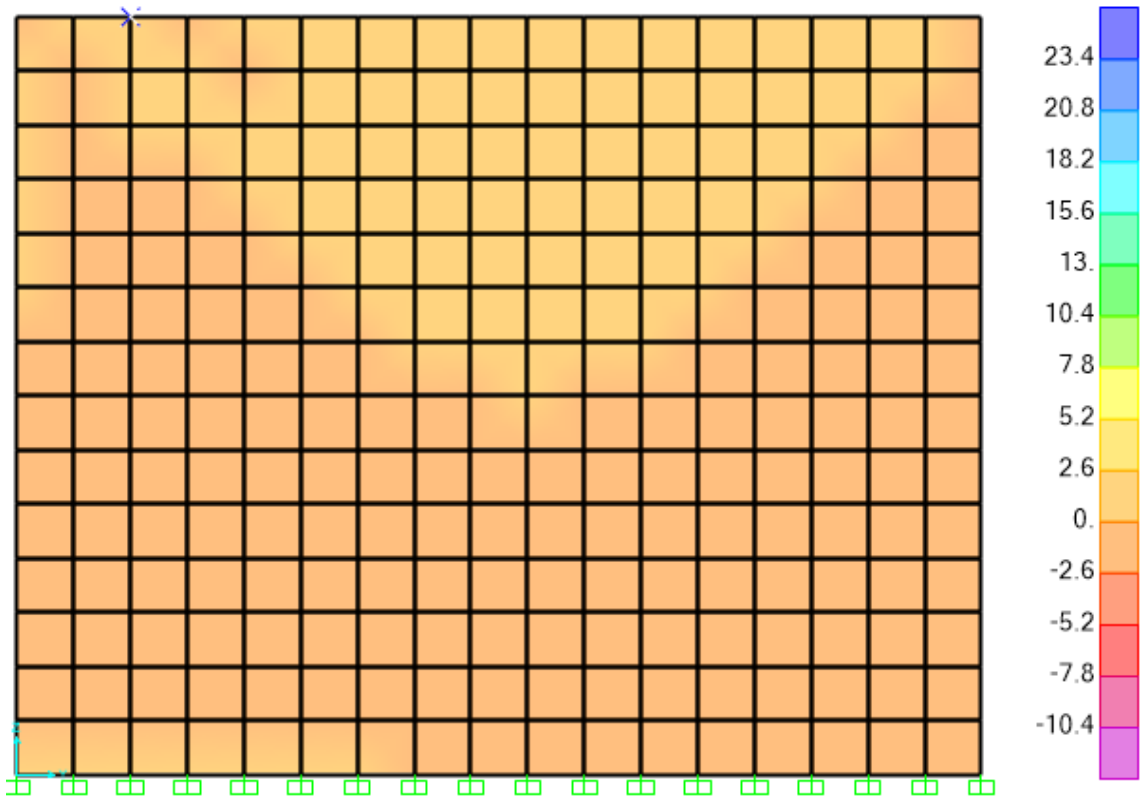
TABLE: Modal Periods And Frequencies						
OutputCase	StepType	StepNum	Period	Frequency	CircFreq	Eigenvalue
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad2/sec2
MODAL	Mode	1	0.37612	2.658726697	16.70527252	279.0661299
MODAL	Mode	2	0.300092	3.332306936	20.93750198	438.3789892
MODAL	Mode	3	0.287625	3.476752429	21.84507978	477.2075105
MODAL	Mode	4	0.287624	3.476757804	21.84511355	477.2089861
MODAL	Mode	5	0.255924	3.907404891	24.550949	602.7490969
MODAL	Mode	6	0.253097	3.951048108	24.82516742	616.2889374
MODAL	Mode	7	0.249942	4.000934114	25.13861044	631.9497347
MODAL	Mode	8	0.245177	4.078694317	25.62719221	656.7529804
MODAL	Mode	9	0.236473	4.228811933	26.570409	705.9866345
MODAL	Mode	10	0.234583	4.262883033	26.78448404	717.4085852
MODAL	Mode	11	0.186319	5.367147728	33.72278375	1137.226144
MODAL	Mode	12	0.172081	5.811216683	36.51295128	1333.195611

6.4.5.2. Aksenal gerilme sonuçları

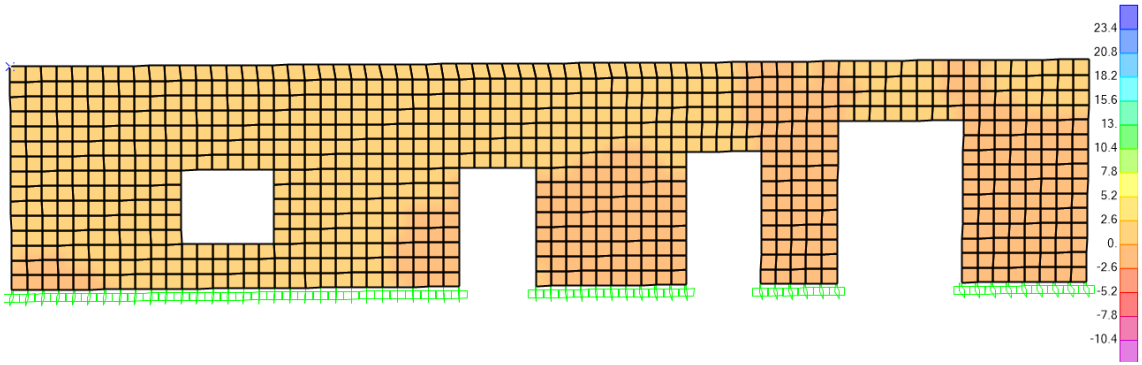
Bodrum kat



Şekil 6.40. Doğu cephesindeki duvarın S22 aksenal gerilmesi (N/mm²)

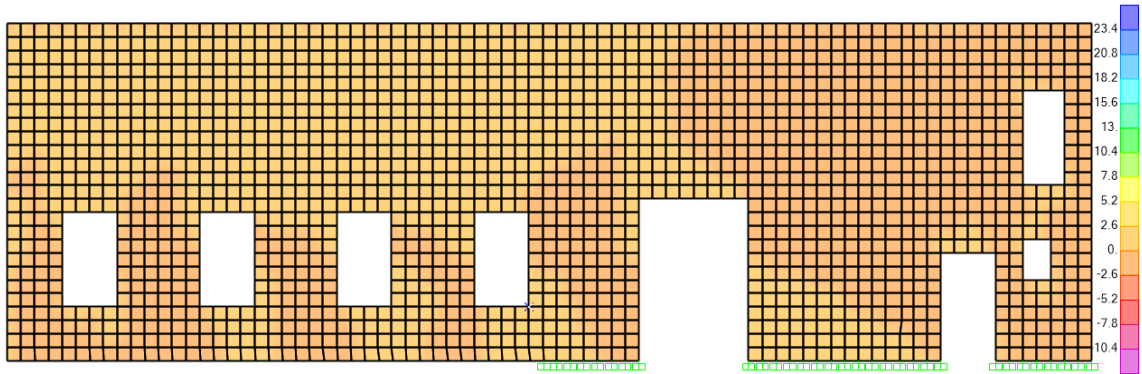


Şekil 6.41. Batı cephesindeki duvarın S22 aksenal gerilmesi (N/mm²)

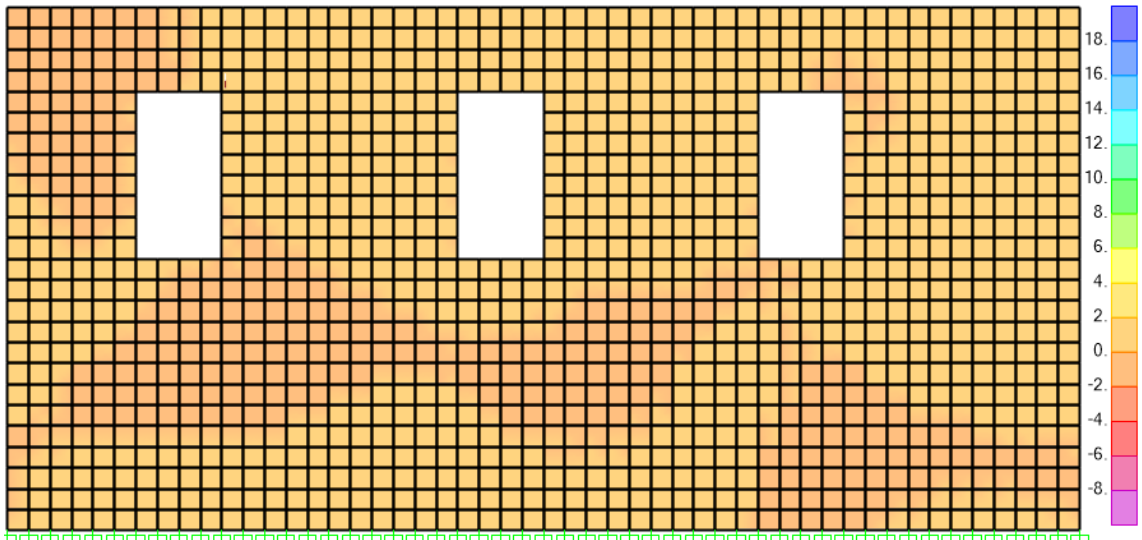


Şekil 6.42. Güney cephesindeki duvarın S22 aksenal gerilmesi (N/mm^2)

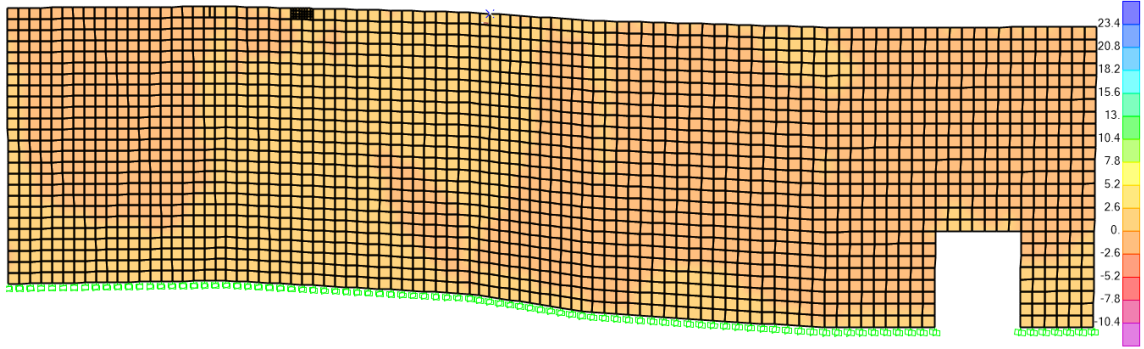
Normal Kat



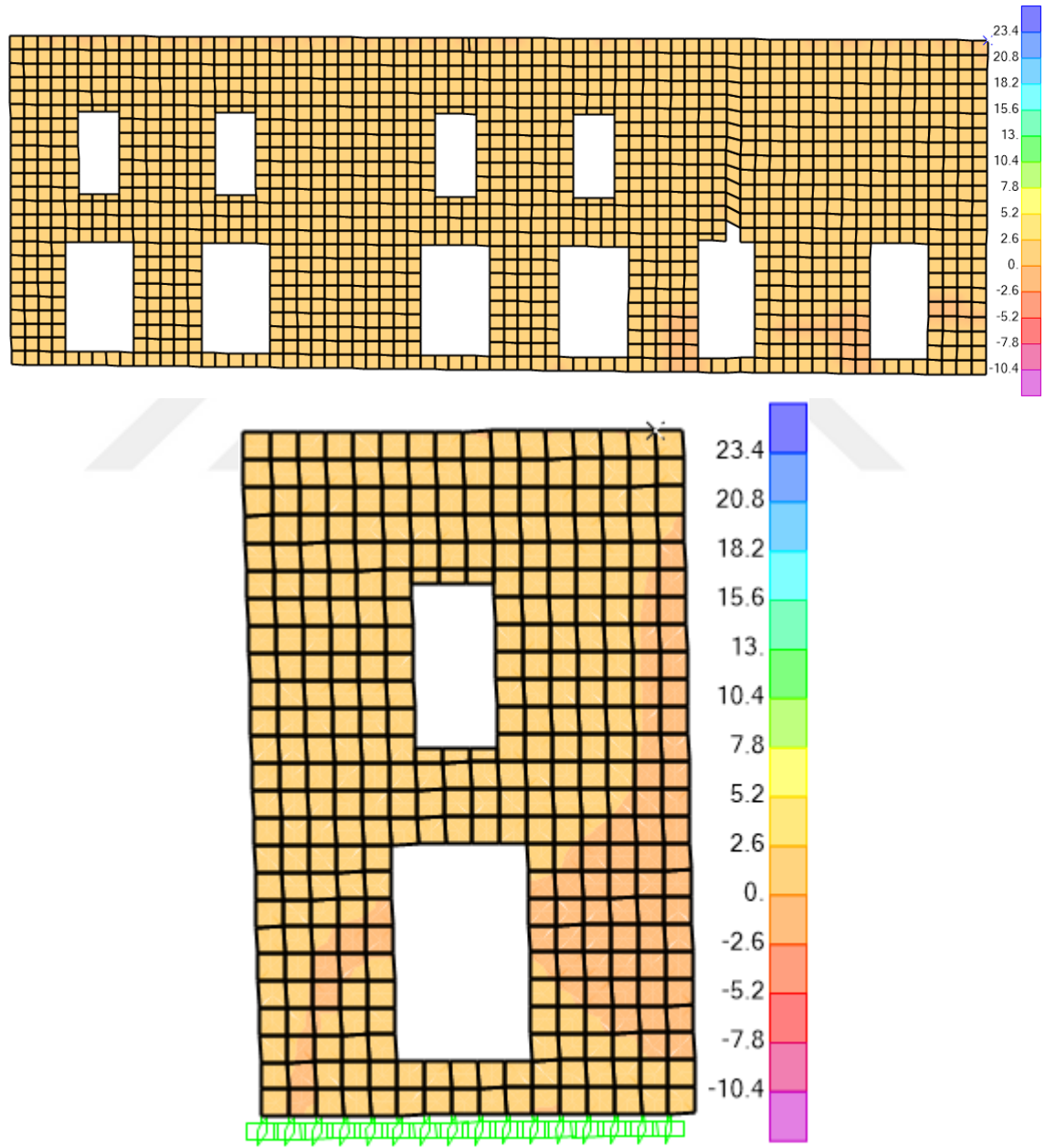
Şekil 6.43. Doğu cephesindeki duvarın S22 aksenal gerilmesi (N/mm^2)



Şekil 6.44. Batı cephesindeki duvarın S22 aksenal gerilmesi (N/mm^2)



Şekil 6.45. Kuzey cephesindeki duvarın S22 aksenal gerilmesi (N/mm²)



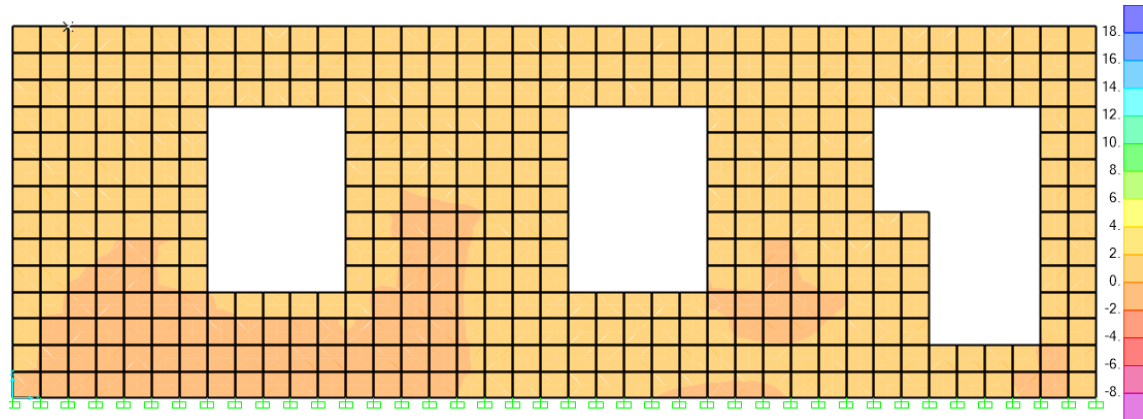
Şekil 6.46. Güney cephesindeki duvarların S22 aksenal gerilmesi (N/mm²)

Sille Ak Camii duvar malzemesi olarak taş duvar kullanılmıştır. Çalışmada duvar birimleri üzerinde deney yapılmadığı için malzemenin basınç dayanımı belirlenememiştir. Bu nedenle, yönetmelikte taş duvar için verilen basınç emniyet gerilmesi (0,6 Mpa) değeri kullanılmıştır.

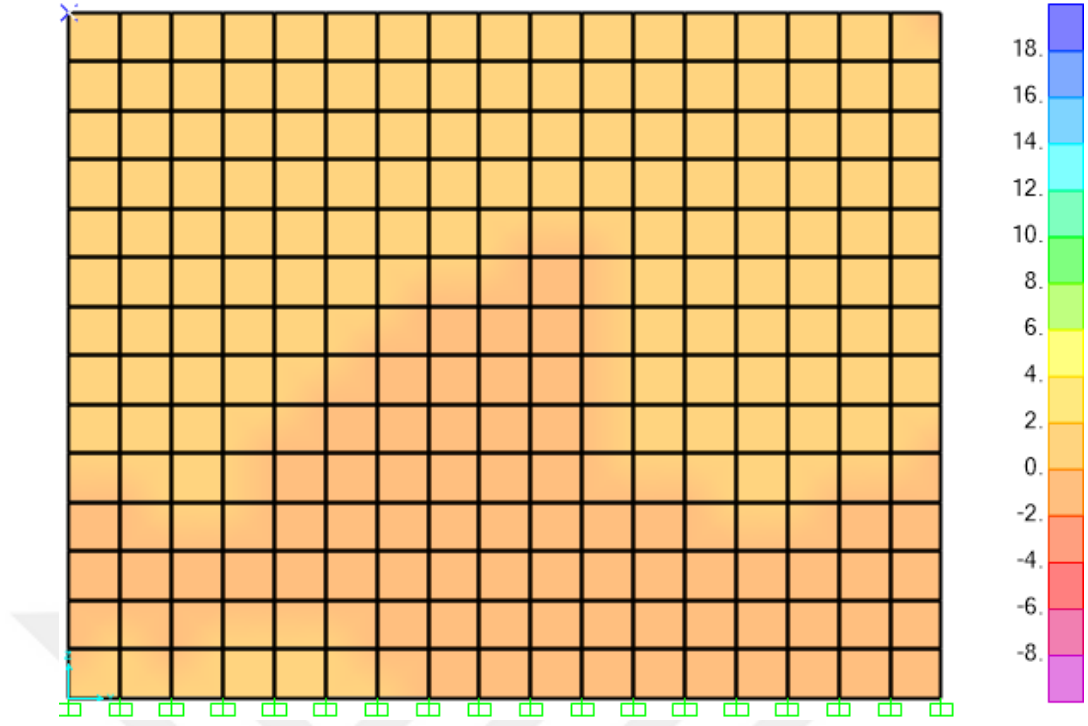
Bodrum katın; doğu duvarında oluşan maksimum aksenal gerilmesi 0,052 MPa, batı duvarında oluşan maksimum gerilmesi 0,177 MPa olduğundan yönetmelikte verilen değer taş duvarlar için 0,6 MPa'ı aşmadığı için bu iki duvar güvenlidir. Ama, güney duvarlarında oluşan maksimum aksenal gerilmesi 0,919 MPa olduğu için 0,6 Mpa değerini aşar ve güvenli sayılmaz. Normal katın duvarlarında oluşan maksimum aksenal gerilmeler; doğu duvarın 0,655 MPa, batı duvarın 0,63 MPa, kuzey duvarın 3,35 MPa ve güney duvarın 1,77 MPa olduğu için duvar basınç emniyet gerilmesi değerini (0,6 MPa) aşarak güvenli değildir. Duvarlarda meydana gelen bu gerilmeler, genelde pencere boşluğunun üst kısmı, duvarların birleşim yeri ve duvarların döşeme ile birleştiği bölgelerdedir.

6.4.5.3. Kayma gerilmesi sonuçları

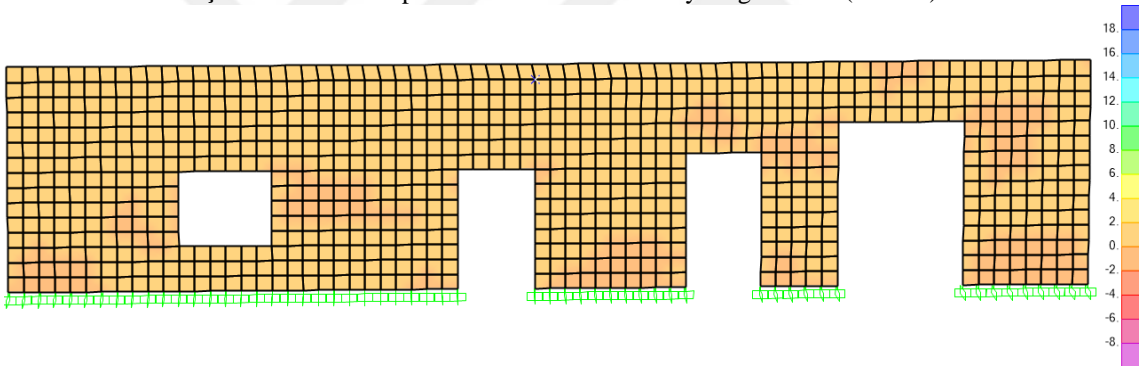
Bodrum kat



Şekil 6.47. Doğu cephesindeki duvarın S11 kayma gerilmesi (N/mm²)

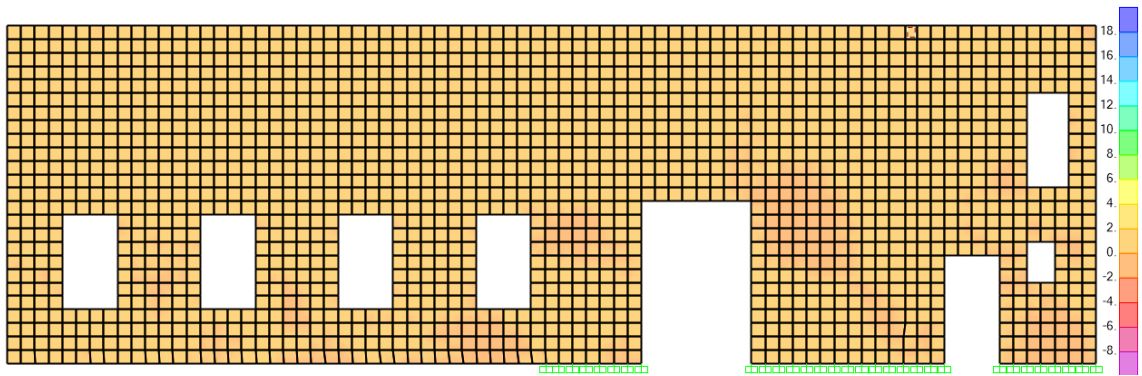


Şekil 6.48. Batı cephesindeki duvarın S11 kayma gerilmesi (N/mm²)

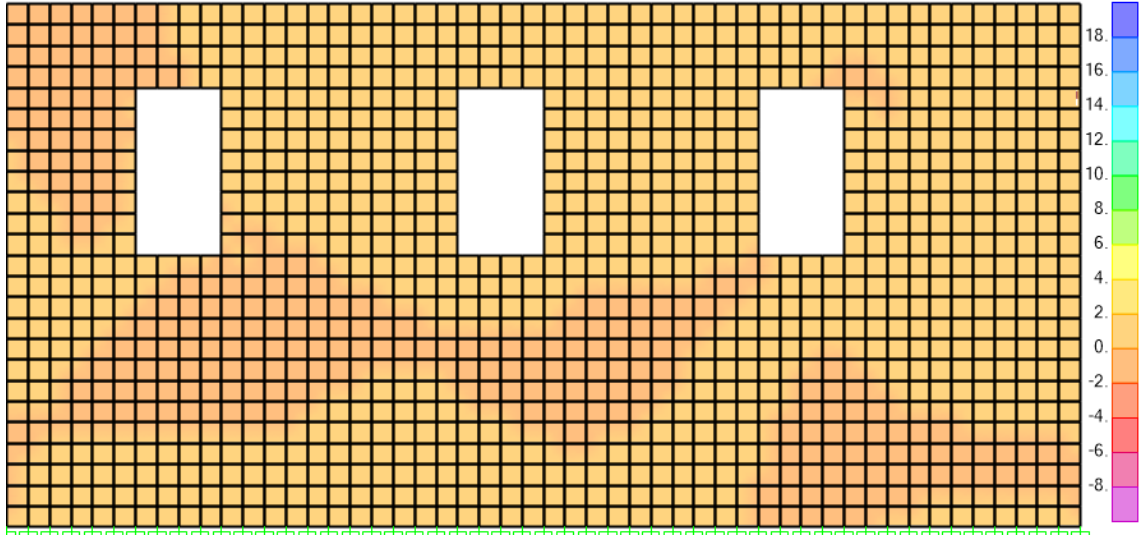


Şekil 6.49. Güney cephesindeki duvarın S11 kayma gerilmesi (N/mm²)

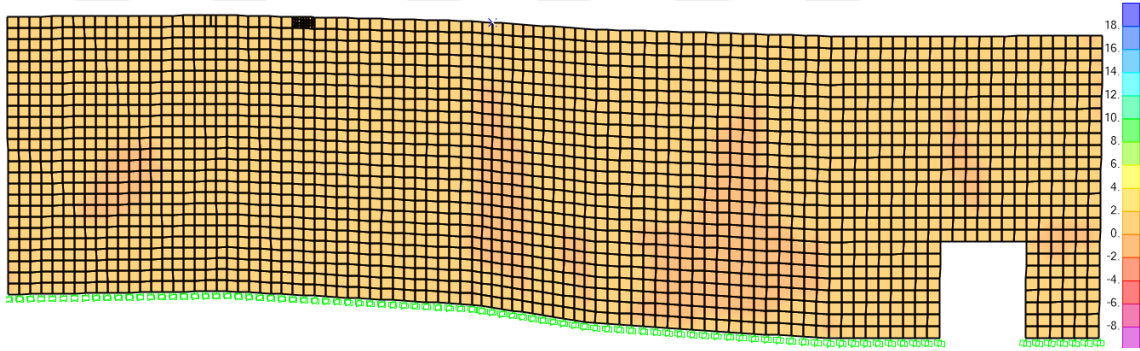
Normal Kat



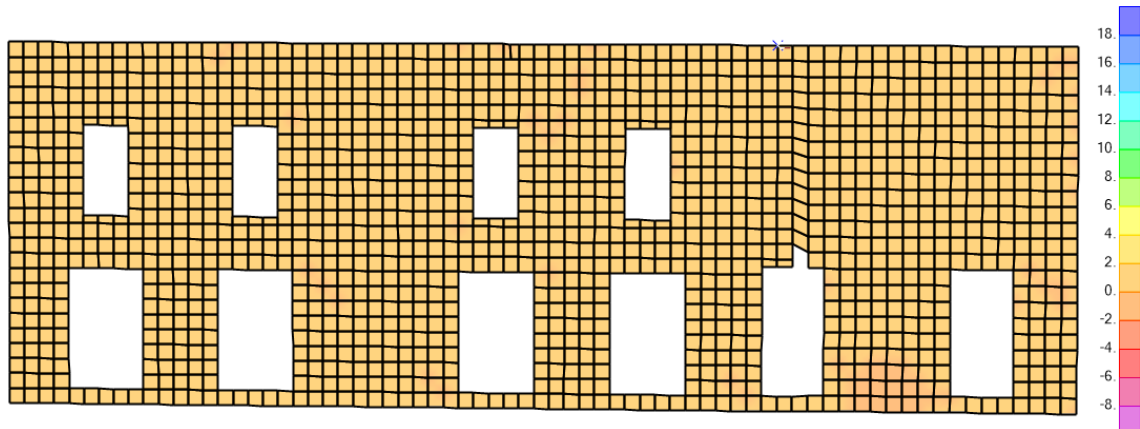
Şekil 6.50. Doğu cephesindeki duvarın S11 kayma gerilmesi (N/mm²)



Şekil 6.51. Batı cephesindeki duvarın S11 kayma gerilmesi (N/mm²)



Şekil 6.52. Kuzey cephesindeki duvarın S11 kayma gerilmesi (N/mm²)



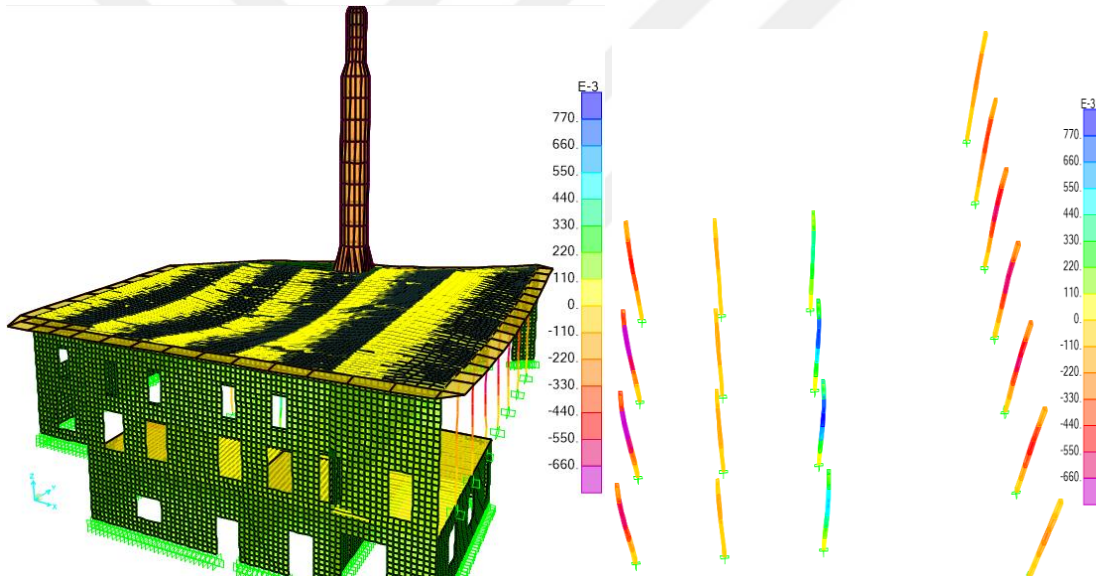
Şekil 6.53. Güney cephesindeki duvarların S11 kayma gerilmesi (N/mm²)

Bodrum kat duvarlarında oluşan maksimum kayma gerilmeler; doğu duvarın 0,303 MPa, batı duvarın 0,251 MPa ve güney duvarın 0,419 MPa olduğu için TBDY-2018’de belirtilen formüle hesaplanan maksimum kayma gerilmesi bodrum kat için

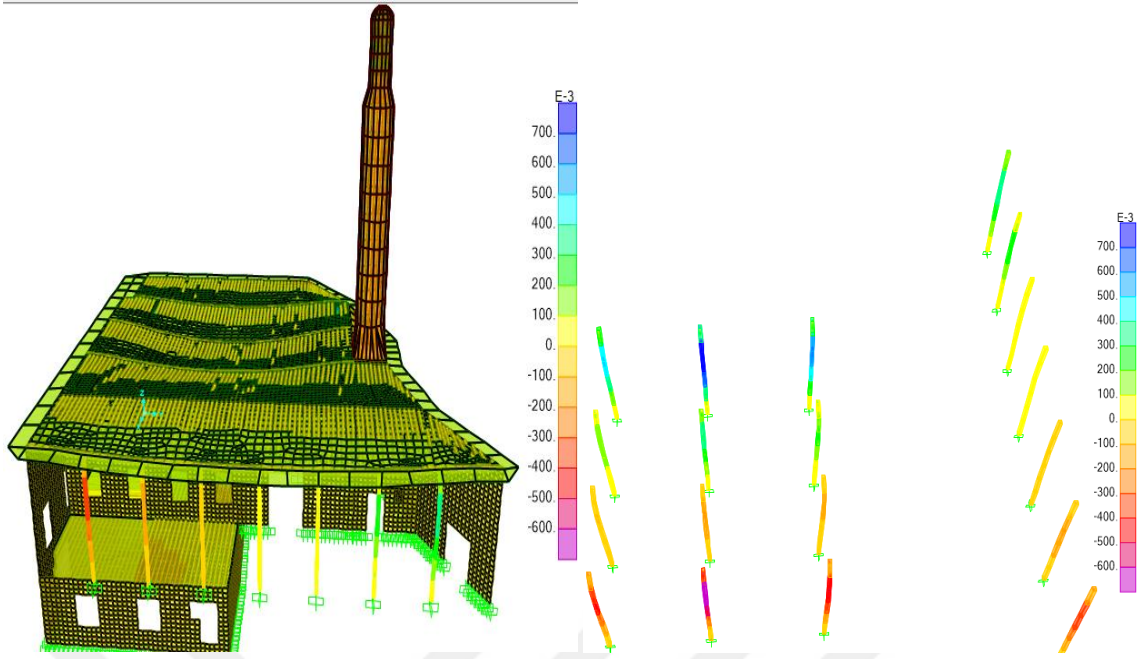
0,170 MPa değerini aştığı için kayma yönünden güvensizdir. Normal kat duvarlarında oluşan maksimum kayma gerilmeler; doğu duvarın 0,655 MPa, batı duvarın 0,274 MPa, kuzey duvarın 1,803 MPa ve güney duvarın 1,234 MPa olduğu için TBDY-2018’de belirtilen formüle hesaplanan maksimum kayma gerilmesi normal kat için 0,171 MPa değerini aştığı için kayma yönünden güvensizdir. Duvarlarda meydana gelen bu gerilmeler, genelde pencere boşluğunun üst kısmı, duvarların birleşim yeri ve duvarların döşeme ile birleştiği yerlerdedir.

6.4.5.4. Yer değiştirme sonuçları

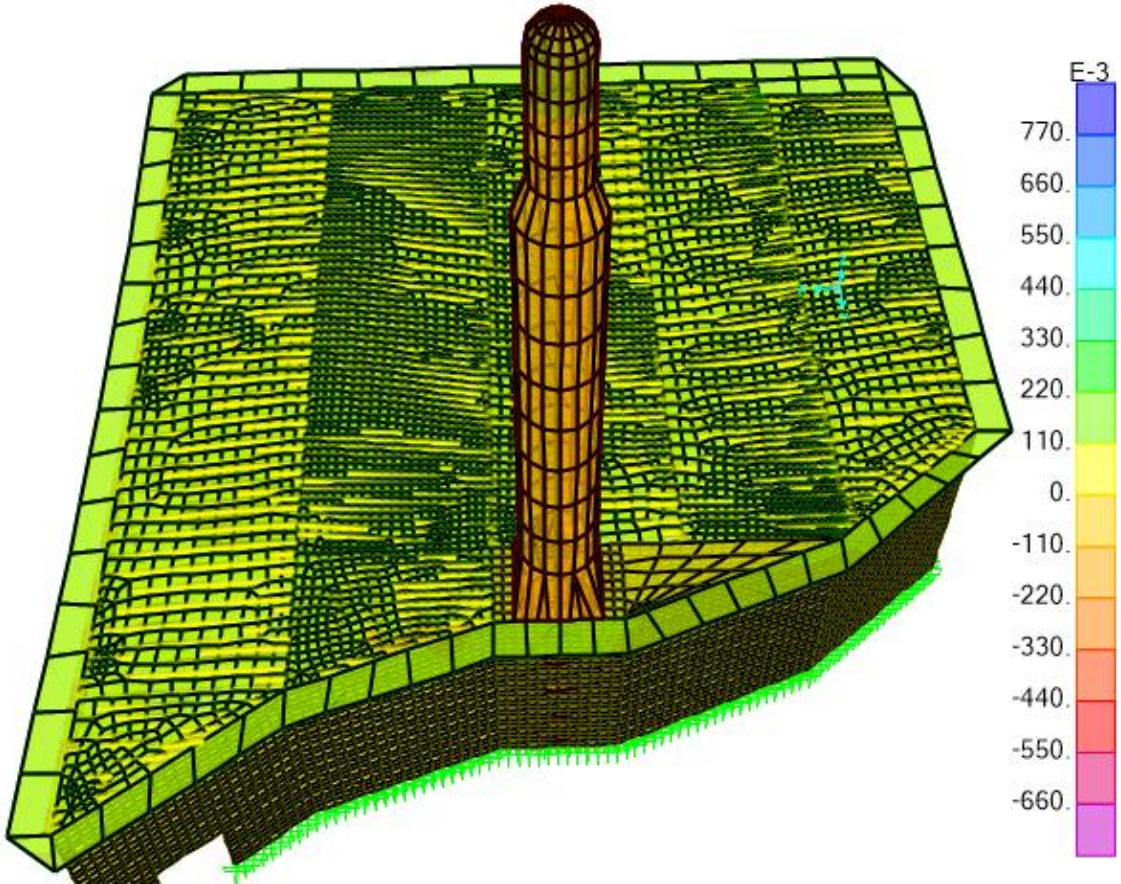
Modal analizde yapının x ve y doğrultusundaki yer değiştirmeleri aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir. Gösterilen değerler ($\text{cm} \times 10^{-3}$) cinsindedir.



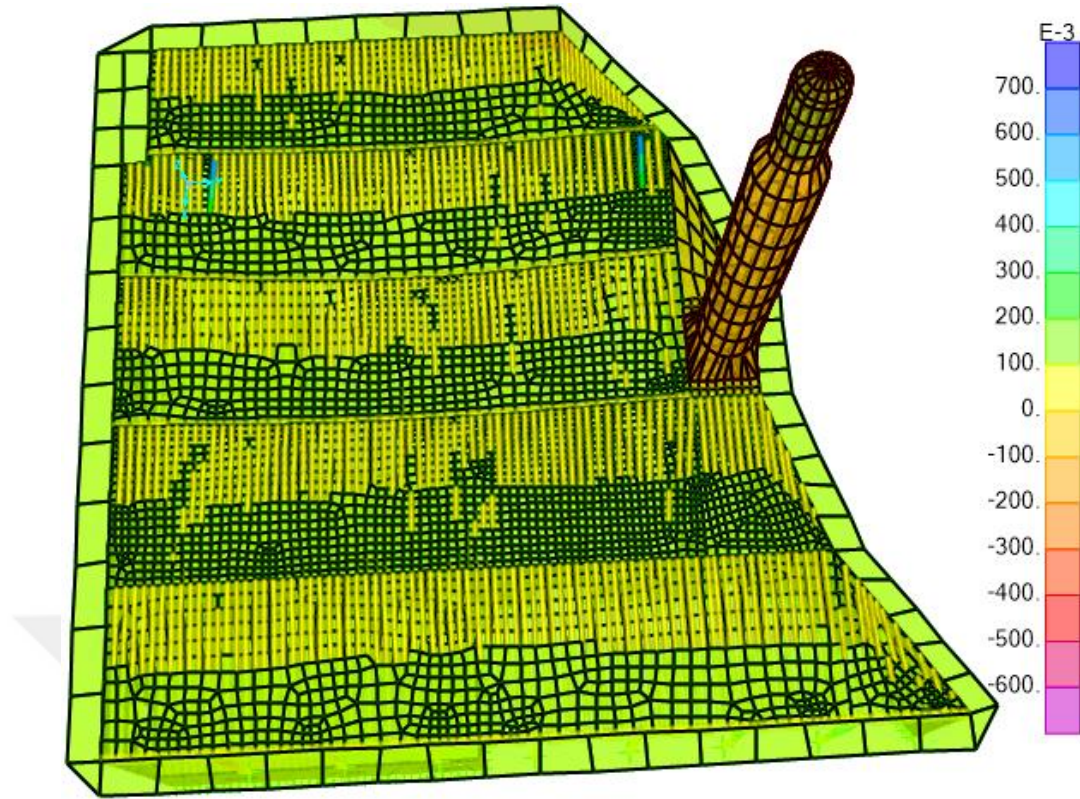
Şekil 6.54. Yapının geneli ve ahşap direklerin x yönündeki max. yerdeğiştirmeleri



Şekil 6.55. Yapının geneli ve ahşap direklerin y yönündeki max. yerdeğışirmeleri



Şekil 6.56. Döşeme ve minarenin x yönündeki max yerdeğışirmeler



Şekil 6.57. Döşeme ve minarenin y yönündeki max yerdeğiştirmeler

Yapıda oluşan maksimum yerdeğiştirmeler, x yönünde 1302×10^{-3} cm, y yönünde 1369×10^{-3} cm minarenin en üst bölgesinde meydana gelmektedir. Duvarlarda oluşan maksimum yerdeğiştirmeler ise, x yönü batı duvarında $2,9 \times 10^{-3}$ cm, y yönü güney duvarında $3,1 \times 10^{-3}$ cm'a ulaşmıştır.

6.4.6. Karşılaştırmalar

6.4.6.1. TBDY-2018 ile TDY-2007'ye göre yapılan analizin karşılaştırılması

- Elastisite Modülü; TBDY-2018'e göre yığma kagir birimlerin elastisite modülü belirlenmesi için taşıyıcı duvarların karakteristik basınç dayanımı (f_k), duvar numuneleri üzerinde deney yoluyla veya kagir birim ve harç üzerinde yapılacak ayrı deneylerden bulunan basınç dayanımları, yönetmelikte verilen tablodan alınarak 750 katına ($E_{duv} = 750 f_k$) eşit olacaktır. TDY-2007'ye göre elastisite modülü ise, kagir birimler için bulunan karakteristik basınç dayanımının 200 katı ($E_{duv} = 200 f_k$) olarak alınmıştır.

- Kayma Modülü; TBDY-2018'e göre kayma modülü, kagir birim için elde edilen elastisite modülünün %40'ı olarak belirlenmiştir. TDY-2007'ye göre kayma modülü ise, aşağıda verilen formülle malzemenin elastisite modülü ve poisson oranına bağlı olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak, kayma modülü değeri ikisinde aynı çıkmaktadır. Fakat, kagir birimin poisson oranı ile uğraşmadan daha kolay bir yol sağlamıştır.

$$G_{\text{duvar}} = E / 2 \times (1 + \gamma)$$

- Deprem Kuvveti Hesap Parametreleri; TBDY-2018'e göre, yapının fay hattından uzaklığını ve harita spektral ivme katsayılarına ulaşmak için internet üzerinden, Türkiye Deprem Tehlike Haritaları (<https://tdth.afad.gov.tr/>) sitesine girilerek yapıya ait adresi, deprem yer hareket düzeyi, yerel zemin sınıfı, enlem ve boylamı sorgulanacaktır. Elde edilen harita spektral ivme katsayıları kullanılarak tasarım spektral ivme katsayıları bulunacaktır, Ayrıca, dayanım fazlalığı katsayısı (D) da dikkate alınmıştır. Böylece, yatay ve düşey deprem kuvvetleri için iki spektrum tanımlanmıştır. TDY-2007'ye göre deprem kuvveti hesabı için, yapının sadece yatay spektrumu dikkate alınmıştır. Yatay spektrumu, yapının deprem bölgesine göre etkin yer ivme katsayısı (A_0)'a bağlı olarak, zemin sınıfı dikkate alınmaksızın yığma yapılar için $S(T) = 2,5$ alınmıştır.
- Deprem Kuvvetlerinin Hesabı; TBDY-2018'e göre x yönünde programın kullandığı $T = 0,2876$ sn periyotta eşdeğer deprem yükü katsayısı $C = 0,23781$, taban kesme kuvveti ise, 399,783 ton olarak bulunmuştur. Y yönünde $T = 0,2499$ sn periyot altında eşdeğer deprem yükü katsayısı $C = 0,245286$, taban kesme kuvveti ise, 412,351 ton olarak bulunmuştur. Binanın toplam ağırlığı ise, 1681,102 ton bulunmuştur. TDY-2007'ye göre X ve Y yönünde $T = 0,2876$ sn periyot altında, eşdeğer deprem yükü katsayısı $C = 0,15$, binanın toplam ağırlığı 1681,102 ton ve taban kesme kuvveti ise, 252,165 ton, bulunmuştur. Sonuç olarak, TBDY-2018 çözümlemesinde eşdeğer deprem yükü katsayısında ve taban kesme kuvvetinde bir artış söz konusudur.
- Periyot ve Frekans; yapının TBDY-2018 ve TDY-2007'ye göre modelinin periyot ve frekansı, yapıya etkiyen yükler değişmediği için hemen hemen aynı çıkmıştır.
- Eksenel Gerilmeler; TBDY-2018'e göre maksimum eksenel gerilmeler (S_{22}), 3,35 MPa normal kat kuzey cephesindeki duvarın döşeme ile birleştiği

bölgesinde meydana gelmiştir. TDY-2007'ye göre ise, maksimum eksenel gerilmeler (S22), 2,16 MPa yine normal kat kuzey cephesindeki duvarın döşeme ile birleştiği bölgesinde meydana gelmiştir.

- Kayma Gerilmeler; TBDY-2018'e göre bodrum kat duvarlarında oluşan maksimum kayma gerilmeler, doğu duvarın 0,303 MPa, batı duvarın 0,251 MPa ve güney duvarın 0,419 MPa olduğu için TBDY-2018'de belirtilen formülle hesaplanan maksimum kayma gerilmesi bodrum kat için 0,170 MPa değerini aştığı için kayma yönünden güvensizdir. Normal kat duvarlarında oluşan maksimum kayma gerilmeler; doğu duvarın 0,655 MPa, batı duvarın 0,274 MPa, kuzey duvarın 1,803 MPa ve güney duvarın 1,234 MPa olduğu için TBDY-2018'de belirtilen formülle hesaplanan maksimum kayma gerilmesi normal kat için 0,171 MPa değerini aştığı için kayma yönünden güvensizdir. TDY-2007'ye göre ise, bodrum kat duvarlarında oluşan maksimum kayma gerilmeler, doğu duvarın 0,221 MPa ve güney duvarın 0,203 MPa olduğu için TDY-2007'de belirtilen formülle hesaplanan maksimum kayma gerilmesi bodrum kat için 0,1696 MPa değerini aştığı için kayma yönünden bu iki duvar güvensizdir. Batı duvar ise, kayma gerilmesi 0,117 MPa olduğu için kayma yönünden güvenlidir. Normal kat duvarlarında oluşan maksimum kayma gerilmeler; doğu duvarın 0,229 MPa, batı duvarın 0,654 MPa, kuzey duvarın 1,45 MPa ve güney duvarın 0,46 MPa olduğu için TDY-2007'de belirtilen formüle hesaplanan maksimum kayma gerilmesi normal kat için 0,171 MPa değerini aştığı için kayma yönünden güvensizdir.
- X yönündeki maksimum yerdeğiştirmeler; TBDY-2018'e göre, x yönünde 1302×10^{-3} cm ve TDY-2007'ye göre x yönünde 4002×10^{-3} cm minarenin en üst kısmında meydana gelmektedir. Duvarlarda ise, sırasıyla $2,9 \times 10^{-3}$ cm, $5,7 \times 10^{-3}$ cm yapının batı cephesindeki duvarında oluşmaktadır.
- Y yönündeki maksimum yerdeğiştirmeler; TBDY-2018'e göre, y yönünde 1369×10^{-3} cm ve TDY-2007'ye göre y yönünde 4002×10^{-3} cm minarenin en üst kısmında meydana gelmektedir. Duvarlarda ise, sırasıyla $3,1 \times 10^{-3}$ cm, $5,7 \times 10^{-3}$ cm yapının batı cephesindeki duvarında oluşmaktadır.

6.4.6.2. Bilgisayar program analizinin analitik hesapla karşılaştırılması

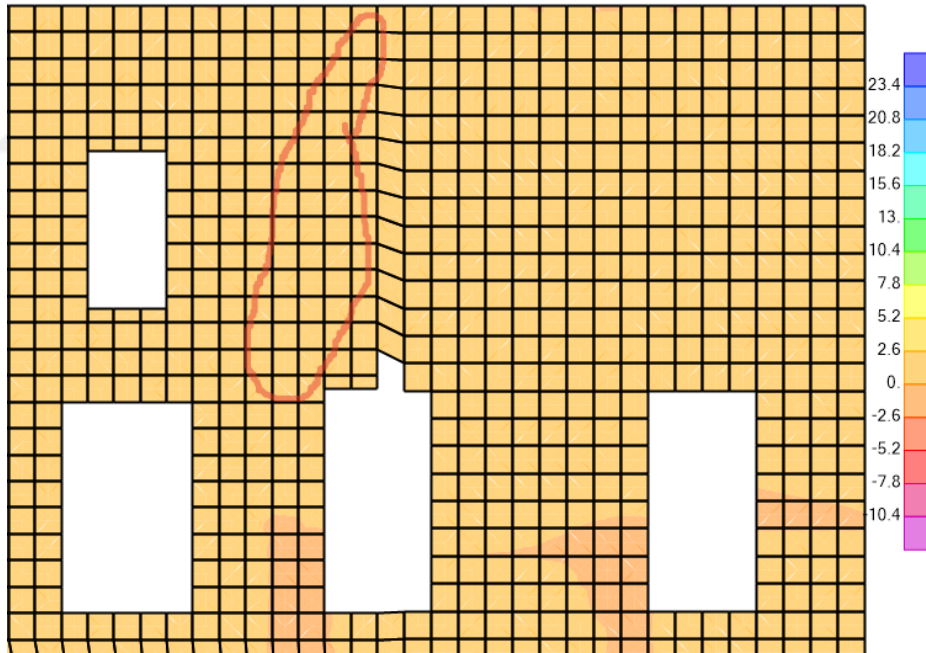
- Deprem kuvveti hesabı için kullanılan periyotlar; analitik hesaplarda binanın ilk periyodu $T_1 = 0,37$ sn altında deprem hesabı yapılarak, eşdeğer deprem yükü katsayısı $C = 0,185$, taban kesme kuvveti x ve y yönünde 343,56 ton ve binanın tüm ağırlığı 1857,1 ton çıkmıştır. Bilgisayarla analizinde, deprem kuvvetlerin etkili olan modlara göre, bu periyotlar değişiklik göstermiştir. Böylece, x yönünde $T = 0,2876$ sn için $C = 0,23781$, $V_{tx} = 399,783$ ton, y yönünde ise, $T = 0,245286$ sn için $C = 0,24991$, $V_{ty} = 412,351$ ton ve binanın toplam ağırlığı 1681,102 ton çıkmıştır.
- Eksenel gerilmeler; analitik hesaplamalarda, tüm duvarlarda oluşan basınç gerilmeler, duvarlar için tanımlanan basınç emniyet gerilmesi değerini (0,6 MPa) aşmadığından duvarlar basınç yönünden güvenlidir. Bilgisayar analizinde, bodrum katın doğu (0,052 MPa) ve batı (0,177 MPa) duvarı güvenli iken güney (0,919 MPa) duvarı 0,6 MPa değerini aşarak güvensizdir. Normal katın tüm duvarları, basınç emniyet gerilmesini aştığı için basınç gerilmesi açısından güvensizlerdir.
- Kayma gerilmeler; analitik hesaplamalarda, tüm duvarlarda oluşan kayma gerilmeler, bodrum kat duvarlar için tanımlanan kayma emniyet gerilmesi (0,170 MPa) ve normal kat duvarlar için tanımlanan kayma emniyet gerilmesi (0,171 MPa) değerini aşmadığından duvarlar kayma yönünden güvenlidir. Bilgisayar analizinde, bodrum ve normal katlarda oluşan tüm kayma gerilmeler emniyetli değeri aşarak kayma emniyet gerilmesi açısından güvensizlerdir.

6.5. Yapıda Mevcut Oluşan Hasar

Yapının güney cephesindeki duvarında, pencere boşluğunun üstünde şekil 6.58'de görüldüğü gibi düşey bir çatlak gözlenir. Yapının eğimli bir zemin üzerinde inşa edildiğinden, yapı altındaki zeminin yanlara doğru kaçması sonucu, yapının kenar bölgesinin üst kısmında oturmasından dolayı düşey yönlü çekme çatlakları meydana gelmiştir. Çatlakın oluştuğu yerde eksenel gerilme yığılmaları şekil 6.59' de verilmiştir. Bu bölgede oluşan maksimum eksenel gerilmesi 0,2 MPa'dır.



Şekil 6.58. Güney cephesindeki duvarda mevcut oluşan çatlak



Şekil 6.59. Güney cephesindeki duvarda mevcut oluşan çatlağın gerilme yığılmaları

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tarihi yapılar, kullanım amaçları, taşıyıcı sistemi ve kullanılan malzemeleri bakımından medeniyetlerin en popüler taşınmazları ve güç simgeleridir. Taşıyıcı sistem ve malzemelerin seçiminde özen gösterildiğinden, birçoğu şimdi ayakta ve kullanıma açıktır. Ancak, çeşitli faktörler bu eserlerin yıkılmasına ve yok olmasına neden olmaktadır. Bu faktörlerin belirlenmesi ve ortadan kaldırılması zamanında ve doğru bir teknik müdahale ile mümkündür. Bu amaçla, tarihi yapıların taşıyıcı elemanlarının özellikleri bilinmeli, yapı hasarları belirgin bir şekilde tespit edilmeli, koruma bilinciyle yaklaşılarak bakım ve onarımı yapılmalı, hasarları ortadan kaldırmak için çalışılmalı, gerekli durumlarda uygun teknik seçilerek güçlendirilmeli ve kültürel miras niteliğindeki bu yapılar gelecek nesillere aktarılmalıdır.

Yığma yapılarında kullanılan malzeme boyutları, basınç ve kayma gerilmelerine karşı dayanımı yüksek olduğuna rağmen çekme gerilmelerine karşı yetersiz kalmaktadır. Yapıya gelen yükler özellikle deprem yükleri pencere, kapı vb. boşlukların gerilme yığılmaları o noktada toplanması ve kesit yetersiz kaldığında hasar görülmektedir.

Bu çalışma kapsamında, yığma yapım tekniği ile inşa edilen Tarihi Sille Ak Camii binasının statik analizi yapılarak performans analizi incelenmiştir. Yapılan analizler sonucunda, binanın statik durumunda en çok zorlanan kısımlarının kapı ve pencere boşluklarının kenarları, duvarların birleşim bölgesi ve duvarların döşeme ile birleştiği yerler olduğu tespit edilmiştir.

Sille Ak Camii analitik hesaplarında, yapı duvarlarında oluşan basınç gerilmeler duvar malzemesi için verilen basınç emniyet gerilmesini aşmadığı için basınç gerilmesi yönünden güvenlidir. Bunun yanında, duvarlar kayma gerilmesi yönünden de güvenli çıkmıştır.

Tarihi Ak Camisinin mevcut yapı durumu sap 2000 programı ile modellenip yapının TBDY-2018 ve TDY-2007' ye göre statik analizleri yapılmıştır. Yapılan analizlerde, duvarların döşemeyle birleştiği yerlerde ve kapı ve pencere boşluklarının kenarlarında basınç ve kayma gerilmelerine karşı dayanımında sorun bulunmaktadır. Bunun dışında, duvarların diğer kalan bölgelerde basınç ve kayma gerilmesine karşı herhangi bir sorun yoktur.

Yapının mevcut durumu TBDY-2018 ve TDY-2007'ye göre yapılan analizler sonucunda emniyetli değerleri aştığından basınç ve kayma yönünden güvensiz çıkmıştır ve restorasyon yapılacağı uygun görülmektedir.

Yapının sonlu elemanlar modelinde çıkan yüksek gerilmelere rağmen, minaresinde, beden duvarlarında, birleşim bölgelerinde ve pencere, kapı boşluklarında büyük ve riskli çatlaklara rastlanmamıştır. Bu durum, yapının hala stabilitesini koruduğu yönünde yorumlanabilir.

Yığma yapılardaki genel sorunlar zemin oturmaları ve kullanılan malzemenin gevrek olmasıdır. Ak Camisinde görülen çatlağın, binanın temelindeki oturmadan kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Yapının güney cephesindeki duvarında, pencere boşluğunun üstünde düşey bir çatlak gözlenir. Yapının eğimli bir zemin üzerinde inşa edildiğinden, yapı altındaki zeminin yanlara doğru kaçması sonucu, yapının kenar bölgesinin üst kısmında oturmasından dolayı düşey yönlü çekme çatlağı meydana gelmiştir. Çatlağın oluştuğu yerde maksimum eksenel gerilmesi 0,2 MPa'dır. Bu yüzden, binanın temeli ile ilgili önlem alınmasının uygun olacağı düşünülmektedir.

Binada tespit edilen bu çatlağın güçlendirme yöntemlerine göre onarılması yapının bundan sonraki kullanım ömrü için yararlı olacaktır. Çatlağın onarımı enjeksiyon yöntemi, dikim metodu veya pencere üst kısmında oluşan çatlağa yapının üst duvar kenarlarından ankrajlı gergi metodu uygulanabilir. Tarihi yapıların korunması ve yaşatılması için yapının mevcut durumu ve kullanılan malzemesine göre teknik onarım – güçlendirilmenin yapılmasıdır.

Çalışma kapsamında yapılan analizler ve elde edilen sonuçların buna benzer konularla ilgili ileride yapılacak çalışmalara ışık tutması ve değişik taşıyıcı sistem özelliklerine sahip olan tarihi yapılarda da benzer çalışmaların yapılmasının oldukça önemli olduğu düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Aköz, A. H., 2008, Deprem Etkisi Altındaki Tarihi Yığma Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü*, İstanbul.
- Anonim, 2019, Gotik Mimari Anlayışı, Sosyrol, Ankara.
- Anonim, 2017, Rönesans Dönemi Mimarisi, Sanat Karıvanı, Antalya.
- Anonim, 2016, Barok Mimarisi, Arthipo, İstanbul.
- Arun, G., 2005, Yığma Kagir Yapı Davranışı, Yığma Yapıların Deprem Güvenliğinin Arttırılması Çalıştayı, ODTÜ, Ankara.
- Asımgil, B., Erdoğan, F., 2013, Tarihi Ayvalık evleri mimarisinde bozulmaya neden olan etkenlerin incelenmesi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 29 (1), 49-60.
- Aşık, F. M., 2018, Tarihi Yapılarda Taşıyıcı Sistem Özellikleri, Hasarlar İçin Onarım ve Güçlendirme Teknikleri, Zenburi Mescidi'nin Model Analizi, Yüksek Lisans Tezi, *Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Konya.
- Bayraktar, A., 2005, Tarihi Yığma Yapıların Depreme Karşı Güçlendirilmesi, Yığma Yapıların Deprem Güvenliğinin Arttırılması Çalıştayı, ODTÜ, Ankara.
- Bayülke, N., 1999, Depremde Hasar Gören Yapıların Onarımı ve Güçlendirilmesi, İnşaat Mühendisleri Odası Yayını, 6.Baskı, İzmir.
- Bilgin, H., 2005, Sinan Kubbeli Yapılarında Mekan Örtü Sistemlerinin Yapısal Davranışı, Deprem Sempozyumu, Kocaeli.
- Chamaky, R. Y., 2014, Tarihi Yığma Yapıların Deprem Analizi ve Uygun Güçlendirme Teknikleri, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü*, İstanbul.
- Çöğür, M. T., 2007, Yığma Yapıların Yatay Derz Güçlendirme Yöntemiyle Güçlendirilmesi, Doktora Tezi, *S.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- Dabanlı, Ö., 2008, Tarihi Yığma Yapıların Deprem Performansının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü*, İstanbul.
- Ercan, E., 2010, Tarihi Yığma Yapıların Güvenliklerinin Analitik ve Deneysel Yöntemlerle Belirlenmesi, Doktora Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü*, İzmir.

- Gedik, Y. H., 2008, Analysis, Repair And Strengthening Of Historical Masonry Structures; Case Study: Mehmet Aga Mosque, Master Thesis, *İstanbul Technical University Institute Of Science And Technology*, İstanbul.
- Gökyiğit. Arpacı, E.Y., 2016, Tarihi Yığma Yapıların Onarımında Kullanılan Enjeksiyon Malzemesinin (Grout) Performans Değerlendirmesi ve 19. yüzyıl Tuğla Yığma Yapılarda Örneklenmesi, Yüksek Lisan Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü*, İstanbul.
- Kamanlı, M., 2017, 'Kare Planlı 13 Yy. Anadolu Selçuklu Yapısı Konya Zenburi Mescidinin Statik Analizi' Uluslararası Katılımlı 6. Tarihi Yapıların Korunması Ve Güçlendirilmesi Sempozyumu, 2-4 Kasım, Trabzon.
- Kara, H. G., 2009, Tarihi Yığma Yapıların Taşıyıcı Sistemleri, Güvenliğinin İncelenmesi, Onarımı ve Güçlendirilmesi, Yüksek Lisan Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü*, İstanbul.
- Konya Büyükşehir Belediyesi, 2010, Konya İl Merkezi Taşınmaz Kültürve Tabiat Varlıkları Envanteri, Konya.
- Mahberel, H. A., 2006, Tarihi Yapılarda Taşıyıcı Sistem Özellikleri, Hasarlar, Onarım ve Güçlendirme Teknikleri, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü*, İstanbul.
- S'anchez, İ. B., 2007, Strengthening of arched masonry structures with composite materials, Phd Thesis, *Minho To Obtain University Department of Civil Engineering*, Portugal.
- SAP2000, Integrated Software for Structural Analysis & Design, Computers & Structures Inc., Berkeley, CA, USA.
- Sarıköse, B., 2008, Osmanlı Döneminde Sille, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Konya, 166-167.
- Şen, B., 2003, Modeling And Anlysis Of The Historical Masonry Structures, Master Thesis, *Middle East Technical University Institute Of Science And Engineering*, Ankara.
- Şişik, Ö., 2017, Edirne'de Bulunan 15.yy ve 16.yy'da İnşaa Edilmiş Tarihi Cami ve Türbelerin Taşıyıcı Sistem Analizi ve Çözüm Önerileri, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- TBDY 2018, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği.
- TS-498, 1997, Yapı elemanlarının boyutlandırılmasında alınacak yüklerin hesap değerleri standardı, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- DBYBHY 2007, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik.
- Türker. B., 2010, Tarihi Yığma Yapıların Yapısal Davranışının Araştırılması, Yüksek Lisan Tezi, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü*, İstanbul.

Uğuz, S., 2016, Tarihi Yığma Bir Binanın Deprem Güvenlik Analizi: Tarihi Konya-Gazi Lisesi (Darü'l Muallim) Örneği, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.

<https://tdth.afad.gov.tr/>



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : EJAZUL HAQ JAIHOON
Uyruğu : Afganistan
Doğum Yeri ve Tarihi : Baghlan / Afganistan 08/05/1993
Telefon : 05534949920
E-mail : ejaz.jaihoon@gmail.com/



EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Zamankhail Lisesi, Poli Khumri, Baghlan	2010
Lisans	: Selçuk Üniversitesi	2017
Yüksek Lisans	: Konya Teknik Üniversitesi	2019

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2016	CERAN Yapı Denetim	Stajyer
2018	Analiz Zemin Yapı Laboratuvarı	İnşaat Mühendisi

YABANCI DİLLER

İngilizce : İleri seviyede
Türkçe : İleri seviyede
Farsça : İleri seviyede

YAYINLAR

Ejazul Haq Jaihoon, Mehmet Kamanlı, Alptuğ Ünal, **2019**, “TBDY-20182’e Göre Tarihi Sille Ak Caminin Statik Analizi”, Selçuk Üniversitesi Dergisi, Konya.