



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**TARİHİ YAPILARIN ULUSLARARASI
FARKLI YÖNETMELİKLERE GÖRE
ANALİZLERİNİN YAPILARAK
SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI**

Elifnur ŞAKALAK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Kasım-2021
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Elifnur ŞAKALAK tarafından hazırlanan “Tarihi Yapıların Uluslararası Farklı Yönetmeliklere Göre Analizlerinin Yapılarak Sonuçlarının Karşılaştırılması” adlı tez çalışması 24/11/2021 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri 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

İmza

Başkan

Dr. Öğr. Üyesi Serdar ECEMİŞ

Danışman

Prof. Dr. Mahmud Sami DÖNDÜREN

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Alptuğ ÜNAL

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan Kesen
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

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

DECLARATION PAGE

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

Elifnur ŞAKALAK

Tarih: 24.11.2021

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TARİHİ YAPILARIN ULUSLARASI FARKLI YÖNETMELİKLERE GÖRE ANALİZLERİNİN YAPILARAK SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Elifnur ŞAKALAK

Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mahmud Sami DÖNDÜREN

2021, 145 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Mahmud Sami DÖNDÜREN
Dr. Öğr. Üyesi Alptuğ ÜNAL
Dr. Öğr. Üyesi Ali Serdar ECEMİŞ

Geçmişten günümüze kadar varlığını sürdüren tarihi yapıların korunması ve bu varlıklarını sürdürebilmesi; eğitim, bilgi ve sürekli bakımla mümkündür. Tarihi yapılar zamanla doğal ve yapay nedenlerden dolayı hasara uğramışlardır. Ancak inşa edildikleri döneme ait olan ustalıklar sayesinde günümüze kadar ulaşmayı başarmışlardır. Bu yapıların mevcut durumlarının incelenmesi, hasarlarının tespiti, onarımı ve güçlendirilmesi için en uygun tekniğin seçilmesi ve gereken müdahalenin zamanında yapılması oldukça önemlidir.

Bu çalışmada tarihi yapılar hakkında bilgi verilmiştir. Konya'da bulunan Tarihi Şeyh Sadreddin Konevi Camisi SAP 2000 programında sonlu elemanlar modeli ile modellenmiştir. Caminin Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 (TBDY 2018), Eurocode 8 (EN 1998) ve India Standard 1893:2016' ya göre statik analizleri yapılarak depreme dayanıklı tasarım kuralları ve hesap yöntemlerinin karşılaştırılması amaçlanmıştır. Çalışma neticesinde yönetmeliklerde kullanılan hesap yöntemleri ve uyulması gereken kurallar incelendiğinde TBDY 2018 ile Eurocode 8 yönetmeliği arasında benzerlikler olduğu görülmektedir. IS 1893:2016 yönetmeliğinde ise farklı hesap yöntemleri kullanılmaktadır. Dolayısıyla duvarlar için yapılan hesaplardan elde edilen sonuçlarda da karşılaştırması yapılan yönetmeliklerde aynı benzerlik ve farklılıklar olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Deprem, Karşılaştırma, Yığma, Yönetmelik, Tarihi Yapılar

ABSTRACT

MS THESIS

COMPARISON OF THE RESULTS BY MAKİNG OF ANALYSIS OF HISTORICAL BUILDINGS ACCORDING TO INTERNATIONAL DIFFERENT REGULATIONS

Elifnur ŞAKALAK

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Civil Engineering**

Advisor: Prof. Dr. Mahmud Sami DÖNDÜREN

Year, 145 Pages

Jury

**Prof. Dr. Mahmud Sami DÖNDÜREN
Asst.Prof.Dr. Alptuğ ÜNAL
Asst.Prof.Dr. Ali Serdar ECEMİŞ**

Conservation and sustainability of historical structures that have survived from the past to the present; It is possible with education, knowledge and ongoing care. Historical buildings have been damaged over time due to natural and artificial reasons. However, thanks to the mastery of the period in which they were made, they have managed to reach the present day. It is very important to examine the current conditions of these structures, to determine the damage, to choose the most appropriate technique for repair and strengthening, and to make the necessary intervention in a timely manner.

In this study, information about historical buildings is given. The Historical Şeyh Sadreddin Konevi Mosque in Konya was modeled with the finite element model in the SAP 2000 program. It is aimed to compare the earthquake resistant design rules and calculation methods by making the static analyzes of the mosque according to the Turkish Building Earthquake Code 2018 (TBDY 2018), Eurocode 8 (EN 1998) and India Standard 1893:2016. As a result of the study, when the calculation methods used in the regulations and the rules to be followed are examined, it is seen that there are similarities between TBDY 2018 and Eurocode 8 regulation. In the IS 1893:2016 regulation, different calculation methods are used. For this reason, it has been seen that the results obtained from the calculations for the walls have the same similarities and differences in the comparative regulations.

Keywords: Code, Comparison, Earthquake, Historical buildings, Masonry

ÖNSÖZ

Tez çalışması boyunca değerli bilgi ve tecrübeleri ile destek olup beni yönlendiren, karşılaştığım zorluklarda hiçbir zaman desteğini esirgemeyen, akademik hayatta yetişmemi sağlayan, kendisi ile çalışmaktan onur duyduğum çok değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Mahmud Sami DÖNDÜREN' e sonsuz saygı, minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmada incelenen tarihi esere ait rölöve ile restorasyon bilgilerine ulaşmamı sağlayıp, yapmış olduğum çalışmaya önemli katkı sağlayan T.C. Vakıflar Genel Müdürlüğü Konya Bölge Müdürlüğü'ne saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım.

Tez kapsamında kullanılan SAP2000 programı ile ilgili her sorumda bana yardımcı olan, akademik ilerlememde manevi desteğini esirgemeyen değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Ceyhun AKSOYLU' ya, tez çalışmam boyunca bıkmadan bana destek olan başta İnşaat Mühendisi Burak ÇEŞMECİ olmak üzere bütün arkadaşlarıma sonsuz teşekkür ederim.

Hayatımın her anında yanımda olan, her konuda beni destekleyip varlıklarıyla bana güç veren canım annem ve babama, hep örnek aldığım bilgi ve tecrübeleri ile yolumu aydınlatan ablam Öğr. Gör. Ayşenur ŞAKALAK' a ve her zaman yanımda olup bana moral veren canım kardeşim Serra ŞAKALAK' a sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Elifnur ŞAKALAK
KONYA-2021

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
3. TARİHİ YAPILAR	9
3.1. Tarihi Yapılarda Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri	9
3.1.1. Doğal taş	9
3.1.2. Harç	10
3.1.3. Tuğla	11
3.1.4. Ahşap	11
3.1.5. Kâgir malzeme	12
3.1.6. Kerpiç	12
3.2. Tarihi Yapıyı Oluşturan Taşıyıcı Sistemler	12
3.2.1. Kemerler	12
3.2.2. Tonozlar	14
3.2.3. Kubbeler	15
3.2.4. Sütunlar ve ayaklar	17
3.2.5. Duvarlar	18
3.2.6. Temeller	19
3.2.7. Döşemeler	20
3.3. Kiliseler	21
3.3.1. Kilisenin bölümleri	21
3.3.2. Kiliselerde plan tipleri	23
4. TARİHİ YAPILARDA GÖRÜLEN HASAR TÜRLERİ	27
4.1. Zeminden Kaynaklanan Hasarlar	27
4.2. Taşıyıcı Duvarlarda Oluşan Hasarlar	28
4.3. Kubbelerde Oluşan Hasarlar	29
4.4. Kemerlerde ve Tonozlarda Oluşan Hasarlar	30
4.5. Kötü İşçilikten Kaynaklanan Hasarlar	31
4.6. İnsanların Neden Olduğu Hasarlar	32
4.7. Hava Kirliliği	32

5. TARİHİ YAPILARDA KULLANILAN ONARIM VE GÜÇLENDİRME YÖNTEMLERİ.....	33
5.1. Taşıyıcı Sistemlerin Onarılması ve Güçlendirilmesi	35
5.1.1. Temellerin güçlendirilmesi	35
5.1.2. Duvarların güçlendirilmesi	36
5.1.3. Kubbelerin güçlendirilmesi.....	38
5.1.4. Tonozların ve kemerlerin güçlendirilmesi	38
5.1.5. Sütunların ve minarelerin güçlendirilmesi.....	40
5.1.6. Döşemelerin güçlendirilmesi	41
6. TARİHİ YAPILARIN DEPREM DAVRANIŞINI BELİRLEMEK İÇİN SAYISAL ANALİZ YÖNTEMLERİ.....	43
6.1. Sayısal Modelleme	43
7. ULUSLARARASI DEPREM YÖNETMELİKLERİ	46
7.1. Avrupa Deprem Yönetmeliği	46
7.2. Türkiye Deprem Yönetmeliği	47
7.3. Amerika Deprem Yönetmeliği	48
7.4. Hindistan Deprem Yönetmeliği	48
7.5. Yeni Zelanda Deprem Yönetmeliği	49
7.6. İtalya Deprem Yönetmeliği.....	49
8. ŞEYH SADREDDİN KONEVİ CAMİ VE TÜRBEŞİ.....	50
8.1. Yapının Tarihçesi ve Taşıyıcı Sistemi	50
8.2. Şeyh Sadreddin Konevi Cami’ nin Modellenmesi.....	58
8.3. TBDY 2018’ e Göre Yapısal Analiz İçin Oluşturulan Modellemelerde Kullanılan Parametreler	62
8.3.1. Sap 2000 modellerinin tanımlamaları.....	63
8.3.2. Taşıyıcı duvarların mekanik özellikleri	66
8.3.2.1. Taşıyıcı duvarların karakteristik basınç dayanımı (f_k) hesabı.....	67
8.3.2.2. Taşıyıcı duvarların kesme dayanımı (f_{vk}) hesabı.....	68
8.3.3. TBDY 2018’ e göre nihai sınır durumları (Taşıma Gücü Yöntemi)	68
8.3.4. Ölü yükler altında yapının analizi.....	73
8.3.5. Modal çözümleme.....	76
8.3.6. G+EX ve G+EY deprem yüklemeleri.....	80
8.4. Eurocode-8 Deprem Yönetmeliğine Göre Yapısal Analiz İçin Oluşturulan Modellemelerde Kullanılan Parametreler	84
8.4.1. Sap 2000 modellerinin tanımlamaları.....	85
8.4.2. Taşıyıcı duvarların mekanik özellikleri	88
8.4.2.1. Taşıyıcı duvarların basınç dayanımı (f_k) hesabı.....	90
8.4.2.2. Taşıyıcı duvarların kesme dayanımı (f_{vk}) hesabı.....	91
8.4.3. EUROCODE 6’ ya göre nihai sınır durumları.....	92
8.4.4. Ölü yükler altında yapının analizi.....	95
8.4.5. Modal çözümleme.....	98
8.4.6. G+EX ve G+EY deprem yüklemeleri.....	101

8.5. IS 1893:2016 Deprem Yönetmeliğine Göre Yapısal Analiz İçin Oluşturulan Modellemelerde Kullanılan Parametreler	105
8.5.1. Sap 2000 modellerinin tanımlamaları.....	106
8.5.2. Taşıyıcı duvarların mekanik özellikleri	110
8.5.2.1. Duvar Basınç Dayanımı (f_m)	110
8.5.3. IS 1905:1987' e göre nihai sınır durumları.....	111
8.5.4. Ölü yükler altında yapının analizi.....	114
8.5.5. Modal çözümleme.....	116
8.5.6. G+EX ve G+EY deprem yüklemeleri.....	120
9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	125
9.1. Sonuçlar.....	125
9.2. Öneriler	138
KAYNAKLAR	140
ÖZGEÇMİŞ	146

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A:	Duvar yatay en kesit alanı
a_g :	Yer ivmesi
A_h :	Yatay sismik tasarım katsayısı
d:	Binanın zemine oturduğu taban genişliği
D:	Dayanım Fazlalığı Katsayısı
e:	%5'lik ek dışmerkezlilik
E:	Elastisite modülü
E_{duv} :	Duvar elastisite modülü
E_m :	Elastisite modülü
F_1 :	1.0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayısı
F_s :	Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı
f_b :	Malzemelerinin birim basınç dayanımı (MPa)
f_b :	Malzeme temel basınç dayanımı (MPa)
f_c :	İzin verilen basınç dayanımı (MPa)
f_d :	Yığma duvar tasarım basınç dayanımı (MPa)
f_k :	Yığma duvar karakteristik basınç dayanımı (MPa)
f_m :	Harcın ortalama basınç dayanımı (MPa)
f_m :	Duvar basınç dayanımı (MPa)
f_{mo} :	Harç basınç dayanımı (MPa)
f_s :	İzin verilen kesme dayanımı
f_{vd} :	Duvar üzerindeki ortalama düşey gerilmeleri kullanarak elde edilen duvar tasarım kesme dayanımı
f_{vdo} :	Eksenel gerilmenin bulunmadığı durumdaki karakteristik kesme dayanımının; γ_m yığma malzeme katsayısına bölünmüş değeri
f_{vk} :	Duvar üzerindeki ortalama düşey gerilmeleri kullanarak elde edilen duvar karakteristik kesme dayanımı
f_{vko} :	Eksenel gerilmenin bulunmadığı durumdaki karakteristik kesme dayanımı
g:	Yerçekimi ivmesi ($g = 9.81 \text{ m/s}^2$)
G:	Sabit yük etkisi
G:	Kayma modülü
G_{duv} :	Duvar kayma modülü
h:	Dolu duvar parçasının her iki yanındaki boşlukların yüksekliğinin en küçük olanıdır
h:	Bina yüksekliği
h_{ef} :	Duvarın etkin yüksekliği
I:	Bina Önem Katsayısı
k_a :	Alan faktörü
k_p :	Şekil değiştirme faktörü
k_s :	Gerilme azaltma faktörü
l:	Duvar kesit uzunluğu
l_c :	Duvarın basınca çalışan kısmının boyu
M_{Ed} :	Yük katsayıları ile çarpılmış düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanan eğilme momenti
N_{Ed} :	Yük katsayıları ile çarpılmış düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanan eksenel kuvvet
N_{Rd} :	γ_m malzeme katsayısı kullanılarak hesaplanan eksenel kuvvet kapasitesi

R:	Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
$R_a(T)$:	Deprem yükü azaltma katsayısı
S:	Toprak faktörü
S_a/g :	Tasarım ivme katsayısı
$S_{ae}(T)$:	Yatay elastik tasarım spektral ivmesi (g)
S_1 :	1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı (boyutsuz)
S_s :	Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı (boyutsuz)
t :	Duvar kalınlığı
T:	Doğal titreşim periyodu (s)
T_a :	Yaklaşık temel doğal periyodu
T_b :	Spektrum periyodu
T_B :	Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu (s)
T_c :	Spektrum periyodu
T_d :	Spektrum periyodu
t_{ef} :	Duvarın etkin kalınlığı
T_L :	Yatay elastik tasarım spektrumunda sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu (s)
$T_{pA}^{(X)}$:	Doğal titreşim periyodu (s)
V_B :	Depremden gelen kuvvet
V_{Ed} :	Yük katsayıları ile çarpılmış düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanan duvar kesme kuvveti
V_{Rd} :	Duvar tasarım kesme kuvveti dayanımı
V_{Rd1} :	Düşey donatı içeren ancak kesme kuvveti donatısının katkısının ihmal edildiği donatılı yığma duvarların kesme kuvveti dayanımı
z:	Sismik bölge faktörü
W:	Duvar ağırlığı
q:	Davranış faktörü
α :	Kargir birim delik oranı
β :	Alt sınır faktörü
γ_m :	Yığma malzeme dayanım azaltma katsayısı
λ :	Narinlik ile ilgili kapasite azaltma katsayısı
σ :	Duvar düşey gerilmesi
σ_d :	Yük katsayıları ile çarpılmış düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanan düşey basınç gerilmesi
μ :	Sürtünme katsayısı

Kısaltmalar

ABYYHY:	Afet Bölgelerinde Yapılan Yapılar Hakkında Yönetmelik
AFAD:	Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
BKS:	Bina Kullanım Sınıfı
BYS:	Bina Yükseklik Sınıfı
DBYBHY:	Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
DD-2:	50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
DGT:	Dayanıma Göre Tasarım
DTS:	Deprem Tasarım Sınıfı
EN:	Avrupa Normu
IS:	India Standard
TBDY:	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3. 1. Kemer örneği.....	13
Şekil 3. 2. Segovia-İtalya (128 gözlü su kemeri) (Aşık, 2018)	13
Şekil 3. 3. Tonoç çeşitleri (Şişik, 2017)	15
Şekil 3. 4. Kubbelerde yük taşıma mekanizması.....	16
Şekil 3. 5. Kubbe örnekleri (Şişik, 2017)	17
Şekil 3. 6. Sütun ve ayak örnekleri ((a)Afrodisyas-Aydın-Türkiye – (b) Kolezyum- Roma-İtalya)(Türker, 2010).....	18
Şekil 3. 7. Kabuk duvar detayı (Tetik, 2015)	19
Şekil 3. 8. Antik Klaros tapınak alanındaki Apollon Klaros Tapınağı temeli (Türker, 2010).....	20
Şekil 3. 9. Kilisede apsis bölümü (Anonim, 2020a).....	21
Şekil 3. 10. Kilisede narteks bölümü (Anonim, 2020a)	22
Şekil 3. 11. Kilisede atrium bölümü (Anonim, 2020a)	23
Şekil 3. 12. Kilisenin mimari bölümleri	23
Şekil 3. 13. Bazilika plan tipi (Anonim, 2020b).....	24
Şekil 3. 14. Merkez plan tipi (Anonim, 2020b).....	25
Şekil 3. 15. Akdamar Kilisesi plan tipi (Anonim, 2020b).....	26
Şekil 4. 1. Tuğla duvarda göçme biçimleri (Aköz, 2008)	28
Şekil 4. 2. Taşıyıcı duvarlarda düşey ve yatay yüklerden kaynaklanan çatlak tipleri	29
Şekil 4. 3. Kubbede oluşan kuvvetler (Aköz, 2008).....	30
Şekil 4. 4. Kagir kemerlerde yük aktarma diyagramı.....	31
Şekil 4. 5. Atmosferin etkisiyle taşlarda oluşan bozulma örnekleri	32
Şekil 5. 1. Taş yığma yapılarda duvarlardaki düşey çatlakların onarımı(Kara, 2009) ...	36
Şekil 5. 2. Duvarlardaki düşey çatlakların dikişi(Kara, 2009)	37
Şekil 5. 3. Kubbede oluşturulan çekme çemberi ve detayı (Şişik, 2017)	38
Şekil 5. 4. Kemerin gergi ile güçlendirilmesi.....	39
Şekil 5. 5. İstanbul II. Beyazıt Camii kemerinde Mimar Sinan tarafından yapılan güçlendirme (Şişik, 2017).....	39
Şekil 5. 6. Sütunlarda çatlak onarımı.....	40
Şekil 5. 7. Çemberlenmiş sütun örneği (Şişik, 2017)	41
Şekil 5. 8. Çelik çaprazlar ile döşemenin rijitleştirilmesi (Kara, 2009)	42
Şekil 5. 9. Mevcut ahşap döşemenin üzerine uygulanan ikinci ahşap katman (Kara, 2009)	42
Şekil 8. 1. Şeyh Sadreddin Konevi Cami	50
Şekil 8. 2. Şeyh Sadreddin Konevi Cami inşa kitabesi	51
Şekil 8. 3. Şeyh Sadreddin Konevi Cami onarım kitabesi.....	51
Şekil 8. 4. Şeyh Sadreddin Konevi Cami sütun (türbe).....	52
Şekil 8. 5. Şeyh Sadreddin Konevi Cami kemer (harim)	53
Şekil 8. 6. Şeyh Sadreddin Konevi Cami kemer (kütüphane)	53
Şekil 8. 7. Şeyh Sadreddin Konevi Cami harim	54
Şekil 8. 8. Şeyh Sadreddin Konevi Cami harim (3. sahn).....	54
Şekil 8. 9. Şeyh Sadreddin Konevi Cami harim (mezar).....	55
Şekil 8. 10. Şeyh Sadreddin Konevi Cami kütüphane (Vakıflar Genel Müdürlüğü)	55
Şekil 8. 11. Şeyh Sadreddin Konevi Cami kütüphane salonu	56
Şekil 8. 12. Şeyh Sadreddin Konevi Cami kadınlar bölümü zemin kat	56
Şekil 8. 13. Şeyh Sadreddin Konevi kadınlar bölümü 1. Kat.....	57
Şekil 8. 14. Şeyh Sadreddin Konevi Türbesi.....	57
Şekil 8. 15. Şeyh Sadreddin Konevi Cami minare	58

Şekil 8. 16. Şeyh Sadreddin Konevi Cami doğu cephesi tuğla duvar	59
Şekil 8. 17. Şeyh Sadreddin Konevi Cami alt kat planı	60
Şekil 8. 18. Şeyh Sadreddin Konevi Cami üst kat planı	60
Şekil 8. 19. Şeyh Sadreddin Konevi Cami üç boyutlu modellemesinin önden görünüşü	61
Şekil 8. 20. Şeyh Sadreddin Konevi Cami üç boyutlu modellemesinin yandan görünüşü	61
Şekil 8. 21. Şeyh Sadreddin Konevi Cami Türbesi külah kısmı	62
Şekil 8. 22. Tuğla malzemesinin özellikleri (TBDY 2018 için).....	63
Şekil 8. 23. Taş malzemesinin özellikleri (TBDY 2018 için)	64
Şekil 8. 24. Yapı ile ilgili deprem parametreleri (TBDY 2018 için).....	64
Şekil 8. 25. Yapıda tanımlı EX response spectrum (TBDY 2018 için).....	65
Şekil 8. 26. Yapıda tanımlı EY response spectrum (TBDY 2018 için).....	65
Şekil 8. 27. Yapıya etkiyen yük kombinasyonları (TBDY 2018 için)	66
Şekil 8. 28. Hesaplamaları yapılacak 1. kat duvarlar	69
Şekil 8. 29. Hesaplamaları yapılacak 2. kat duvarlar	69
Şekil 8. 30. TBDY 2018' e göre G yüklemesi F11 grafiği.....	74
Şekil 8. 31. TBDY 2018' e göre G yüklemesi F22 grafiği.....	74
Şekil 8. 32. TBDY 2018' e göre G yüklemesi F12 grafiği.....	75
Şekil 8. 33. TBDY 2018' e göre G yüklemesi altında oluşan maksimum yer değiştirme (mm).....	76
Şekil 8. 34. TBDY 2018' e göre Şeyh Sadreddin Caminin ilk 6 moda ait deformasyon hareketleri	79
Şekil 8. 35. TBDY 2018' e göre Şeyh Sadreddin Konevi Caminin G+EX ve G+EY deprem yüklemeleri altındaki yer değiştirmeleri (mm)	80
Şekil 8. 36. TBDY 2018' e göre G+EX yüklemesi F11 gerilme dağılımı	81
Şekil 8. 37. TBDY 2018' e göre G+EY yüklemesi F11 gerilme dağılımı	81
Şekil 8. 38. TBDY 2018' e göre G+EX yüklemesi F22 gerilme dağılımı	82
Şekil 8. 39. TBDY 2018' e göre G+EY yüklemesi F22 gerilme dağılımı	82
Şekil 8. 40. TBDY 2018' e göre G+EX yüklemesi F12 gerilme dağılımı	83
Şekil 8. 41. TBDY 2018' e göre G+EY yüklemesi F12 gerilme dağılımı	83
Şekil 8. 42. Taş malzemesinin özellikleri (EN 1998 için).....	85
Şekil 8. 43. Tuğla malzemesinin özellikleri (EN 1998 için)	86
Şekil 8. 44. Yapı ile ilgili deprem parametreleri (EN 1998 için)	86
Şekil 8. 45. Yapıda tanımlı EX response spectrum (EN 1998 için)	87
Şekil 8. 46. Yapıda tanımlı EY response spectrum (EN 1998 için)	87
Şekil 8. 47. Yapıya etkiyen yük kombinasyonları (EN 1998 için).....	88
Şekil 8. 48. EN 1998' e göre G yüklemesi F11 grafiği	95
Şekil 8. 49. EN 1998' e göre G yüklemesi F22 grafiği	96
Şekil 8. 50. EN 1998' e göre G yüklemesi F12 grafiği	96
Şekil 8. 51. EN 1998' e göre G yüklemesi altında oluşan maksimum yer değiştirme (mm).....	97
Şekil 8. 52. EN 1998' e göre Şeyh Sadreddin Caminin ilk 6 moda ait deformasyon hareketleri	100
Şekil 8. 53. EN 1998' e göre Şeyh Sadreddin Konevi Caminin G+EX ve G+EY deprem yüklemeleri altındaki yer değiştirmeleri (mm)	101
Şekil 8. 54. EN 1998' e göre G+EX yüklemesi F11 gerilme dağılımı.....	102
Şekil 8. 55. EN 1998' e göre G+EX yüklemesi F22 gerilme dağılımı.....	102
Şekil 8. 56. EN 1998' e göre G+EX yüklemesi F12 gerilme dağılımı.....	103
Şekil 8. 57. EN 1998' e göre G+EY yüklemesi F11 gerilme dağılımı.....	104

Şekil 8. 58. EN 1998' e göre G+EY yüklemesi F22 gerilme dağılımı.....	104
Şekil 8. 59. EN 1998' e göre G+EY yüklemesi F12 gerilme dağılımı.....	105
Şekil 8. 60. Taş malzemesinin özellikleri (IS 1893:2016 için)	107
Şekil 8. 61. Tuğla malzemesinin özellikleri (IS 1893:2016 için).....	107
Şekil 8. 62. Yapı ile ilgili deprem parametreleri (IS 1893:2016 için).....	108
Şekil 8. 63. Yapıda tanımlı EX response spectrum (IS 1893:2016 için).....	108
Şekil 8. 64. Yapıda tanımlı EY response spectrum (IS 1893:2016 için).....	109
Şekil 8. 65. Yapıya etkileyen yük kombinasyonları (IS 1893:2016 için)	109
Şekil 8. 66. IS 1893:2016' ya göre G yüklemesi S11 grafiği	114
Şekil 8. 67. IS 1893:2016' ya göre G yüklemesi S22 grafiği	115
Şekil 8. 68. IS 1893:2016' ya göre G yüklemesi S12 grafiği	115
Şekil 8. 69. IS 1893:2006' ya göre G yüklemesi altında oluşan maksimum yer değiştirme (mm).....	116
Şekil 8. 70. IS 1893:2016' ya göre Şeyh Sadreddin Caminin ilk 6 moda ait deformasyon hareketleri	119
Şekil 8. 71. IS 1893:2016' ya göre Şeyh Sadreddin Konevi Caminin G+EX ve G+EY deprem yüklemeleri altındaki yer değiştirmeleri (mm)	120
Şekil 8. 72. IS 1893:2016' ya göre G+EX yüklemesi S11 gerilme dağılımı	121
Şekil 8. 73. IS 1893:2016' ya göre G+EX yüklemesi S22 gerilme dağılım.....	121
Şekil 8. 74. IS 1893:2016' ya göre G+EX yüklemesi S12 gerilme dağılımı	122
Şekil 8. 75. IS 1893:2016' ya göre G+EY yüklemesi S11 gerilme dağılımı	123
Şekil 8. 76. IS 1893:2016' ya göre G+EY yüklemesi S22 gerilme dağılımı	123
Şekil 8. 77. IS 1893:2016' ya göre G+EY yüklemesi S12 gerilme dağılımı	124
Şekil 9. 1. Yönetmeliklere göre depremden gelen kuvvet değerleri (kgf)	133
Şekil 9. 2. F11 max çekme kuvveti değerleri (N).....	134
Şekil 9. 3. F11 max basınç kuvveti değerleri (N).....	134
Şekil 9. 4. F22 max çekme kuvveti değerleri (N).....	135
Şekil 9. 5. F22 max basınç kuvveti değerleri (N).....	135
Şekil 9. 6. F12 max kesme kuvveti değerleri (N).....	136

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 7. 1. EN 1998 deprem yönetmeliğinin bölümleri (Çelikağ, 2018).....	46
Çizelge 8. 1. Harita spektral ivme katsayıları, yerel zemin etki katsayıları ve periyot ..	63
Çizelge 8. 2. TBDY 2018' e göre kagir birimlerin delik oranlarına göre gruplandırılması	66
Çizelge 8. 3. TBDY 2018' e göre yığma taşıyıcı duvarların karakteristik basınç dayanımı (Fk).....	67
Çizelge 8. 4. TBDY 2018' e göre duvarların başlangıç kesme dayanımları	68
Çizelge 8. 5. TBDY 2018' e göre İlk 90 modun serbest titreşim periyotları ve kütle katılım oranları.....	77
Çizelge 8. 6. EN 1998-1' e göre analiz için programa tanımlanacak parametreler.....	85
Çizelge 8. 7. EN 1996-1' e göre yığma birimlerin gruplandırılması için geometrik gereksinimler	89
Çizelge 8. 8. EN 1996-1' e göre genel amaçlı, ince tabakalı ve hafif harçlarla kullanım için K değerleri	90
Çizelge 8. 9. EN 1996-1' e göre duvarların başlangıç kesme dayanımları	91
Çizelge 8. 10. EN 1998' e göre İlk 90 modun serbest titreşim periyotları ve kütle katılım oranları	98
Çizelge 8. 11. IS 1893:2016' ya analiz için programa tanımlanacak parametreler.....	106
Çizelge 8. 12. Duvar harçlarının karışım oranları ve mukavemetleri	110
Çizelge 8. 13. f_b malzeme temel basınç dayanımı	111
Çizelge 8. 14. IS 1893:2016' ya göre İlk 60 modun serbest titreşim periyotları ve kütle katılım oranları.....	117
Çizelge 9. 1. TBDY 2018' e göre duvarların düzlem içi durumları ve tasarım kesme kuvveti dayanımları	126
Çizelge 9. 2. TBDY 2018' e göre duvarların düşey yük tasarım dayanımları.....	126
Çizelge 9. 3. EN 1998 - EN 1996' ya göre duvarların düzlem içi durumları ve tasarım kesme kuvveti dayanımları	128
Çizelge 9. 4. EN 1996' ya göre duvarların düşey yük tasarım dayanımları.....	128
Çizelge 9. 5. IS 1905:1987 yönetmeliğine göre izin verilen basınç ve kesme gerilmesi dayanımları	129
Çizelge 9. 6. Yönetmeliklere göre hesaplanan basınç kuvveti dayanımları	130
Çizelge 9. 7. Yönetmeliklere göre hesaplanan kesme kuvveti dayanımları	130
Çizelge 9. 8. TBDY 2018, EN 1998 ve IS 1893:2016 için kütle katılım oranları.....	132
Çizelge 9. 9. TBDY 2018, EN 1998 ve IS 1893:2016 yönetmeliklerine göre kütle katılım oranları ile etkin kütlelerin toplamının bina toplam kütlelerine oranı (%)	132

1. GİRİŞ

Geçmişten günümüze kadar varlığını sürdüren tarihi yapıların korunup nesilden nesile aktarılabilmesi; insanoğlunun eğitimi, bilgisi ve yapılarda uygulanan düzenli bakımla mümkündür. Tarihi yapılar zamanla doğal ve yapay nedenlerden dolayı hasara uğramışlardır. Ancak inşa edildikleri döneme ait olan ustalıklar sayesinde günümüze kadar ulaşmayı başarmışlardır.

Tarihi yapıların mevcut durumlarının incelenerek hasar tespitleri yapılmalıdır. İncelemeler sonucu yapılan hasar tespitlerine en uygun olan onarım ve güçlendirme tekniklerinin seçilmesi gerekir. Yapılan incelemeler ile elde edilen hasar tespitleri için belirlenen en uygun onarım ve güçlendirme tekniklerinin zamanında uygulanması büyük önem arz etmektedir.

Ülkemizde değerli kültürel varlıklarımız için ayrı bir deprem yönetmeliği bulunmamaktadır. Deprem yönetmeliğimizde de tarihi yapılarımız için ayrı bir bölüm mevcut değildir. Tarihi yapılarımız yığma bina türünde olmasından dolayı yapılan hesaplar, TBDY 2018' in "Deprem Etkisi Altında Yığma Bina Taşıyıcı Sistemlerinin Tasarımı İçin Özel Kurallar" bölümüne göre yapılmaktadır.

Bu çalışmada ülkemizde yürürlükte olan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018), Avrupa Deprem Yönetmeliği (Eurocode 8) ve Hindistan Deprem Yönetmeliğinin (IS 1893:2016) tarihi yapılar açısından kıyaslanması yapılmıştır. Eurocode 8' in seçilmesinin sebebi Avrupa ve diğer ülkelerin birçoğunda bu yönetmeliğin kullanılmasıdır. Bu yönetmelikte taşıma gücüne göre hesaplamalar ve kontroller yapılmaktadır. Hindistan yönetmeliğinin seçilmesinin sebebi ise gerilme sonuçlarına göre kontrollerin yapılıyor olmasıdır. Böylece incelenen bu üç yönetmelikte gerilme ve taşıma gücüne göre hesapların nasıl yapıldığı ve karşılaştırmaların nasıl olduğu incelenmiştir. Her bir yönetmelik için yapılan hesaplamalar ile uyulması gereken kurallar karşılaştırılmıştır. Deprem yönetmelikleri arasında ne gibi benzerlikler ile farklılıklar olduğu tespit edilmiştir.

Yapılan tez çalışmasında tarihi yapılar ile ilgili genel bilgiler verilmiştir. Tarihi yapılarda kullanılan malzemeler ve tarihi yapıların taşıyıcı sistemleri, kiliselerin mimari yapısı, tarihi yapılarda meydana gelen hasar türleri ile uygulanan onarım-güçlendirme yöntemleri ve deprem davranışını belirlemek için kullanılan analiz yöntemlerinden bahsedilmiştir. Uluslararası deprem yönetmelikleri hakkında genel bilgi verilmiştir.

Çalışmada incelenen Şeyh Sadreddin Konevi Caminin tarihçesi, yapıyı oluşturan taşıyıcı sistemi ve özellikleri anlatılmıştır. Yapılan hesap ve analizlerde SAP2000 V20.2.0 programı kullanılmıştır. TBDY 2018, Eurocode 8 ve IS 1893:2016 yönetmeliklerine göre yapılan analizler neticesinde depreme dayanıklı tasarım kuralları ve hesap yöntemlerinin karşılaştırılması yapılmıştır.

Tez müracaat formunda tarihi bir Aziz Pavlus Kilisesinin çözümünün yapılmasının hedeflendiği belirtilmiştir. Fakat kilise yönetiminin binada inceleme yapmamıza müsaade etmemesinden dolayı bu yapı ile ilgili hesaplamalar yapılamamıştır. Ayrıca müracaat formunda tarihi cami olarak Hacı Hasan Camisinin inceleneceği belirtilmiştir. Fakat biz tez çalışmasına başladığımız zaman tarihi cami Vakıflar Genel Müdürlüğü tarafından tadilata alınmıştır. Bundan dolayı çalışmalarda Şeyh Sadreddin Konevi Cami tercih edilmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Aköz (2008) yaptığı çalışmada tarihi yapıların onarılması ve güçlendirilmesi üzerine çalışmıştır. Çalışmasında incelediği yapının üç boyutlu modellemesini yapıp, yapı üzerinde statik ve dinamik çözümler yapmıştır. Deprem açısından yapının güvenilir olup olmadığını belirleyip varsa güçlendirme ihtiyacı ve uygulaması üzerinde durmuştur.

Kara (2009), yaptığı çalışmada tarihi yığma yapıların taşıyıcı sistemleri, kullanılan malzeme tipleri, deprem güvenliğinin irdelenmesi, tarihi yapıların onarımı ve güçlendirilmesi konularını ele almıştır. Bu konular hakkında yapılan uygulamalar üzerinden örnekler vererek güncel olarak uygulanabilecek onarım ve güçlendirme yöntemleri ile ilgili çalışma yapmıştır.

Sayın (2009), doktora tez çalışmasında yığma duvarların lineer olmayan statik ve dinamik analizlerini yapmıştır. Duvar malzemesi için yayılı çatlak modeli kullanarak bu amaçla lineer olmayan statik ve dinamik analiz yapabilen bir program yazmıştır. Programı MATLAB dilinde kodlayarak duvarı iki ve üç boyutlu olarak çizebilen bir mesh programı yazmıştır. Lineer olmayan statik analizde boşluk boyutu, malzemenin çekme dayanımı ve hatılların duvar davranışına etkisi, dinamik analizde ise farklı deprem kayıtlarının duvar davranışına etkisini incelemiştir.

Ercan (2010) ‘Tarihi Yığma Yapıların Güvenliklerinin Analitik Ve Deneysel Yöntemlerle Belirlenmesi’ adlı doktora tez çalışmasında İzmir’de bulunan iki yapı üzerinde, tarihi yapıların güvenliklerinin belirlenmesi için kullanılan analitik ve deneysel metodların uygulamasını yapmıştır. Deneysel ve analitik yöntemlerle bulunan dinamik değerler karşılaştırılmıştır. İki yapının da statik, dinamik, spektrum ve zaman tanım alanındaki analizleri yapılarak, taşıyıcı sistemlerinde meydana gelebilecek deformasyonlar ve gerilmeler teorik olarak elde edilmiştir.

Türker (2010), tarihi yapılarda strüktürel davranışın tespit edilmesinde kullanılan yığma yapı elemanları ile ilgili bilgi vermiştir. Ortaya çıkan hasarların neden olduğu konusu üzerinde durmuştur. Çalışmasında İstanbul Üniversitesi Eczacılık Fakültesi binasını incelemiştir. Binanın deprem analizini yapmıştır. Bunun için Excel tabanlı bir program kurmuştur.

Can ve Ünay (2012), ‘Tarihi Yapıların Deprem Davranışını Belirlemek İçin Sayısal Analiz Yöntemleri’ adlı yapmış oldukları çalışmada yapılar üzerinde uygulanan sayısal modellerin ve yapılan hesapların diğer meslek gruplarının da kolaylıkla

anlayabilmesini hedeflemişlerdir. Yapının taşıyıcı sisteminin mevcut durumunun incelenmesini, var olan çatlakları, malzemelerde oluşan deformasyonlar ile mesnetteki çökmelerin belirlenmesi gerektiğini vurgulamışlardır. Ayrıca tarihi yapıların ve anıtların korunması için konu ile ilgili birimlerin ortak çalışma yapması gerektiğini savunmuşlardır.

Chamaky (2014), tarihi yapıların deprem açısından analizi ve güçlendirme için uygun yöntemlerin neler olduğu hakkında çalışmıştır. Sonlu elemanlar yöntemini kullanarak İstanbul'da bulunan tarihi Çinili Karakolu, Fatih İlköğretim Okulu ve Sirkeci Kredi Han binalarının modellerini oluşturmuştur ve doğrusal yöntemlerle analiz yapmıştır.

Çal (2015), yaptığı çalışmada Ortaköy Büyük Mecidiye Camii'nin üç boyutlu sonlu elemanlar modelinde statik ve dinamik analizler yapmıştır. Deprem kaynaklı kuvvetli yer hareketi olarak bölgenin zemin yapısına uygun sismik kayıtları uygulamıştır. Analiz sonrasında yapının en fazla zorlanan kesit ve bölgelerini tespit edip bu bölgeler ile ilgili değerlendirmeler yapmıştır.

Kuran (2015), Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde (2018) yığma bina tasarımı ve deprem güvenliğinin değerlendirmesi üzerine çalışma yapmıştır. Çalışmasında Amerika Birleşik Devletleri, Avrupa Birliği, İtalya ve Yeni Zelanda gibi deprem tehlikesi yüksek, gelişmiş ülkelerdeki yönetmelikleri karşılaştırıp, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde (2018) yığma binaların tasarımı ve deprem güvenliğinin değerlendirilmesi ile ilgili önerilerde bulunmuştur.

Tetik (2015), çalışmasında İstanbul Tarihi Yarımada'da bulunan Şeyh Süleyman Mescidinin sonlu eleman modelini oluşturulmuştur. Yapının kendi ağırlığı, düşey yükler ve deprem yükleri altındaki mevcut durumunu incelemiştir. Depremlili durumda statik, dinamik, zaman tanım alanındaki yük analizleri yapmıştır. Yapının zayıf kesitlerini tespit ederek güçlendirme önerisinde bulunmuştur ve bu önerilerin yapı performansına etkisini belirlemiştir.

Mangia ve ark. (2016), yaptıkları çalışmada Türkiye Tunceli' de bulunan Elti Hatun Caminin sismik performansını doğrusal olmayan statik analiz ile araştırmışlardır. Yapının üç boyutlu sonlu eleman modelini, Diana FE yazılım paketini (2015) kullanarak gerçek boyutlarının yerinde ölçülmesi ile oluşturmuşlardır. Yapının doğrusal olmayan davranışını araştırmak için enine, boyuna ve dikey yönlerde itme analizi yapmışlardır. Makro modelleme stratejisi ile duvar elemanlarını modellemişlerdir.

Çalışmalarında yapının güvenlik seviyesinin mevcut durumunda kabul edilebilir olduğu sonucuna varmışlardır.

Uğuz (2016), yaptığı yüksek lisans tez çalışmasında Tarihi Konya Gazi Lisesi'nin mevcut durumuna göre deprem güvenliği analizini yapmıştır. DBYBHY-2007'ye göre yapının tasarım ve yapım kuralları inceleyerek ETABS programında Tarihi Konya Gazi Lisesi'nin yapısal analizini yapmıştır. Sonlu elemanlar analiz sonuçlarının yorumlanabilmesi için deplasman, moment, kesme kuvveti ve eksenel kuvvetleri gösteren grafiklerden faydalanmıştır. Sonuç olarak, binanın statik durumunda en çok zorlanan bölümlerinin pencere ve kapı boşluklarının kenarları olduğu tespit etmiştir. DBYBHY- 2007' ye göre yapının taşıyıcı duvarlarının uzunlukları, kat yükseklikleri ve boşluk oranlarının yönetmelikte verilen şartları sağlamadığı sonucuna ulaşmıştır.

Araújo ve ark. (2017) çalışmalarında Yeni Zelanda'nın Christchurch şehrindeki St James Kilisesi'nin 2011 depreminden ve sonrasında artçı sarsıntılardan etkilenmesiyle sismik değerlendirmesini yapmışlardır. Depremden sonra yapısal davranışını anlamak için kilisede dinamik tanımlama testleri uygulamışlardır. Kilisenin sismik değerlendirmesini sonlu eleman modelleme tekniğini kullanarak yapmışlardır. Yaptıkları analiz sonucunda yapının artık güvenli olmadığını kanıtlayıp bunu için bir takviye stratejisi önerilmiş ve analiz etmişlerdir.

Clementi ve ark. (2017), İtalya'da Ascoli Piceno şehrinde Santa Maria Della Carità kilisesinde bulunan kuzeye uzun önemli ekin ve bu tip asimetric kütlelerin tarihi kiliselerin davranışını nasıl etkileyebileceği konusunda çalışmışlardır. Var olan ekin kilisenin dinamik tepkisinde büyük bir önemi olduğunu ve hasarın bina boyunca dağılımını etkilediği sonucuna varmışlardır.

Döndüren ve ark. (2017), yaptıkları çalışmada tarihi yapılarda görülen hasar türlerini ayrıntılı bir biçimde ele almışlardır. Tarihi yapıların sadece temizleme ve onarma çalışmaları dışında aslına sadık kalarak, statik problemlerin çözülmesi ve yeni yöntemlerin geliştirilmesini gerektiği sonucuna varmışlardır.

Şişik (2017), yaptığı çalışmada tarihi yapılarda taşıyıcı sistem elemanları ve kullanılan malzemeler hakkında bilgi vererek, yığma yapılarda kullanılan modelleme yöntemlerinden bahsetmiştir. Ayrıca Edirne'de bulunan ve 15.YY. ile 16. YY'da inşa edilmiş 4 adet cami ve 2 adet türbe yapılarının statik analizlerini yapılarak güçlendirme önerileri sunmuştur. Yapılar SAP 2000 programında sonlu elemanlar modeli ile modellenmiştir. Çeşitli yükler altında meydana gelen gerilmeler ve bu gerilmelere bağlı

oluşan deformasyonları belirlemiştir. Hesaplanan deformasyon ve gerilmelerin emniyet gerilmelerini aşıp aşmadığını irdelemiştir.

Çavdar ve Yolcu (2018), yapmış oldukları çalışmalarında planda ve düşeyde düzensizlik durumları içeren mevcut bir okul binasını TBDY (2018)'e göre düzensizlikler açısından değerlendirmişlerdir. TBDY (2018) ile yapılan hesaplarda, özellikle binanın bulunduğu koordinatlara göre verilerin kullanılabilmesinin önemli bir iyileşme sağladığını ancak yeni yönetmelikteki bazı değişikliklerin daha karmaşık hesap yöntemlerini gerektirdiği sonuçlarına varmışlardır.

Keskin ve Bozdoğan (2018), çalışmalarında 2007 Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY)'i ve 18 Mart 2018'de yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY)'ni Kırklareli ili için incelemiştir. TBDY (2018) kullanarak Kırklareli merkezinde bulunan iki farklı zemin sınıfı için Yatay Elastik Tasarım Spektrumlarını elde etmiş ve bu spektrumları 2007 yönetmeliğinde yer alan Elastik Tasarım Spektrumları ile karşılaştırmışlardır. Ayrıca farklı zemin sınıflarında Kırklareli ili için 4 katlı bir binanın deprem analizini 2007 ve 2018 deprem yönetmeliklerine göre ETAPS programını kullanarak hesaplayıp sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Yapılan karşılaştırmalar sonucunda özellikle Z4 ve ZE zemin sınıfları dikkate alındığında kuvvet ve yer değiştirmelerde 2018 yönetmeliğinde önemli artışlar olduğu ve yeni yönetmeliğin deprem tehlikesini daha gerçekçi olarak ortaya koyduğu sonucuna varmışlardır.

Uzun ve Korkmaz (2018), yaptıkları çalışmada Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018) ile uluslararası deprem yönetmeliklerinin Eş Değer Deprem Yüğü Metotlarını karşılaştırmışlardır. Çalışmalarında 6 katlı bir betonarme yapıyı ele almışlardır. Yapının ETABS programında üç boyutlu modelini oluşturup yapıya etki edecek taban kesme kuvvetlerini hesaplayarak karşılaştırmışlardır. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde kullanılan katsayılar ile elde edilen taban kesme kuvvetlerinin diğer ülkeler ile yaklaşık sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir. Ayrıca Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde tanımlanan katsayılar diğer yönetmeliklere göre daha hassas sonuçlar vermeye imkân tanıdığı için Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile elde edilecek sonuçların diğer deprem hesap yöntemlerine yaklaşacağı sonucuna varmışlardır.

Adhikari ve ark. (2019), yaptıkları çalışmada Bagh Durbar anıtının sonlu eleman modelleri kullanılarak yapısal analizini yapmışlardır. Yapının performansını Nepal Building Code (NBC) tarafından önerilen standart şartlara göre değerlendirmişlerdir. Yapının sonlu eleman modelinin saha gözlemleri ile yeterliliğinin karşılaştırılmasını

yapıp, Nepal'deki tipik Greco-Roman binaları için yeterli sismik güvenliği sağlamak için güçlendirme çözümlerini üretmişlerdir. Çalışmada karmaşık sayısal analizlerden ziyade mevcut kılavuzlarla uyumlu rasyonel güçlendirme çözümleri sunmuşlardır.

Alpaslan (2019), yaptığı doktora tez çalışmasında Tarihi Sarpdere Köprüsü'nün laboratuvar ortamında küçük ölçekli bir modelini oluşturmuştur. Yapının çevresel titreşimler altında dinamik parametrelerini operasyonel modal analiz yöntemini kullanarak elde etmiştir. Çalışmasında tarihi yapılarda meydana gelebilecek hasarın, yapının dinamik karakteristik özellikleri üzerinde büyük bir etkisi olduğu sonucuna varmıştır. Ayrıca hasar yerinin tespiti için tepki yüzeyi yöntemi kullanılarak sonuçların etkin bir şekilde ortaya konulabileceğine ulaşmıştır.

Casapulla ve ark. (2019), İtalya Ischia' da bulunan Santa Maria Maddalena kilisesinin 21 Ağustos 2017 depreminden sonra detaylı tarihsel araştırma, geometrik araştırma, hasar durumu analizi ve geçici güvenlik değerlendirmesini yapmışlardır. Çalışmanın gelecekteki adımlarında kilisenin dinamik davranışını daha ayrıntılı olarak incelemek ve deneysel sonuçlarla karşılaştırmalar yapmak için bir Sonlu Elemanlar Modeli geliştirilmesi gerektiğini belirlemişlerdir. Daha sonra, kütle çekimi yükleri ve sismik eylemler altında kilisenin güvenliğini kurma kararı vermişlerdir.

Nemutlu (2019), yapmış olduğu yüksek lisans tez çalışmasında 2007 ve 2018 Türk deprem yönetmeliklerinin karşılaştırmasını yapmıştır. Getirilen yenilikleri inceleyerek 3 farklı betonarme yapısını ele alarak analizler yapıp yönetmelikler arasındaki farkları hesap üzerinde göstermiştir. Ayrıca Türk yönetmelikleri ile Amerikan yönetmeliklerini teorik olarak karşılaştırmıştır. Betonarme yapı örneklerinin deprem hesapları ve analizlerini, yönetmeliklerde verilen deprem analiz yöntemlerine göre SAP2000 programından elde etmiştir. 2018 yönetmeliğinin günümüz inşaat teknolojilerine uyumlu, güncel bir yönetmelik olduğu sonucuna varmıştır.

Onescu ve ark. (2019) çalışmalarında tarihi binaları korumak amacıyla, güvenlik açığı değerlendirmesi sürecinde mimari-sanatsal, kentsel ve sosyal-kültürel bileşenleri dikkate almanın önemini vurgulamışlardır. Timisoara şehrindeki Tarihi Elit Sarayı'nın deneysel sismik güvenlik açığının incelemesini yapmışlardır ve sonuçları kültürel değeri göz önüne alarak değerlendirmişlerdir. Elit Sarayı'nın sismik savunmasızlığının kültürel değer göz önüne alındığında neredeyse %8 arttığını göstermişlerdir.

Prasad ve ark. (2019), çalışmalarında Hindistan'da Allahabad'da bulunan Khusro Türbesi'nin 3D modelde statik ve dinamik analizini yapmışlardır. Türbenin yapısal davranışını analiz etmek için Sonlu Elemanlar Analizi (FEA) kullanmışlardır.

Sahaya özgü yer hareketini, 70 km uzaklıktaki Allahabad fayı, Boore'a dayalı sonlu fay modeli kullanılarak Allahabad'daki yer hareketini simüle etmek için bölgesel bir sismolojik parametre kullanarak tahmin etmişlerdir. Yaptıkları analizlerde, yapının en yakın Allahabad fayından sentetik olarak üretilen yer hareketi nedeniyle yanal kuvvete dayanacak kadar yeterli olduğu sonucuna varmışlardır.

Rouhi ve ark. (2019), 'Yığma Kiliselerde Kemerlerin ve Tonozların Yapısal Korunması Üzerine Literatür Taraması' adlı çalışmalarında tonozlu yığma yapılarının mekanik davranışını tanımlayıp geleneksel ve yenilikçi güçlendirme müdahalelerinin etkinliğini değerlendirmeye amaçlamışlardır. Bunun için var olan farklı teorilerin ve hesaplama araçlarının literatür çalışmasını yapmışlardır.

Trad ve ark. (2019), yaptıkları çalışmada Lübnan'da bulunan eski yığma yapıların yapısal davranışlarını değerlendirmek ve sismik kırılganlıklarını değerlendirmek için deprem yükü altında tarihi bir yığma cami analiz etmişlerdir. Abaqus yazılımı kullanılarak sonlu elemanlar yöntemi ile geliştirilen sayısal bir model hazırlamışlardır. Analiz sonucunda bloklar arasındaki derzlerde oluşturulan gerilmelerin harcın nihai kesme gerilmesini aştığını bundan dolayı derzlerde çatlaklar meydana geldiğini gözlemlemişlerdir. Tarihi yapının gerçek görünümünün bozulmaması için iç veya dış post gergin tendonlar kullanan bir sismik güçlendirme çözümü önermişlerdir.

3. TARİHİ YAPILAR

Tarihi yapılar, özellikle yer aldığı bölgenin doğal malzemesinden inşa edilen, değişik işlevsel özelliklere sahip olan, yapıldıkları zamandan günümüze kadar ulaşan eserlerdir.

Tarihi yapılar; insanoğlunun günümüze kadar çeşitli nedenler ile inşa ettiği, bugün insanlık mirası olarak korumamız ve gelecek nesillere aktarmamız konusunda sorumlu olduğumuz yapılardır. Bu yapılar arasında; camiler, medreseler, kiliseler, havralar, saraylar, okullar, hastaneler, idare binaları, su yapıları, askeri kışlalar, surlar ve kuleler sayılabilir (Bayraktar, 2006).

3.1. Tarihi Yapılarda Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

3.1.1. Doğal taş

Doğal taş malzemeler insanoğlunun kullanmış olduğu, geçmişi çok eskiye dayanan malzemelerden birisidir. Bu malzemenin eski zamanlardaki yapılarda sık bir şekilde kullanılmasının sebebi, neredeyse her alanda ve her arazi şartlarında rahatlıkla bulunabilmesidir.

Doğal yapı taşları; atmosfer etkilerine karşı direnç gösterebilen, homojen özelliğe sahip, doğada bulunan mevcut taş ocaklarından çıkarılan, teknolojik özellikleri açısından yapı işlerinde elverişli olarak kullanılabilen malzemelerdir. Ocak taşı olan doğal taşlar yığma binaların inşasında kullanılabilirler. Bu tip taşlarda ayrışma, çatlama gibi deformasyonlar olmaması gerekir (Sayın, 2009).

Doğal taşlar maruz kaldıkları basınç kuvvetlerine karşı oldukça dirençli iken çekme kuvvetlerine karşı zayıf olan malzemelerdir.

Tarihi yapılarda taş malzemesi; taşıyıcı yapı elemanlarından kubbeler, sütun ve ayaklar, kemerler ve tonozlarda çekme gerilmesine maruz kalmayacak biçimde kullanılmışlardır. Basınca çalışan taşıyıcı duvarlar ile sütunlarda kullanılan malzemeler de taştır. Yapı taşlarının bazılarında basınç altında oluşan deformasyon, betonda oluşan deformasyona yakın veya daha azdır. Bununla birlikte, yapıda çekme gerilmesi oluşmasa bile, olumsuz çevre koşulları nedeniyle meydana gelen çekme gerilmeleri, taş kullanılarak yapılan elemanlarda çatlak oluşmasına neden olabilir (Şişik, 2017).

Taş malzemesi ile inşa edilen yapı elemanlarının kayma dirençleri, genelde basınç dirençlerinin %25'i kadardır. Malzemelerde çekme gerilmelerinin çekme dayanımlarını aşması durumunda çatlaklar oluşur. Bu çatlaklar genleşme çatlaklarıdır. Taş malzemesinde sıcaklık değişimleri, rüzgâr, su gibi dış etkenlerden kaynaklanan çatlak oluşumları, aşınmalar ve bozulmalar meydana gelebilir (Ünay, 2002).

3.1.2. Harç

Eski çağlarda inşaat sektörünün en büyük sorunu hep bağlayıcı madde olmuştur. Yapı malzemelerinde ilk bağlayıcı harç olarak çamur kullanılmıştır. Yığma duvarların dayanımının büyük kısmı harç ile tuğla arasındaki yapışmaya ve çekme dayanımına bağlıdır. Bu nedenle harcın basınç dayanımından çok çekme ve tuğla arasındaki aderans dayanımı önemlidir (Aytekin, 2006).

“Bağlayıcı madde, agrega ve su karışımının belli oranlarda oluşturduğu katılaşp yapışma eğilimi gösteren bütünleşik madde harç adını alır. Yapıların oluşturulmaya başlandığı dönemlerden itibaren en büyük sorun taş, kerpiç ve tuğla gibi yapı malzemelerinin birbirine nasıl bağlanacağı konusunda yaşanmıştır. Yığma yapılarda kullanılan malzemelerin oranlarına bakıldığında harç diğerlerinin yanında oldukça az miktarda olduğu ve buna bağlı olarak etkisiz olduğu düşünülmektedir. Ancak harçların yapının performansına etkisi oldukça fazladır. Yapıyı bir arada tutup bütün bir malzeme gibi çalışmasını rijit bir malzeme haline gelmesinde bağlayıcı harçların rolü büyüktür” (Özkul, 2016).

Tarihi yapılarda genellikle kireç harcı ve horasan harcı olmak üzere iki tip harç görülmektedir. Kireç harçları, çimentonun bulunmasına kadar geçen eski Yunan ve Roma dönemlerinde yapıların inşasında yaygın olarak kullanılmıştır. Kireç harcında, bağlayıcı madde olarak kireç ve dolgu malzemesi için de agrega karıştırılarak kireç harcı ve sıvaları elde edilmektedir. Horasan harcı ise, tuğla, kiremit vb. malzemelerin kireç ile karıştırılmasıyla elde edilmektedir. Horasan, kırılmış öğütülmüş tuğla tozu ve kiremit benzeri pişmiş kildir. Bu horasan ve kireç ile elde edilen harca da horasan harcı denilmektedir. Horasan harcının dayanımı kirecin kalitesine ve tuğla tozunun inceliğine bağlı olarak değişmektedir (Mahrebel, 2006).

3.1.3. Tuğla

Killerin yüksek derece sıcaklıklarda pişirilmesiyle elde edilen tuğlalar geçmişte olduğu gibi günümüzde de yaygın bir kullanıma sahiptir. İyi pişirilmiş olan tuğlalarda mukavemet özelliği ve çevre koşullarına karşı gösterdiği direnç çok daha iyidir. Bu yüzden yeterli derecede iyi pişirilmiş olması oldukça önemlidir. Boyutlarına ve kullanım işlevlerine göre birçok çeşidi vardır. Tarihi yapılarda kullanılan tuğlalar saf kaolin ve kil karışımının fırınlarda yüksek ateş altında pişirilmesiyle elde edilmiştir. (Aköz, 2008).

Tuğlalar; taş, ahşap gibi diğer malzemelere göre elde edilmesi daha kolay olduğu için en çok tercih edilip kullanılan malzemedir. Ayrıca diğer malzemelere göre daha ekonomiktir. Ağırlıkça hafif olma özelliği ile de kubbe gibi örtü elemanlarında sıklıkla kullanılır. Çekme dayanımı düşük olan tuğlalar, taş yapı elemanı gibi basınç altında çalışırlar. (Aköz, 2008).

Tuğlayı oluşturan malzemenin kalitesi, kullanılan harç ve tuğlanın örülme düzeni, tuğlanın dayanımını belirler. Tuğlaların basınç dayanımı malzeme özelliklerine bağlı olarak 10 MPa dan 30 MPa'a kadar değişir. İyi fırınlanmış tuğla, iyi fırınlanmamış tuğlaya göre üç kat daha fazla dayanıma sahip olur. Genelde tuğla malzemesinin çekmeye karşı gösterdiği direnç basınca karşı gösterdiği direncin %10'u, kayma direnci ise basınç direncinin %30'u kadardır.

3.1.4. Ahşap

Ahşap; tarihten günümüze, yapı malzemesi olarak her yapı türünde kullanılmıştır. Malzemenin seçiminde ağaç gövdesinin (tomruk), budaksız olması aranmaktadır. Tomrukta budak, boyuna liflerin dışına dönmesi veya ahşabın lifli yapısında oluşan bozulmalar ile ifade edilebilir. Dolayısıyla budaklı gövdenin ömrü kısa olur. Ahşap, hem çekme gerilmelerine hem de basınç gerilmelerine karşı çalışabildiği için eğilme elemanı olarak kullanılır ve özellikle döşemelerde büyük açıklıkların geçilmesine olanak sağlar (Tektik, 2015).

3.1.5. Kâgir malzeme

Bağlayıcı bir harç malzemesi ile tuğla ve doğal taşın beraber kullanılması ile elde edilen malzemedir. Heterojen özelliğe sahiptir. Malzemenin üretiminde gösterilen hassasiyet, üretilme yöntemi, kullanılan harç, çevre koşulları ve zaman gibi etkenler malzemenin taşıma gücünü etkilemede önemli rol oynarlar (Çamlıbel, 2000).

3.1.6. Kerpiç

Kırsal bölgelerde, güneşte kurutulan kum, balçık ve saman karışımından elde edilen malzemedir. “En eski zamana ait kerpiç yığma yapı kalıntıları, M.Ö. 8350 ila 7350 yıllarına ait Filistin’in Jericho şehrinde bulunmuştur. Anadolu’da ise Çatalhöyük’te yapılan kazılarda, M.Ö. 6500’lere ait ilk dikdörtgen yığma kerpiç evler bulunmuştur.” Burada taş malzemesi mevcut olmadığı için, malzeme olarak kullanılmak üzere kerpiç bloklardan faydalanılmıştır. (Ercan, 2010).

Kerpiç malzeme kullanılarak inşa edilen yapılar tek katlı olarak inşa edilebilir. Şekilsel olarak dikdörtgen prizma olmalı ve kırık, çatlak gibi deformasyonlar olmamalıdır. Bu malzeme kullanılarak yapılan duvarların olumsuz özelliklerinden birisi ıslandığında kerpicingin yumuşayarak direncini kaybetmesidir. Bu olumsuz özelliği ortadan kaldırmak için kerpiç malzemesinin oluşumunda kullanılan kum ile kil tanelerinin iyi bir şekilde kenetlenip ayrışmasının önüne geçilmesi gerekir. Bunun için de harç içerisine çimento ve kireç ilave edilebilir. (Sayın, 2009).

3.2. Tarihi Yapıyı Oluşturan Taşıyıcı Sistemler

3.2.1. Kemerler

İki duvar arası, iki sütun arası veya bir sütun ve bir duvar arası mevcut bir açıklığı geçmek için kullanılan; eğrisel şekle sahip olan yapısal eleman kemer olarak adlandırılır Şekil (3.1). Kavisli bir forma sahip olan kemerler kapı ve pencere gibi açıklıkların üstündeki ağırlığı yanlardaki ayaklara verir ve yük zemine sağlam bir şekilde aktarılmış olur. Bu nedenle kemer, yükün güvenli bir şekilde zemine aktarımında önemli işlevi olan bir taşıyıcı elemandır (Anonim, 2017).



Şekil 3. 1. Kemer örneği

Bir kemer, genel olarak kemer örgü taşı olarak üzengi, kilit taşı ve kemer sırtı olmak üzere üç bölümde incelenebilir. Kemerin başlangıç taşı üzengi yatağının üzerine eğrisel olarak teşkil edilen üzengi taşıdır. Kilit taşı, kemerin düşey ekseninde her iki tarafta bulunan kemer sırtı arasında yer alan kemerin stabil olarak tutulmasını sağlayan elemandır. Kemer sırtı ise kilit taşı ile üzengi taşı arasında çeyrek çember şeklinde form alan eğrisel elemandır (Aşık, 2018)(Şekil 3.2).

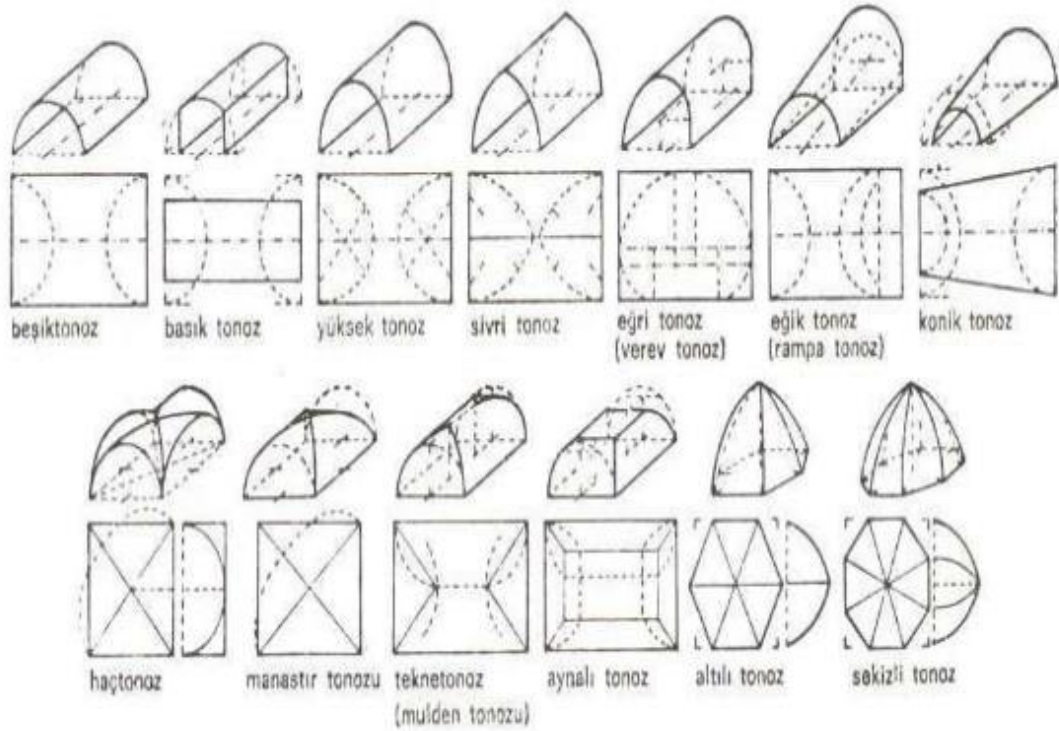


Şekil 3. 2. Segovia-İtalya (128 gözlü su kemeri) (Aşık, 2018)

Kemerler, kendi zati ağırlığı ve kemerin üst noktasından gelen düşey ve yatay yük etkisindedir. Kemere etki eden yükler kilit taşından temas ile kemer sırtından ilerleyerek her iki yanda üzengi taşından üzengi yatağına yükün aktarılması mantığı ile taşıyıcı özelliği gösterir. Kemerler, basınca çalışan eleman olarak nitelendirilebilir. Düşey yükün şiddetinin yatay yükten büyük olması durumunda, kesit içerisindeki çekme kuvvetlerinin şiddeti azalır. Yatay yükler kemerin eğrisel kollarını açma eğiliminde bulunmasına karşın düşey yükün basınç gerilmesiyle yatay yükün yan kollara olan itme kuvveti etkisi azalır. Kemerlerde kesit boyutlarının oldukça büyük olmasının sebebi, tuğla veya taş kemerlerin kendi ağırlıklarının, kemerin stabilitesine sağladığı avantajlardır. Kemerin herhangi bir noktasında oluşacak çekme kuvveti, kullanılan malzemelerin çekme dayanımlarının düşük olmasından dolayı kemerde çatlamlara ve hasarlara yol açabilir. Çatlaklar ve oluşan hasarlar kemerin stabilitesinin bozulmasına neden olacak diye bir durum söz konusu olmayabilir ama basınca çalışan taşıyıcı elemanlar için tehdit unsurudur. Kemerlerin stabilitesinin bozulmasına neden olan en önemli etken, mesnetlerin açıklık yönünde ayrılmasıdır. Bu yüzden, pek çok tarihi yapının tuğla, taş kemerlerinde metal veya ahşap gergi çubuğu kullanılmıştır. Bu durum kemerin ayrılmasını her iki yönden engellemek için iki ayak, bir ayak bir duvar veya iki duvar arasında kullanılarak kemer formunun yanal olarak ayrılmasının önüne geçmek içindir. Taşıyıcı elemanlar üzerine, üst örtünün üzengi seviyesinde veya hemen altında bulunan taş oyulmuş yuva ya da duvar içerisine bırakılmış boşluklara mesnetlendirilmişlerdir. Gergi çelik vb. gergi yöntemlerinin kullanılması istenmediği durumlarda kemerin alt üzengi yatağının kemer eksen dışlarına ağır bloklu taş vb. malzemelerden payandalar yapılmak suretiyle kemerin ekseninden her iki dış tarafa hareketi engellenmiş olur (Aşık, 2018).

3.2.2. Tonozlar

Birden çok kemerin art arda sıralanıp bağlanmasıyla oluşan yapı elemanına tonoz denir. Kapalı koridor biçimindedirler. Üst yapıyı taşımak için elverişli taşıyıcı yapı elemanlarıdır. Tonoz çeşitleri Şekil (3.3)' te verilmiştir (Şişik, 2017).

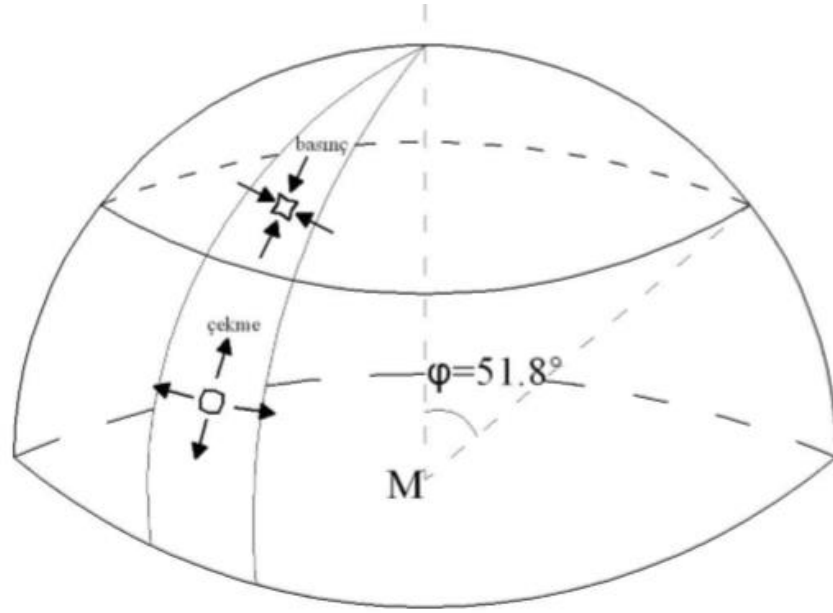


Şekil 3. 3. Tonoz Çeşitleri (Şişik, 2017)

Tonozun kesiti ile aynı eğriselliğe sahip olan kemerin kesitleri eşdeğerdir. Tonoz hem zati ağırlığını hem de üzerinde bulunan kaplama yüklerini taşır. Kemerlerde oluşan benzer durum gibi tonozlar da mesnetlerindeki yanıl kuvvetleri duvarlar, gergiler veya payandalarla taşır (Mahrebel, 2006).

3.2.3. Kubbeler

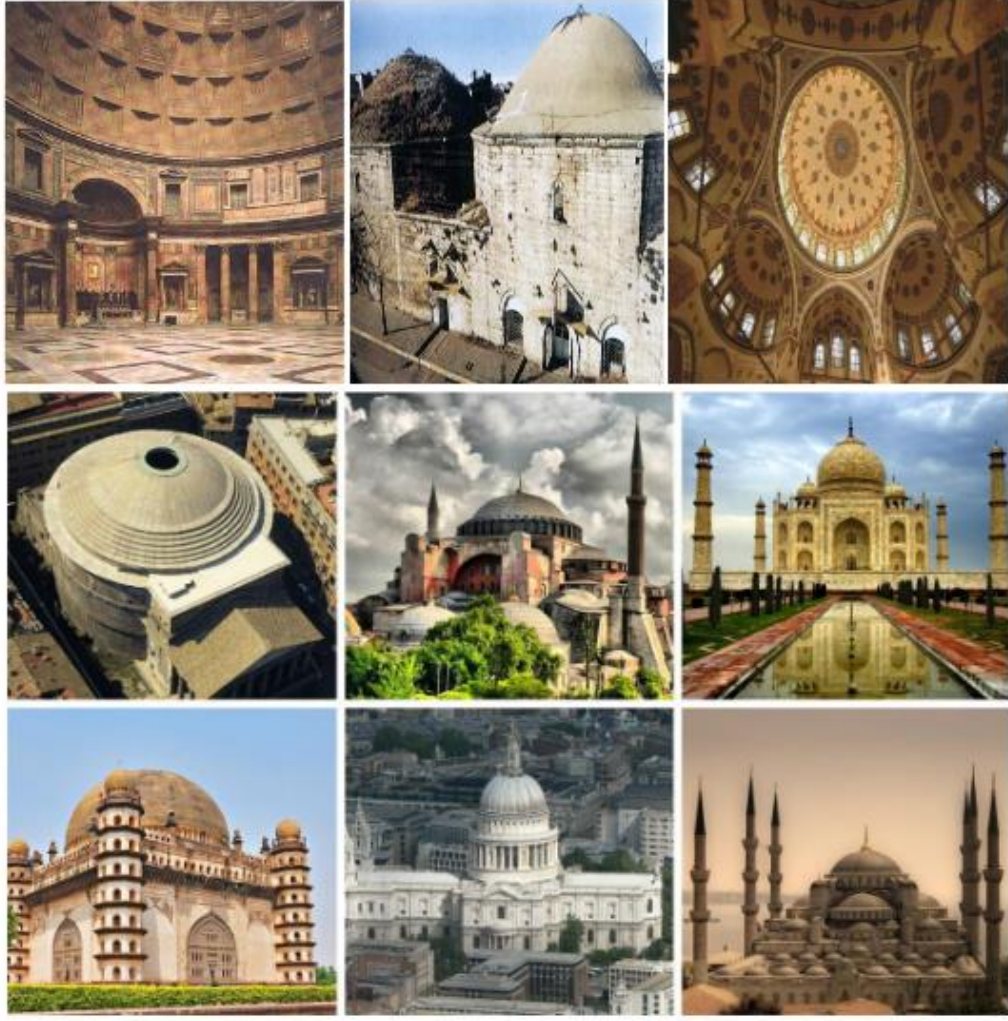
Kubbeler büyük mekânları kapatmakta kullanılmış örtü elemanlarıdır. Kubbelerin mesnetlenmesi ve desteklenmesi yapıda bulunan taşıyıcı sistemlerin şekillenmesini sağlar. İnşası, kubbenin sürekli basınç altında çalışacağı hipotezine dayanmaktadır. Kubbenin yerleştiği duvar bölümü kasnak olarak adlandırılır. Kubbe duvarında devamlı basıncın olmasını sağlayan eleman kasnaktır. Bu durumda iken kasnak düşey ekseninde çekme mevcut iken yatay ekseninde ise dışa doğru kayma mevcuttur (Şekil 3. 4).



Şekil 3. 4. Kubbelerde yük taşıma mekanizması

“Tarihi yapılarda malzeme kâgirdir. Taşıma ilkesi yükün en tepedeki kilit taşından başlayarak, komşu taşlara aktarıla aktarıla kubbenin tabanına iletilmesine dayanır (Şekil 3. 5). Bu sebeple kubbe tabanına gelindiğinde yükün yatay ve dikey bileşenleri söz konusu olacaktır. Dikey bileşen, kubbeyi tutan kemer, duvar gibi elemanlarla zemine aktarılır. Yatay bileşen de, ciddi boyutlardaysa kubbe bir gergiyle desteklenir” (Şişik, 2017).

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



Şekil 3. 5. Kubbe Örnekleri (Şişik, 2017)

3.2.4. Sütunlar ve ayaklar

Tarihi kagir yapılarda duvarlardan başka düşey doğrultuda taşıyıcı olan sütun ve ayaklar da bulunabilir (Şekil 3.6). “Sütunlar tek bir malzemedен yekpare olduğu gibi tek bir malzemedен tambur adı verilen genellikle dairesel blokların üst üste konması ile oluşmaktadır. Ayaklar ise duvarlar gibi olup aralıklı olarak düzenlenen tarihi kâgir yapı elemanlarıdır” (Kara,2009).



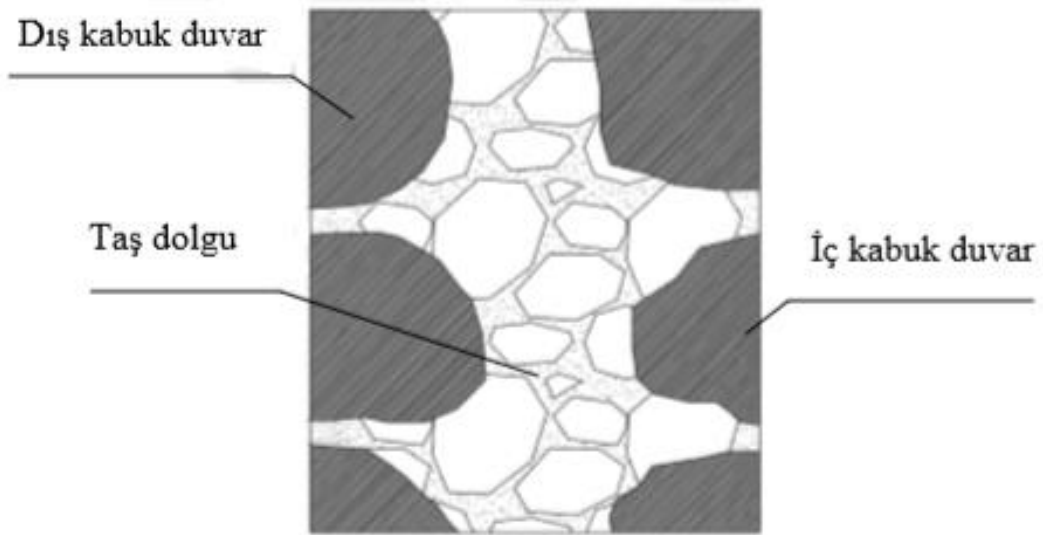
Şekil 3. 6. Sütun ve ayak örnekleri ((a)Afrodisyas-Aydın-Türkiye – (b) Kolezyum-Roma-İtalya)(Türker, 2010)

Bazı sütun elemanlarında sütun başlığı ile sütun tabanı bulunur. Sütun başlığı kemerlerin veya kirişlerin yükünü toplamak için kullanılır. Sütun başlığı ise gelen yükü altında bulunan elemanlara yayarak aktarmak için yapılır (Çamlıbel, 2000).

3.2.5. Duvarlar

Duvarlar; aldıkları düzlem içi ve dışı etkiler altında, meydana gelen çekme gerilmeleri dolayısıyla güç tükenmesine ulaşır ve bu gerilmeler yapı elemanı üzerinde kayma mekanizması oluşturmaktadır. Yatay olan kesme kuvvetleri yatay ve düşey doğrultuda kayma gerilmesi veya köşegen doğrultularında çekme ve basınç gerilmeleri oluştururlar. Bu sebepten köşegen doğrultusunda X çatlakları meydana gelir. Bu mekanizmanın oluşmasını önlemek için, yatay harekete direnmek amacıyla duvarın diğer yöndeki duvarlara uygun bir şekilde mesnetlenmiş olması gerekmektedir (Tetik, 2015).

Bu elemanlar tarihte, genellikle Şekil 3.7' de görüldüğü gibi iç ve dış kabuk duvarlar ile bu duvarlar arasına dolgu yerleştirilerek inşa edilmiştir. Kabuk duvarlarda oluşan gerilmeler yapısal analizlerde ele alınırken dolgu üzerindeki gerilmeler dolgunun elastisite modülünün az olması sebebiyle ihmal edilir (Tetik, 2015).



Şekil 3. 7. Kabuk duvar detayı (Tetik, 2015)

3.2.6. Temeller

Yapıda oluşan yatay ve düşey yüklerin zemine aktarılmasını sağlarlar (Şekil 3. 8). Yüzeysel temeller, tekil temeller, sürekli temeller, derin temeller gibi çeşitleri vardır. Tekil temeller sütun ve ayakların altına yapılır. Duvar altına yapılan temeller ise sürekli temellerdir. Yumuşak veya dolgu zemin olması durumunda ise derin temeller tercih edilir (Türker, 2010).

Tarihi yapı temellerine bakılırsa, bugünkü anlamda temel teknolojisinden bahsedilemez. Temeller, basit olarak yüzeysel temeller ve derin temeller olarak ikiye ayrılır. Sağlam zeminlerde genellikle sığ temeller (yüzeysel temel) yapılmıştır. Yüzeysel temeller; ayak ve sütunların altına gelen ayırık veya sürekli duvar altlarına gelen sürekli temellerden oluşur (Mahrabel, 2006).



Şekil 3. 8. Antik Klaros tapınak alanındaki Apollon Klaros Tapınağı temeli (Türker, 2010)

3.2.7. Döşemeler

“Kapalı veya açık hacimlerin üstünü örtmekte kullanılan, yapının katlarını birbirinden ayıran, yapının düşey ve yatay yüklerini taşıyan yapı elemanlarıdır. Döşemeler üzerine gelen yükleri ve kendi zati ağırlığından kaynaklanan yükleri doğrudan taşıyıcı duvarlara ya da önce ahşap, çelik vb. kirişlere daha sonra taşıyıcı duvarlara aktarırlar. Tarihi yapıların döşemeleri genellikle kubbe ve tonoz gibi yapı elemanları ile oluşturulmakla birlikte ahşap, çelik ve kâgir elemanlar da kullanılmaktadır. En alt kat döşemesinin ise genellikle zemin üzerinde ya da temel duvarlarının üstünde düzenlenen tabaka ile oluşturulduğu görülmektedir” (Kara, 2009).

Döşemelerin kısmen diyafram etkisi göstermesi ile deprem sırasında yapıya gelecek yatay yüklerin aktarımı yapılır. Döşemede hasarlar olması veya kısmen boşluklar bulunması durumunda yapı ciddi bir sismik tehlike ile karşı karşıya kalabilir (Çal, 2015).

3.3.Kiliseler

Kilise sözcüğü; birlik, topluluk, cemaat vb. anlamlarına gelen "eklisya" kelimesinden türemiştir. Hz. İsa'nın getirdiği inanç sistemini benimseyenlerin dinî törenleri, yaptıkları tapınak ya da mabed demektir (Anonim, 2021).

Hıristiyan inancına göre kilisenin doğuşu İsa Mesih'in dirilişiyle gerçekleşmiştir. Mesih'in dirilişiyle birlikte yeni bir insanlık ve yeni bir yaratılış söz konusu olmuştur. Kilise babalarının ifadesine göre nasıl uyuyan Âdem'in kaburga kemiğinden birinci Havvâ yaratılmışsa ölüm uykusundaki Mesih'in kaburga kemiğinden de ikinci Havvâ (kilise) doğmuştur (Aydın).

Geçmişten günümüze kadar kemer, sütun ve kubbe gibi yapı elemanlarının gelişimi plan şemalarını da etkileyerek çeşitli plan tiplerini ve mimari üslupları orta çıkarmıştır.

3.3.1. Kilisenin bölümleri

Apsis: Kilise yapılarında doğrultuyu belirleyen bölümdür. Yarım daire ya da yarım çokgen şeklinde ve dışa taşkındırlar. Camilerdeki mihrap olarak düşünülebilir (Şekil 3.9). Bu terimin kökeni Romalıların yapılarda dışarı doğru çıkan bölümlere absida demesinden gelir. (Anonim, 2020a).



Şekil 3. 9. Kilisede apsis bölümü (Anonim, 2020a)

Prothesis: Apsisin kuzeyinde yer alan “Eukharista” töreninde kutsal unsurların bemaya sunak üzerinde getirilmesinden önce gerekli törensel hazırlığın yapıldığı bölümdür.

Nef: Kilisede apsise dik doğrultuda, birbirlerinden sütun ya da ayak dizileriyle ayrılmış, uzunlamasına mekânların her birine denir. Kiliselerde büyük nef, orta nef ve yan nef bulunmaktadır. Yan nef orta nefin yanında sütunlarla ayrılmış bölüme verilen isimdir.

Galeri: Yan nefin üzerinde olan ve orta nefi ‘U’ biçiminde dolanan kata verilen isimdir.

Narteks: Bizans kiliselerinde nefe girilmeden önce gelen, neften sütunlarla ya da duvarla ayrılan (giriş holü) bölümdür. Narteksin art arda iki tane olarak düzenlendiği durumlarda birine dış narteks, öbürüne iç narteks denebilmektedir (Şekil 3.10).

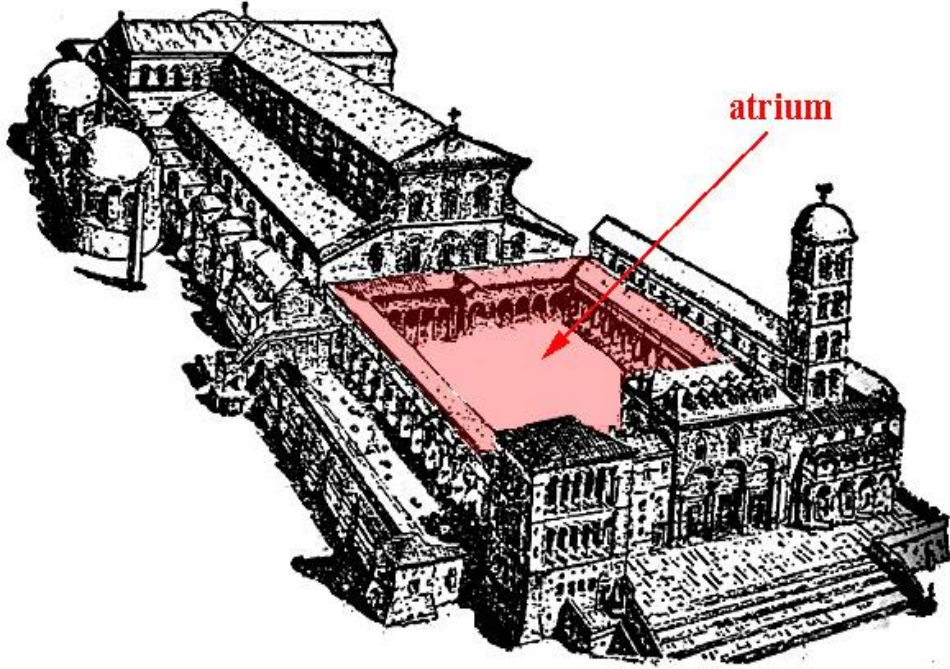
Diakonikon: Kilise adamlarının ihtiyaçlarını gidermek için kullanılan bölümdür. Apsisin güneyinde yer alır. (Anonim, 2020a).



Şekil 3. 10. Kilisede narteks bölümü (Anonim, 2020a)

Atrium: Erken Hristiyan Bazilikalarında giriş yönünde yer alan büyük ön avluya verilen isimdir. Aynı zamanda Antik Roma konutlarında bulunan sokağa yakın, etrafı odalarla çevrili, ortasında havuz bulunan üstü açık avludur. Romalıların son zamanlarında ise etrafı sütunlarla çevrili kabul salonlarına atrium denilmiştir (Şekil 3.11).

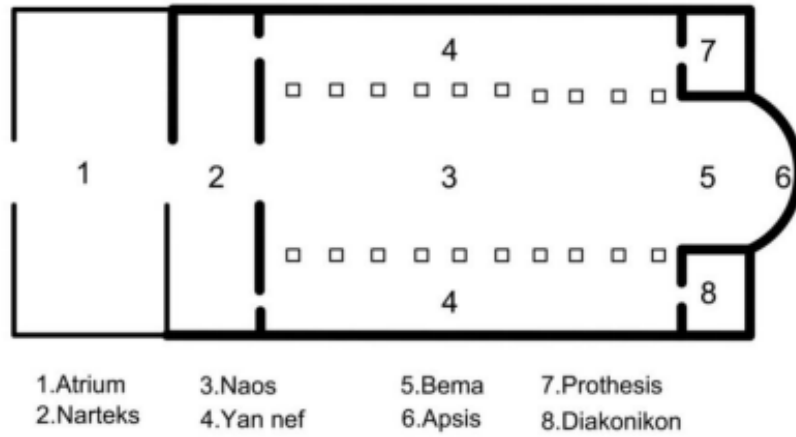
Naos: Yunanca ‘tapınak’, ‘ilahın evi’ ‘oda’, ‘ev’ anlamına gelmektedir. Bir Yunan tapınağında Tanrı’nın heykelinin yer aldığı, çevresi sütunlu ana hacimdir. Ortodoks kilisesinde ise halka açık ibadet mekânıdır (Anonim, 2020a).



Şekil 3. 11. Kilisede atrium bölümü (Anonim, 2020a)

Bema: Bizans kilisesinde halkın girmesinin yasak olduğu, apsisin önünde yer alan din adamlarının yer aldığı bölümdür (Hasol, 1975).

Kilise yapısının mimari bölümleri Şekil (3.12)' deki planda topu bir şekilde verilmiştir.

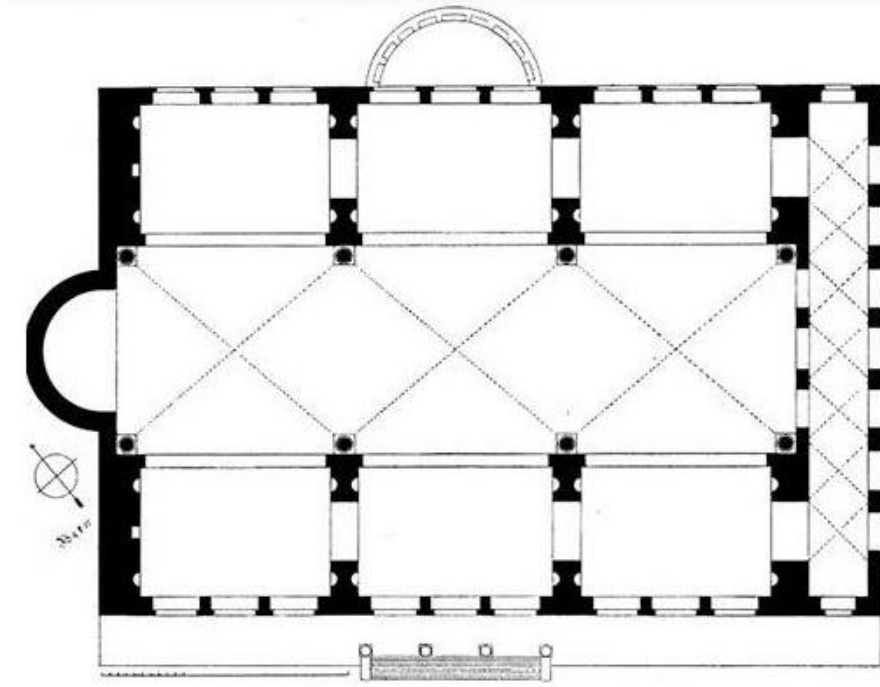


Şekil 3. 12. Kilisenin mimari bölümleri

3.3.2. Kiliselerde plan tipleri

Bazilika: Kelimenin kökeni, Makedonya hanedanını kuran Bizans imparatoru I. Basileios'un basilika olarak adlandırılan yasa derlemesinden gelir. Bazilikal planlı

kiliseler, Hristiyan dini mimarisinde kullanılan en eski ve en yaygın kilise tipidir (Şekil 3.13). Batı ve Doğu kiliselerinin büyük bir bölümünde kullanılan ilk Hristiyan kilise tipi olan bazilika planının yapımında Roma bazilikasından yararlanılmıştır. Tipik bir bazilikal kilise, ortada yer alan nef ve bundan sütunlarla ayrılan yan neflerden, genellikle doğu ucunda apsis, batıda giriş ve narteks bölümü veya revakla çevrili atriumdan meydana gelmektedir (Anonim, 2020b).

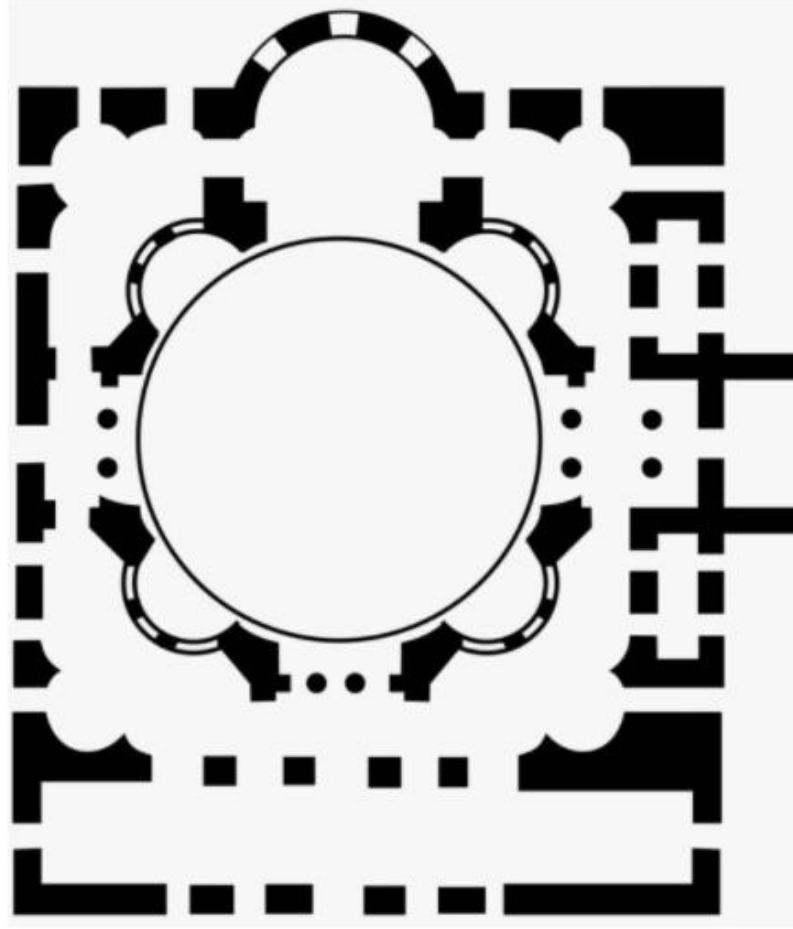


Şekil 3. 13. Bazilika plan tipi (Anonim, 2020b)

Merkezi Planlı Kiliseler: Merkezi planlı kubbeli kilise planı, Ermenistan’da 7.yy’da uygulanmaya başlanmıştır. Yapı, merkezindeki plan etrafında gelişmektedir. Bu plan tipi, daha çok vaftizhane ve martyron (anı kiliseleri) türü yapılarda kullanılmıştır. Genellikle kubbe örtülü kare, çokgen ya da dairesel bir merkezi hacimle, çevresinde bulunan simetrik öğelerden oluşan yapılardır (Şekil 3.14). Merkezi planlı yapılar, en karakteristik öğelerinden olan bir ya da daha çok sayıda kubbe ile örtülüdür. Anadolu’daki Ermeni kiliselerinin bazıları bu tipte yapılmışlardır (Batar, 2007; Sağır, 2000).

Haç Planlı Kiliseler: Hristiyanlıkta haça gösterilen önem ve sembolik anlamından kaynaklı bu tipte yapılar inşa edilmiştir. Erken Bizans Dönemi’nde dini yapılar için sıklıkla kullanılmıştır. Haç planlı kiliseleri; serbest haç planlı ve kapalı haç planlı kiliseler olarak iki grupta toplayabiliriz. Serbest haç planlı kiliseler Erken Bizans

Dönemi’nden itibaren kullanılırken, kapalı haç planlı kiliseler Orta Bizans Dönemi’nde kullanılmaya başlanılmıştır (Anonim, 2020b).

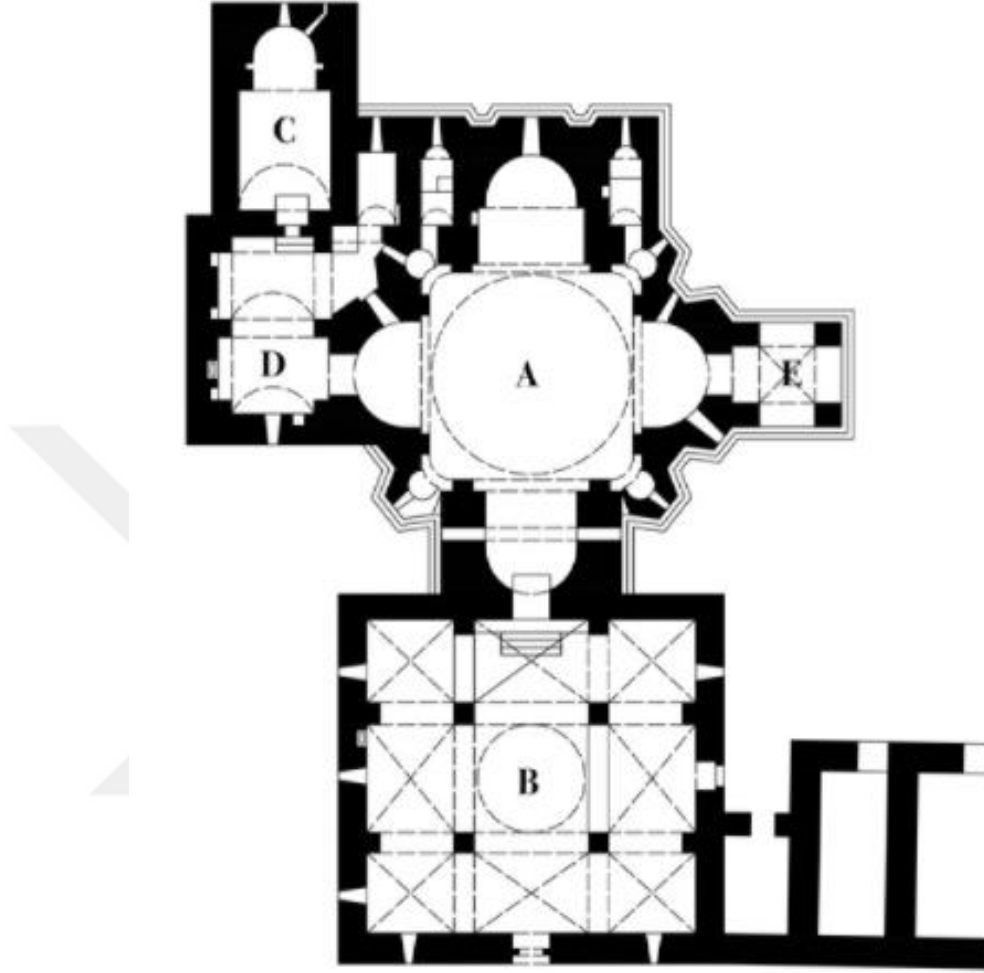


Şekil 3. 14. Merkez plan tipi (Anonim, 2020b)

Yonca Planlı Kiliseler: “İlk kullanımları Erken Bizans Dönemi’ne dayanır. Özellikle son Bizans Dönemi’nde çok yaygın olarak kullanılan bir plan şemasıdır. Merkezi kubbe başlangıçları kasnak seviyesi ile aynı olan üç ya da dört yarım kubbeyle genişletilmiş ve kuzey – güney doğrultusunda yapılan dışa taşmalarla plan tamamen farklı bir görünüm kazanmıştır. Akdamar Kilisesi (Van, 915 – 921) (Şekil 3.15) ile Panayia Muhliotissa Kilisesi (İstanbul, 10. yüzyıl) yonca plan türü için örnek olarak verilebilir” (Anonim, 2020b).

Kiborion Planlı Kiliseler: “Kare planlı naosun üzeri köşe duvarlarına oturan pendentif geçişli tek bir kubbe ile örtülmüştür. Yan nefler çıkartılıp tümü kubbeyle örtülü bir mekân oluşturulmuştur. Daha küçük boyutlarda inşa edilen bu plan tipindeki yapılar, kalabalık cemaatlere hitap edememesi ve kubbenin yanlardan yeterince destek

görmemesi nedeniyle fazla yaygınlaşmamıştır. Kiborion planlı kiliselere örnek olarak İstanbul'daki Kariye Cami (Khora Manastırı Kilisesi) gösterilebilir'' (Anonim, 2020b).



Şekil 3. 15. Akdamar Kilisesi plan tipi (Anonim, 2020b)

Dehliz Planlı Kiliseler: “Geç Bizans döneminde kullanımına başlanılmıştır. Yapının naos kısmında dört kemer üzerinde yükselen bir kubbesi bulunmakta ve orta mekân bu kubbenin altında kalmaktadır. Bu orta kısımda, üç yandan at nalı gibi saran basık tonozlu dehlizler bulunmaktadır. Bu plan tipinin 1261'den sonra ortaya çıktığı bilinmektedir. İstanbul'dan Feneri İsa Kilise Cami ve Fethiye Kilise Cami dehliz plan tipi için örnek olarak verilebilir'' (Anonim, 2020b).

4. TARİHİ YAPILARDA GÖRÜLEN HASAR TÜRLERİ

Düşey ve yatay yükler etkisindeki yığma yapıda, kritik bölgelerden başlayarak çekme gerilmeleri altında çatlaklar ve basınç gerilmelerinin altında ezilmeler oluşur ve yükleme devam ederse yapı çökmeye başlar. Kapı ve pencere boşlukları çevresi, duvar ve döşeme birleşimleri, duvar kesişim ve birleşimleri kritik bölgelerdir (Tetik, 2015).

Yığma yapılar ağır ve rijit olup, büyük deprem kuvvetinin oluşmasına sebep olurlar. Yığma yapının çekme ve basınç altındaki sünek olmayan davranışı, yapının önemli bir plastik şekil değiştirme göstermeden ani göçmesine sebep olur (Celep, 2015).

4.1. Zeminden Kaynaklanan Hasarlar

Yapının zemininden kaynaklanan sorunlara bakıldığında bunların genelde temel tasarımından kaynaklandığı görülmektedir. Deprem esnasında yapılarda; sıvılaşma, killi zeminlerde depremin neden olduğu yoğrulma, temel derinliğinin yetersizliğinden kaynaklanan zemin taşıma gücü problemleri, yatay yer değiştirmeler, yüksek yapı narinliği beraberinde taşıma gücü kaybı gibi sorunlar görülmüştür. Yapının üzerine oturduğu zeminin mukavemetinin düşük olması, ya da homojen olmaması zamanla yapıda çatlakların oluşmasına, dönmesine ve de farklı oturmalarla neden olabilir. Çatlakların yapıdaki yerlerine, doğrultularına bakılarak hasar nedeninin zeminden kaynaklanıp, kaynaklanmadığı hakkında kabaca fikir edinmek mümkündür. Eğer yapı iki ucundan sağlam zemine oturuyor, ancak arada kalan bölgede zemin gevşekse, cephede kapı ve pencere boşluklarının köşelerinden başlayan ve 45 derece açıyla yanlara doğru gelişen çatlaklar kama görünümündedir. Aşağıda dar, yukarı doğru açılan bir düzen gösterir. Zeminden kaynaklanan hasarların tanınması ve düzeltilmesi zemin mühendislerinin uzmanlık alanına girmektedir ve ayrıntılı zemin incelemesi yapılmalıdır. Oldukça zor ve pahalı bir işlem olan zemin iyileştirmesi veya sağlam zemine inen temel yapımı gibi işlemler gerekebilir. Bir yapının fay hattı üzerinde yer alması ya da oluşumunda çatlaklar bulunan bir kaya üzerinde yapılmış olması da onun bozulma, yok olma riskini arttıran etkenlerdir (Amman, 2012).

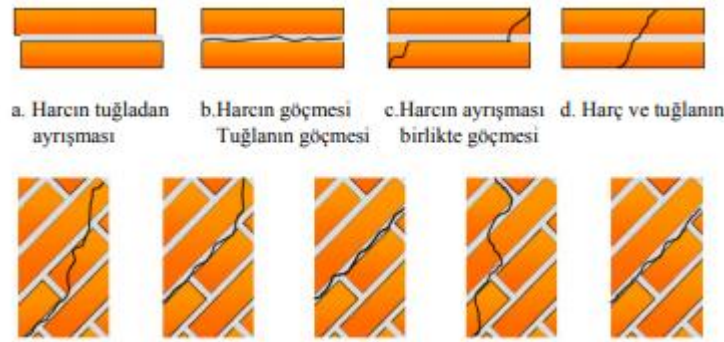
Temel oturmalarının başlıca nedenlerini şöyle sıralayabiliriz:

- Yer altı suyunun alçalıp yükselmesi
- Yapıdaki yük sisteminin değişmesi veya yapıda yapılacak değişiklikler
- Kazıkların deformasyonu, hava ile teması veya çevre faktörleri sonucu çürümesi

- Yapı çevresinde yapılan kazılar, etrafında bırakılan çukurlar
- Dinamik etkiler, titreşimler vs. (Çamlıbel, 2000).

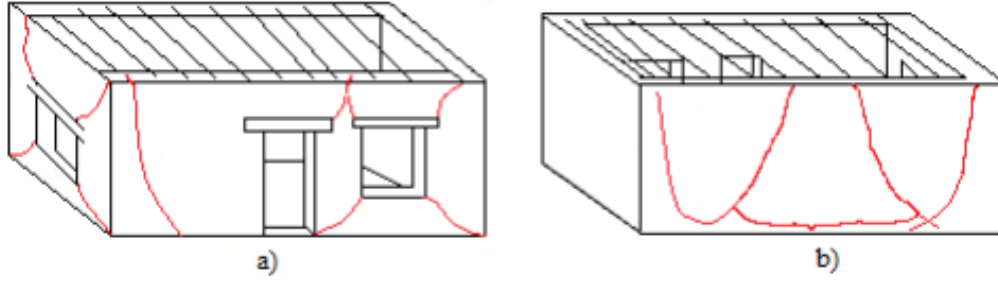
4.2. Taşıyıcı Duvarlarda Oluşan Hasarlar

Yığma yapılarda düşey yükler ve deprem yükleri taşıyıcı duvarlarla karşılanır. Genellikle, yığma yapılarda kullanılan duvar malzemesinin çekme dayanımı ve harcın da kayma dayanımı düşüktür. En önemli hasar nedeni, deprem etkisiyle duvarlarda oluşan kayma gerilmeleri dolayısıyla çekme gerilmelerinin meydana getirdiği çatlak, ayrılma ve dağılmadır. Şekil 4.1’ de tuğla ve harçtan oluşan bir yığma duvarda kayma gerilmeleri ve çekme gerilmeleri sebebiyle oluşabilecek göçme biçimleri verilmiştir. Üstteki ilk şekilde tuğla ve harcın ayrışması, ikinci şekilde harcın göçmesi, üçüncü şekilde tuğlanın göçmesi ile birlikte harçla ayrışmanın gerçekleşmesi, son şekilde ise çapraz olarak harcın ve tuğlanın göçmesi gösterilmiştir. Alttaki şekillerde ise duvar yüzeyinde bu göçme biçimlerinin birlikte olduğu çeşitli durumlar gösterilmiştir (Aköz, 2008).



Şekil 4. 1. Tuğla duvarda göçme biçimleri (Aköz, 2008)

Duvarlarda ortaya çıkan çatlaklar gerilmelerin fazla olduğu yerlerde oluşur. Duvar düzlemi doğrultusunda meydana gelen kayma gerilmeleri ile duvar düzlemine dik eğilme gerilmeleri pencere ve kapı kenarlarında çatlaklar oluşmasına neden olur. Duvarların birleşim yerlerinden düşey ya da diyagonal çatlaklar şeklinde ayrılması, duvarın düzlemine dik ve düzlemi doğrultusundaki kuvvetlerin birleşik bir fonksiyonudur (Şekil 4. 2.a). Kapı ve pencere boşluğu olmayan uzun duvarlarda duvar düzlemine dik kuvvetler alt bölgede yatay çatlaklar ile duvar birleşimlerinde düşey ya da diyagonal çatlaklar oluşturur (Şekil 4. 2.b) (Mahrebel, 2006).



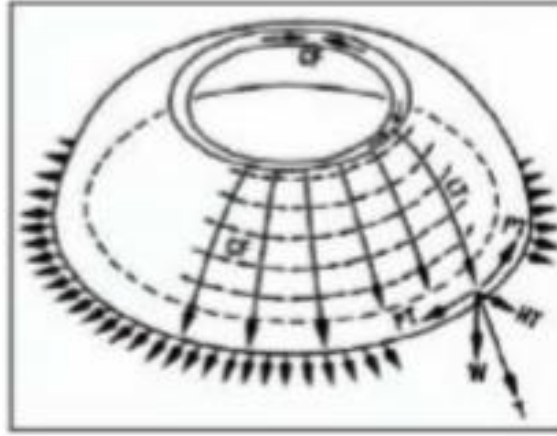
Şekil 4. 2. Taşıyıcı duvarlarda düşey ve yatay yüklerden kaynaklanan çatlak tipleri

Yapıların taşıyıcı sistemlerinde, ilk tasarımda boyutlandırmalardan kaynaklanan önemli tahribatlar oluşabilir. Duvar boyutlarının yetersiz olduğu durumlarda duvarda bel verme olayı gerçekleşir. Bu olay payandalarda da ortaya çıkarsa destek verdiği kemer, tonoz ve kubbede açılmalara, hatta sistemde yıkılmalara neden olabilir. Yapıdaki basınç binanın orta kısmında etkisini gösterirse bu olaya binanın bel vermesi denir. (Döndüren ve ark., 2017).

Yığma türündeki binaların neredeyse bütün duvarları taşıyıcıdır. Bundan dolayı duvarda oluşabilecek hasarlar taşıyıcı sistemin de hasara uğraması demektir. Bu yüzden betonarme türündeki yapılarda olduğu gibi taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan bölüm hasarı ayrımı yapılamaz. Duvar oturmalarına karşı yığma türündeki binalar çok hassastır. En küçük temel oturması duvarlarda hemen gözlenir. Çünkü yığma yapıların taşıyıcı elemanı duvarlar gevrek malzemelerden oluşmaktadır. Gevrek malzemelerin çatlama meydana gelmeden dayanabileceği elastik gerilimlerin veya yüklerin değerleri düşüktür. Malzemelerin dayanımları düşük olduğu için kolaylıkla hasar meydana gelebilir (Döndüren ve ark., 2017).

4.3. Kubbelerde Oluşan Hasarlar

Kubbe; kemer yapı elemanının düşey eksen etrafında 360° döndürülmesi ile oluşur. Kubbedeki düşey yükler, kilit taşından ilerleyerek komşu taşlara aktarılıp kubbenin en alt taban noktasına kadar iletilir. Taşlara etki eden ağırlık kuvvetleri, düşey ve yatay kuvvet bileşenlerine ayrılarak komşu taşlara iletilirler. Böylece kubbe tabanında toplanan yükün yatay ve düşey iki bileşeni meydana gelir. Kubbelerde tahribat oluşmasına neden olan kuvvet genellikle bu yatay kuvvettir. Kubbede oluşan kuvvetler Şekil 4. 3' te gösterilmiştir (Aköz, 2008).



Şekil 4. 3. Kubbede oluşan kuvvetler (Aköz, 2008)

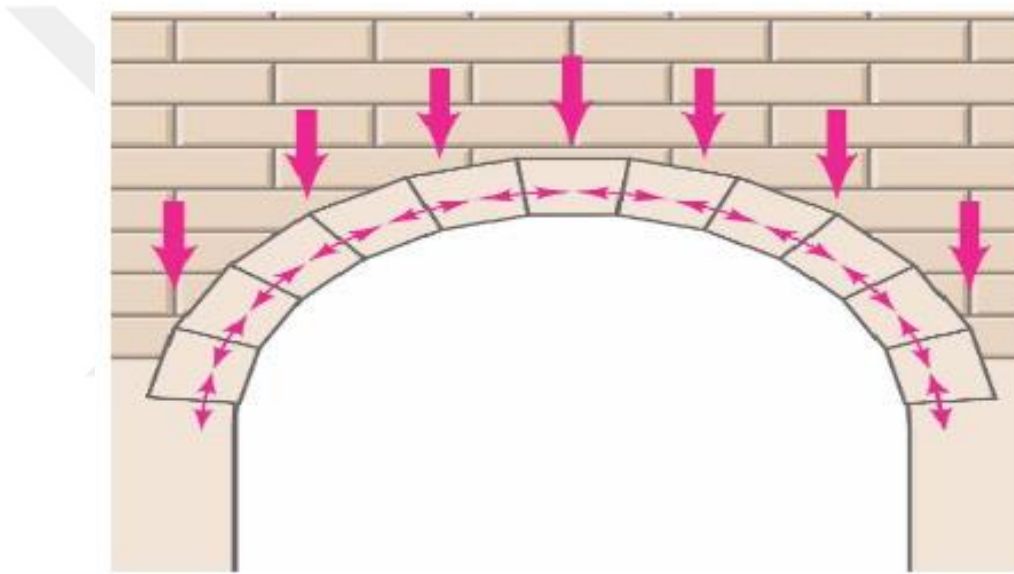
“Yükün düşey bileşeni, kubbeyi taşıyan kemer, duvar vs. elemanlara aktarılırken, yatay bileşeni de, payandalar ve gergilerle karşılanarak kubbenin ayrılmasını engellemiş olur. Kubbede açılmaya neden olan yatay kuvvet kalın beden duvarlarıyla karşılanabileceği gibi ağırlık kuleleri yardımıyla kuvvetin aşağıya doğru yönlendirilmesiyle daha ince duvarlarla da karşılanabilir. Bu yatay kuvvet, kubbeye mesnetlik yapan ve kubbenin ayrılmasını önleyen kasnak kısmında yatay doğrultuda çekme, düşey doğrultuda kayma gerilmeleri oluşturur”. Kubbede çekme gerilmelerinin oluşmasının sebebi kasnağın kubbeden aktarılan yükleri taşıyamamasından kaynaklanır. Kubbeler basınç kuvvetine göre tasarlanan elemanlardır. Kubbelerde düşey doğrultuda çatlak oluşması ve bunun sonucunda taşıyıcı elemanın hasara uğramasının nedeni kubbelerde meydana gelen çekme kuvvetlerinden kaynaklanır (Aköz, 2008).

4.4. Kemerlerde ve Tonzlarda Oluşan Hasarlar

“Eğilme momenti etkisinin oluşturacağı çekme gerilmelerine yığma yapı malzemeleri tam olarak mukavemet gösteremediğinden kemerin sadece basınç gerilmeleri oluşumuna izin veren bir geometriksel yapıda olması gerekmektedir (Şekil 4.4). Kemer biçimini bütün kesitlerde eğilme momentinin sıfır olması belirler. Bu biçim aynı zamanda doğal yük aktarımını gösteren zincir eğrisinin ters çevrilmiş halidir. Zincir eğrisi, iki ucundan serbest olarak asılmış zincir ya da esnek kablounun yerçekimi etkisi altında aldığı şekildir. Kendi ağırlığı altındaki ters zincir eğrisi biçimindeki kemerin bütün kesitlerinde eğilme momenti sıfırdır ve kesitlerde hiçbir şekilde çekme kuvveti oluşmaz. Ters zincir eğrisi biçimi kendi ağırlığı altındaki bir kemer için en ideal

şekildir. Kemerin biçimi, zincir eğrisinden uzaklaştıkça, kemerde çekme kuvvetleri meydana gelmeye, çatlak ve deformasyonlar oluşmaya başlar’’ (Aköz, 2008).

Kemerin geçtiği açıklık ile yüksekliği kemerin statik özelliklerini belirlemede önemli etkenlerdir. Kemerin orta çizgisine teğet olarak düşünülen tepki kuvvetleri yatay ve düşey doğrultuda iki bileşene ayrılır. Yatay kuvvet bileşeni kemer yüksekliği ile ters orantılı olacak şekilde değişirken düşey kuvvet bileşeni değişmez. Kemer yüksekliği arttıkça yatay itki kuvveti azalır. Basık kemerlerin uçlarda dengelenmesi bu nedenle zordur. Basık kemerlerin uçtaki itki kuvvetini dengelemek için germe (çekme elemanları) kullanılır. Ya da yatay itki kuvveti ağır blok temellerle veya ön gerilmeli kenar kirişleriyle karşılanabilir (Şişik, 2017).



Şekil 4. 4. Kagir kemerlerde yük aktarma diyagramı

4.5. Kötü İşçilikten Kaynaklanan Hasarlar

Kullanılan malzemelerin kalitesi oldukça önemlidir. Fakat bununla birlikte malzeme birleşimlerinde kullanılacak olan tekniğin de uygun olması gerekir. Bu tekniklerin uygulanması sırasındaki işçilik de hasar oluşumunu önlemede önemli faktörlerdendir. Bağlayıcıların yeterli seviyede kullanılmaması, duvar elemanlarının örülmesinde yapılan hatalar yapılarda hasar meydana gelmesine neden olmaktadır (Kara, 2009).

4.6. İnsanların Neden Olduğu Hasarlar

“Tarihi yapıların kötü kullanımı, terk etme, bilerek yapılan tahrip eylemi, bakımsızlık gibi etkenler tarihi yapılarda hasarlara hatta yok olmalara neden olabilir. Bilinçsiz bir şekilde yapılan değişiklikler, taşıyıcı sistem düzeninde aşırı yükleme veya süreksizliklere neden olmaktadır” (Mahrebel, 2006).

4.7. Hava Kirliliği

Atmosferi kirleten sanayi atıkları, ısınma sistemleri, kömürle çalışan vapurlar, motorlu taşıtlardan çıkan zararlı gazlar, yapıların üzerinde kirli bir tabakanın oluşmasına, ayrıca taşları eriten asit yağmuruna neden olmaktadır. Havadaki karbondioksit, kükürt dioksit ve kükürt trioksit gazlarının yağmur suyunda erimesiyle taşları eriten asitler oluşmaktadır. Islanan yüzeylerdeki bezemeler asidin aşındırıcı etkisiyle ayrıntılarını yitirmektedir. Arada sırada ıslanan cephelerde ise kara, geçirimsiz bir tabaka oluşur. Cephelerde biriken kurum mimari ayrıntıların algılanmasını engellemekte, bu kir tabakası altında kalan taşlar özelliklerini yitirerek erimekteirler (Şekil 4.5). Zamanla kabaran, dökülen kabuklar sülfatlaşma belirtisi gösterir. Gözenekleri kalsiyum sülfatla dolan taşlar, bozulma derinliğine bağlı olarak, yüzeyden ıslanma alanı sınırına kadar, tabaka halinde dökülür (Mahrebel, 2006).



Şekil 4. 5. Atmosferin etkisiyle taşlarda oluşan bozulma örnekleri

5. TARİHİ YAPILARDA KULLANILAN ONARIM VE GÜÇLENDİRME YÖNTEMLERİ

Tarihi yapılarda onarım ve güçlendirme işlemlerinden önce yapının rölövesinin çıkartılması gerekir. Yapının mevcut durumu incelenerek oluşan hasarlar ile bozulmalar saptanır. Taşıyıcı sistemin davranışı ile yük dağılımları tespit edilip, yapılacak olan onarım ve güçlendirmeler için kullanılacak yöntemler yapılan tespitlere göre belirlenir. Tarihi yapılarda en belirleyici taşıyıcı unsur duvarlar olduğu için tarihi yapıların onarımı ve güçlendirilmesinde duvar çatlaklarının onarılması ve duvarların en kesit alanlarının artırılması esastır. Duvarların birleşim ve kesişim bölgelerinde elemanların birbirine kenetlenerek bütünleşmesini sağlamak gerekmektedir. Ayrıca yapının özgün niteliğini bozmayacak, en uygun onarım ve güçlendirme tekniğinin seçilmesine de özen gösterilmelidir (Kara, 2009).

“Tarih yapılarda gerçekleştirilecek olan onarım ve güçlendirme işlemlerinde dikkat edilmesi gereken hususlar vardır. Bunlardan en önemli olanları yapının aslının bozulmamasıdır ve yapılacak olan müdahale işleminin en az seviyede tutulması gerektiğidir. Bunun yanı sıra tarihi özelliklerinin de bozulmaması, korunması gerekir. Bunun için özel yöntemlerin geliştirilmesi gerekebilir. Onarım ve güçlendirme işlemlerinin bilinçli bir şekilde uygulanması gerekir. Aksi takdirde uygulanan işlemler yapılara yarardan çok zarar verecektir” (Şişik, 2017).

Yapı sistemlerinde onarım; hasar görmüş yapısal elemanların yapıldıkları andaki mukavemetinin kazandırılması ve yapısal olmayan elemanların tamiri ile yapının hasar görmeden önceki haline kavuşturulmasıdır. Güçlendirme ise; yapısal elemanların rijitlik ve dayanımının artırılması ya da ileride oluşabilecek depremler için yapının performansının iyileştirilmesidir. Güçlendirmede genellikle dayanım ve duktilite artırılır ya da yeni yapısal elemanlar ilave edilerek yapının taşıma gücü iyileştirilir (Kara, 2009).

Farklı yöntemler kullanılarak tarihi yapıların onarılması ve güçlendirilmesi gerçekleştirilebilir. “Bu tip yapılardaki onarım ve güçlendirmenin ana ilkeleri şu şekilde özetlenebilir (Yergün, 2002).

- Yapıdaki yüklerin kaldırılması ya da azaltılması
- Yapıda köşelere yakın kapı ve pencere boşluklarının kapatılması ya da küçültülmesi, kütle ve rijitlik merkezini birbirine yaklaştırmak üzere yeni duvarlar eklenmesi

- Onarım yönteminin malzeme ve işçilik açısından hasarlı yapının bulunduğu bölgede uygulanabilir olması
- Onarım sırasında yapının kesinlikle deprem dayanımının öncesine göre daha sağlam bir duruma getirilmesi
- Yapının simetrik olmaması ya da tek katlı bir yapının iki katlı bir yapıya bağlı olması halinde yapının iki ayrı bölüme ayrılarak daha basit iki ayrı yapıya dönüştürülmesi
- Yapıda iç ve dış duvarların kesme ve düşey gerilme taşıma güçlerinin artırılması” (Yergün, 2002).

Yığma yapılar gevrek oldukları için ve meydana gelen depremlerde yatay kuvvetler tarafından zorlandıkları için onarıma ihtiyaç duyarlar. Onarımın uygulanabilmesi için yapıdaki duvarların düşey yönde ayrılmaması ve gelen düşey yüklerden dolayı yapı duvarlarında şişme ve yükseklik azalması olmaması gerekmektedir. Yani onarılabilecek bir duvarın hasar meydana gelmeden önceki boyutları ile hasar meydana geldikten sonraki boyutları arasında gözle ayırt edilebilecek bir şekilde değişme olmamalıdır.

“Yapıdaki hasar türüne göre farklılık göstermekle birlikte tarihi yapılarda uygulanan onarım ve güçlendirme yöntemlerini şu şekilde sıralayabiliriz:

- Yapı zemininin güçlendirilmesi sonucu zeminden kaynaklanan hasarların önlenmesi
- Yapı temellerinin takviye edilmesi sonucu yapı yüklerinin güvenli olarak zemine aktarılması
- Duvarın hasar gören kısmının sökülüp, tekrar örülmesi ile yapılan onarım
- Duvarlarda çelik hasır ile tamir harcı veya püskürtme beton uygulanması sonucu etkin duvar alanlarının artırılarak kesme dayanımının artırılması
- Taşıyıcı duvarlarda bazı kapı ve pencere boşluklarının küçültülmesi veya tamamen kapatılması sonucu etkin duvar alanlarının artırılması ve kesme dayanımının artırılması
- Yığma yapıyı oluşturan malzemelerin sağlamlaştırılması, bazı elemanların yenileriyle değiştirilmesi
- Bağlayıcı olarak kullanılan harcın dayanımının artırılması
- Duvar birleşim bölgelerinin çelik levhalarla sarılması, tuğla veya taş ile örülmesi veya lifli polimer ile onarımı ve güçlendirilmesi

- Duvar köşelerinde betonarme kolonlar oluşturulması
- Duvarlarda payandaların oluşturulması sonucu yatay etkilere karşı yapı dayanımının artırılması
- Düşey taşıyıcı elemanlarda gergi uygulanması sonucu elamanların yatayda açılmalarının önlenmesi
- Düşey taşıyıcı elamanların çelik çemberlerle sarılması
- Yapı temellerinde uygulanan sismik yalıtım ile yapıya etki eden deprem yüklerinin azaltılması
- Yapıların bir bütün olarak askıya alınması veya desteklenmesi
- Geçici takviyeler yapılması'' (Kara, 2009).

5.1. Taşıyıcı Sistemlerin Onarılması ve Güçlendirilmesi

5.1.1. Temellerin güçlendirilmesi

Temel güçlendirilmesi yapılmadan önce güçlendirme çalışmasının neden yapılması gerektiği araştırılmalı ve zeminin özellikleri tespit edilmelidir. Uygulanacak olan güçlendirme yöntemi belirlenirken yapının zemin özellikleri göz önünde bulundurulmalıdır. Zeminde deprem sonrası sıvılaşma ortaya çıkması, taşıma kapasitesinin geçilmesi, oturma oluşması gibi durumlar yapının üst kısımlarında hasar meydana gelmesine sebep olurlar. Yapı uzun zamandan beri zeminin üzerinde olduğu için oluşabilecek oturmaların gerçekleşmiş olması beklenir. Fakat oluşan deprem, kararsız zeminleri sıvılaşmaya meyilli oldukları için etkileyerek, tarihi yapılarda büyük ölçüde yer değiştirmelerinin görülmesine neden olur. Ek olarak, yağmur suyu, yeraltı suyu vb. gibi nedenlerle de temeli altındaki zeminde toprak kayması olabilir. Bundan dolayı temelin altı boşalarak oturma meydana gelebilir.

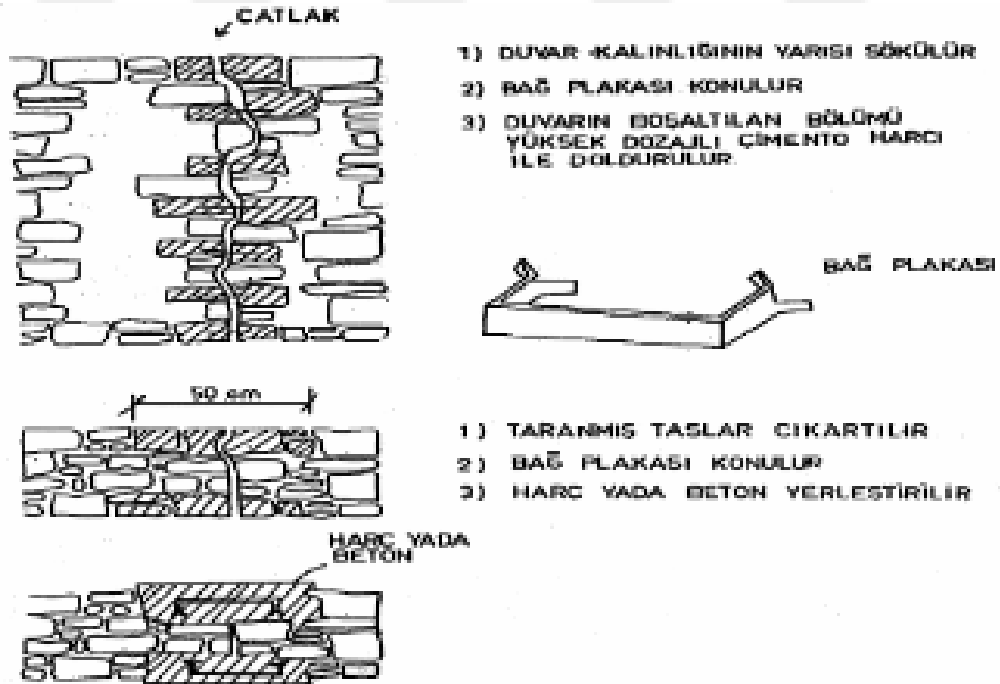
Temellerin güçlendirilmesinde birden çok yöntem kullanılabilir. Var olan temele ek temel yapılabilir. Yeni bir temel düzenlenebilir. Temel zemininde iyileştirme yöntemi kullanılabilir. Yapıdan temele aktarılan yükler, uygun bir sistem ile daha derinlerdeki sağlam olan zemin tabakalarına aktarılabilir. Zemin iyileştirme işlemlerinde kazıklar (itmeli, mini ve çakma) ile jet-grout kolonları kullanılmaktadır. Yığma yapılarda güçlendirme için uygulanabilecek en etkili yöntemlerden birisi de, yer altı su seviyesinin düşük olduğu durumlarda, yaklaşık 4-5 metre derinliğe, yapının altı

kazılarak temele ulaşılması ve mevcut duvar ve temelleri geçici olarak desteğe almak suretiyle, yeni bir temel sisteminin yapılmasıdır (Kara, 2009).

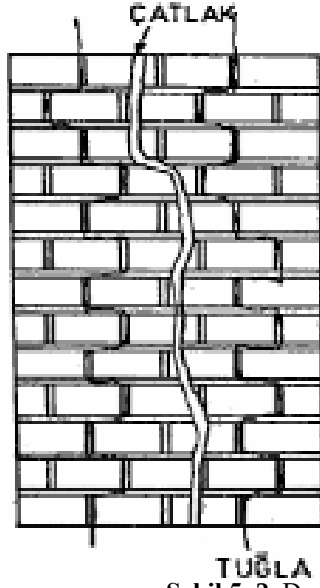
5.1.2. Duvarların güçlendirilmesi

Yığma yapılarda taşıyıcı duvarlardaki hasarları gidermek yapının bütününde de iyileşmeye olumlu katkı sağlar. Yığma yapılarda duvarların güçlendirilmesi işlemi çatlakların onarılması ve duvar kesitlerinin büyütülmesi şeklindedir.

Duvardaki çatlakların genişliğine göre onarım yöntemleri değişkenlik gösterir. Çatlak genişliğinin 10mm'den büyük olduğu ya da duvarı oluşturan taş ya da tuğlaların düşmüş olması durumunda, çatlakların onarımında uygulanan enjeksiyon yöntemi çekme gerilmelerini alacak elemanlarla birlikte yapılır. Bu amaçla çatlağa bitişik taş ya da tuğlalar çıkarılır ve dikiş elemanları ya da çelik bağlantı elemanları yerleştirilir, taş ya da tuğla duvarın boşlukları, uygun bir karışımla düşük basınç altında doldurulur (Şekil 5.1 ve Şekil 5.2). Bu yöntem duvarın diğer yüzünde de uygulanmalıdır. Enjeksiyon bitince yapılan işin ne düzeyde gerçekleştiği değişik kotlardan alınan numuneler üzerinde yapılacak gözlemlerle kontrol edilmelidir. Yapılan yetersiz ise enjeksiyon tekrarlanmalıdır (Pergel, 2013).



Şekil 5. 1. Taş yığma yapılarda duvarlardaki düşey çatlakların onarımı(Kara, 2009)



Şekil 5. 2. Duvarlardaki düşey çatlakların dikişi(Kara, 2009)

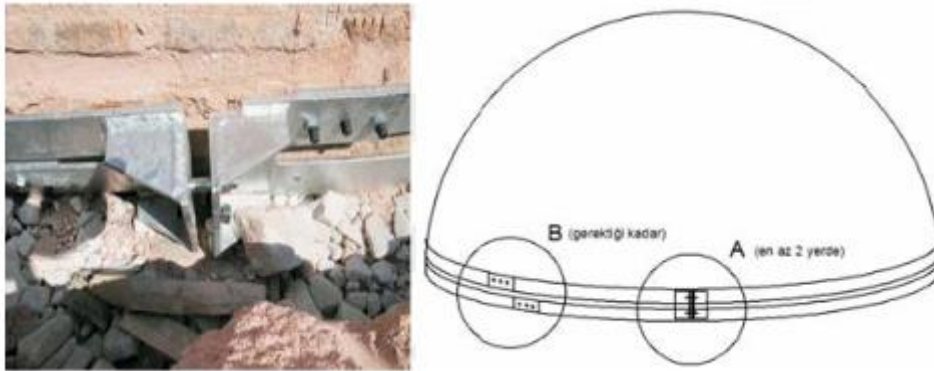
“Bazı durumlarda çatlakta enjeksiyon uygulaması yapılsa bile duvarlar, güvenli gerilme iletimine izin vermeyebilir. Bu durumda mevcut çatlak boyunca düşey kiriş (düşey hatıl) ya da kolon oluşturulur. Taş ya da tuğla duvar, düşeyde 15-20 cm, yatayda duvarın içine doğru 15-20 cm derinliğinde açılır. Açılan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

Çatlakların onarılması yetersiz olduğu zaman, yığma duvarların taşıma kapasitesini artırmak için duvar kesitini büyütme işlemi yapılır. Yığma duvarların en kesitlerini büyütme işlemi ya ek duvarlar yapılarak ya da püskürtme beton uygulaması ile yapılabilir. Yapılacak olan ek duvarların malzemesi önceki malzemeler ile uyumlu olmalıdır. Kalıp yapımının uygun olmadığı veya maddi açıdan ekonomik olmadığı durumda, ince tabaka halinde bir beton yapılması gerektiğinde, güçlendirme için uygulanabilecek en uygun metot püskürtme beton yöntemidir. Bu yöntem basınçlı hava yardımı ile yapılır. Tarihi yapılarda zorunlu olmadıkça uygulanmamalıdır. Eski bir yapıda duvar yüzeylerinin hepsi bu yöntem uygulanarak güçlendiriliyorsa bu yapının artık eski eser sınıfına girmeyeceği bilinmelidir.

5.1.3. Kubbelerin güçlendirilmesi

Kubbenin üst bölgesi basınç çalışırken alt bölgesi de çekmeye çalışır. Basınç ve çekme kuvvetlerinin olmadığı bölüm ise sınır çizgisidir. Bundan dolayı bu düzlemde (sınır düzlemi) kubbeler genellikle mesnetlendirilirler. Taş malzemesi basınç çalıştığından dolayı, sınır çizgisinin alt kısmında (çekme bölgesinde) çatlamlar görülebilir.

Kubbelerde görülen tipik hasar radyal çatlaklardır. Bu çatlaklar kubbe eteğinde çekme gerilmelerinin taşınamaması sonucu oluşurlar. Çatlakların daha fazla büyümesini engellemek için etek civarında çekme çemberi oluşturulur (Şekil 5.3). Çemberde kullanılacak çeliğin paslanmaz çelik olması tercih edilmelidir. Tam tersi durumda korozyon bakımı yapılması veya oluşturulan çemberin bir beton kesit içine alınması gerekebilir.

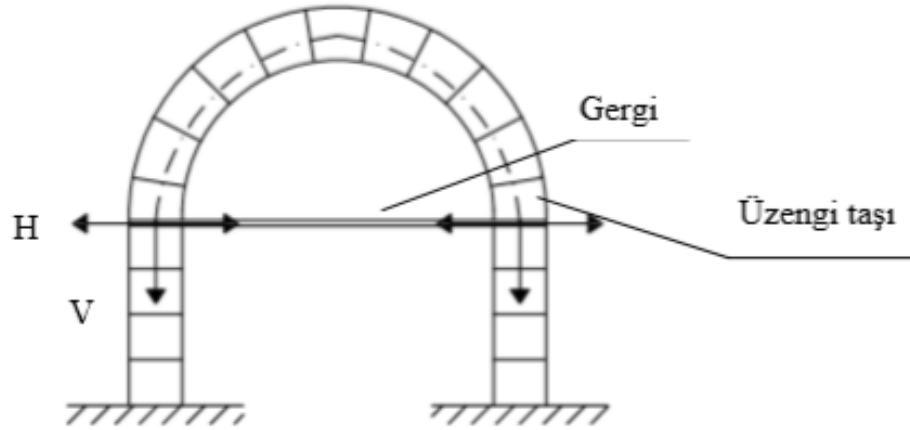


Şekil 5. 3. Kubbede oluşturulan çekme çemberi ve detayı (Şişik, 2017)

5.1.4. Tonozların ve kemerlerin güçlendirilmesi

Kemerler ve tonozlar basınç gerilmesi altında bulunurlar. Kemer ve tonozlarda en sık rastlanan hasar ve çatlaklar, yapı malzemesindeki bozulmalar ile merkezden sapmalar şeklinde olmaktadır. Çatlakların onarımında, epoksi dolgu malzemesi kullanılmaktadır. Eğer yapısal elemanlarda (malzemede) bozulmalar var ise, kemer ve tonozlar askıya alınarak, eski malzemeler çıkartılır ve yeni malzeme ile tamamlanır. Bu işlem çok dikkatli yapılmalıdır. Çünkü kemer ve tonozlarda yükler yapı elemanı bileşenleri tarafından birbirine iletilerek mesnetlere verilir üzerine gelen yüklerin artması veya yanal yüklerin etkisi ile kemer ve tonozların mesnet noktalarında açılmalar meydana gelebilmektedir (Yavuz, 2012).

Kemerlerin düşey duvarlara birleştiği uçlarındaki iki üzengi taşı arasına yerleştirilen gergiler, kemerleri güçlendirmek ve korumak için en iyi tekniktir (Şekil 5.4). Yapının maruz kaldığı çekme kuvvetini taşıyan bu elemanlar çelik, demir veya ahşap olabilir (Tetik, 2015).



Şekil 5. 4. Kemerin gergi ile güçlendirilmesi

Kubbe ile örtülü yığma yapılarda kemerler ayrı bir öneme sahiptirler. Böyle yapılarda kubbe kasnağı kemerlere oturmaktadır, kemerlerin bir kısmının zayıf olması kubbenin mesnet şartlarının her noktada aynı olmaması anlamına gelir. Bu ise kubbede farklı oturmalara oluşmasına dolayısıyla aşırı zorlanmalara sebep olur. Böyle bir durumda çözüm, kemerin daha az sehim yapacak şekilde güçlendirilmesidir. Bunun bir yolu kemerin altına yeni bir kemerin eklenmesidir. Bunun en güzel örneğini 16. yy 'da Mimar Sinan yapmıştır. Şekil 5.5' te de görüldüğü gibi II. Beyazıt Cami'nin zayıf olan kemeri altına bir sivri kemer teşkil edilerek güçlendirilmiştir (Erköseoğlu, 2012).



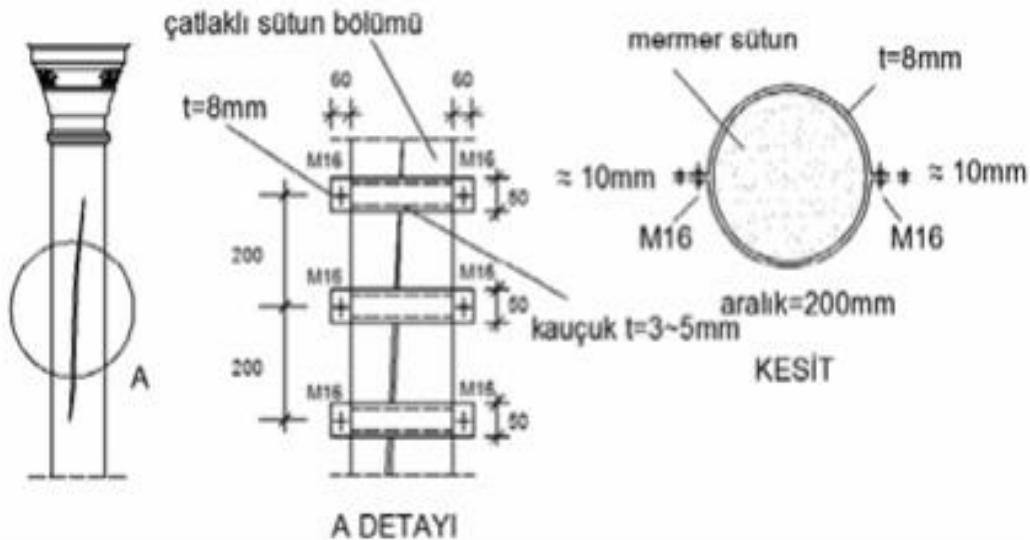
Şekil 5. 5. İstanbul II. Beyazıt Camii kemerinde Mimar Sinan tarafından yapılan güçlendirme (Şişik, 2017)

5.1.5. Sütunların ve minarelerin güçlendirilmesi

Minareler deprem esnasında oluşan çok yüksek devrilme momentleri nedeniyle en fazla hasar gören tarihi eser elemanlarıdır. İçindeki helisel merdiveni iyi yapılp kenetlenmiş olan minareler depreme karşı büyük direnç göstermektedir. Fakat her durumda hemen hemen tüm minarelerin depreme karşı güçlendirilmesi zorunludur (Chamaky,2014).

Sütun ve minarelerdeki küçük çaplı hasarlar genellikle çatlak olarak ortaya çıkmaktadır. Öncelikle yapılacak iş, bu çatlakların durağan olup olmadıklarının belirlenmesidir. Durağan ve küçük çatlakların onarılmasında yüzey temizliği sonrası basınç ile epoksi reçinesi veya epoksi harcı enjeksiyonu uygulanır. Devam eden çatlaklar için ayrıntılı incelemenin yapılması ve sebebinin belirlenerek gerekli tedbirlerin alınması gerekir. Daha büyük çatlaklarda ve ayrılmalarda dikiş yöntemi uygulanmaktadır (Şekil 5.6). Bunun için duvarlarda olduğu gibi, hasar gören elemanlar çıkarılır, paslanmaz metal kenetler ve tamir harcıyla birleşim sağlanır (Erköseoğlu, 2012).

“Tek başlarına duran sütunların ya da yığma yapıların ön gerilme verilerek güçlendirilmesi de mümkün olmakla birlikte uygulama her zaman pek kolay olmamaktadır. Sütunlara çember donatı ile dıştan ön gerilme verilmesi de elemanın güvenliğini artıran bir önlemdir (Şekil 5.7). Üzerlerinde kesme çatlakları bulunan sütunlar çoğu zaman geçmişte bu şekilde onarılmış olup günümüzde de onarılmaktadır” (Kara, 2009).



Şekil 5. 6. Sütunlarda çatlak onarımı



Şekil 5. 7. Çemberlenmiş sütun örneği (Şişik, 2017)

5.1.6. Döşemelerin güçlendirilmesi

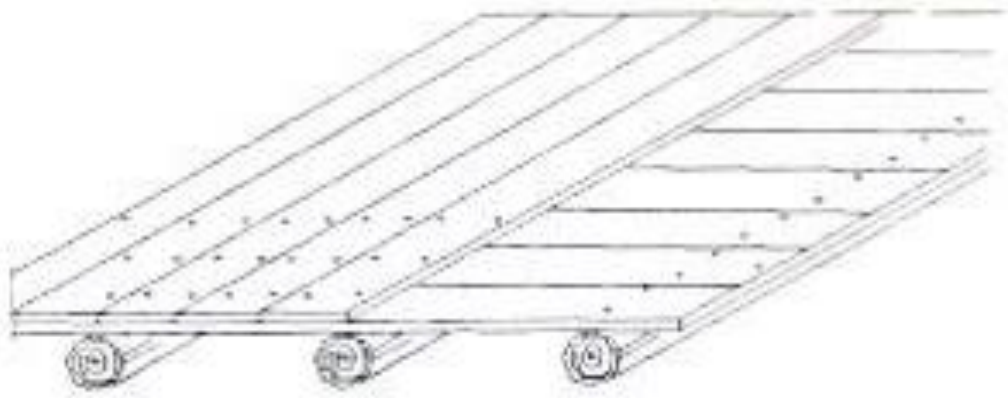
Döşemelerde karşılaşılan en büyük sorunlar, düşey taşıyıcı elemanlar ile döşeme arasındaki bağlantının yeterli olmamasıdır ve döşemenin rijit olarak davranamamasıdır. Bu problemlere ek olarak kullanılmış olan malzemelerin zaman geçtikçe özelliklerini yitirmesi ve yıpranmasıyla taşıma kapasitelerinde azalma oluşması da görülür.

Tarihi yapılarda sıklıkla kullanılan döşeme tipleri volta tipi döşemeler ve ahşap tipi döşemelerdir. Güçlendirilmelerinde, döşeme seviyesinde diyagonal çelik hatıllar ya da yatay çelik kafes sistemler kullanılarak desteklenmeleri sağlanabilir (Şekil 5.8) (Kara, 2009).



Şekil 5. 8. Çelik çaprazlar ile döşemenin rijitleştirilmesi (Kara, 2009)

Ahşap döşemelerde hasarlı kısımlar yeni malzemeler ile değiştirilebilir ve ahşap döşemelerinin üzerine tahtaların mevcut konumuna dik doğrultuda olacak şekilde ikinci döşeme tahtası yerleştirilebilir (Şekil 5.9).



Şekil 5. 9. Mevcut ahşap döşemenin üzerine uygulanan ikinci ahşap katman (Kara, 2009)

Bir diğer güçlendirme metodu ise kat seviyesinde betonarme hatılların oluşturulmasıdır. Uygulanacak olan bu metot ile depremin gerçekleştiği anda yatay yüklerin kat kütlelerine uygulayacağı etki ile döşemelerin daha iyi bir davranış göstermesi elde edilebilir.(Kara, 2009).

6. TARİHİ YAPILARIN DEPREM DAVRANIŞINI BELİRLEMEK İÇİN SAYISAL ANALİZ YÖNTEMLERİ

Tarihi yapıların yapısal analizlerini en doğru ve en güvenilir bir şekilde yapabilmek için yapıların geçmişi hakkında araştırma yapmak çok önemlidir. Tarihi yapıların etkisi altında kaldıkları yüklerin türleri ve yapının taşıyıcı sistemini oluşturan malzemelerin mekanik ve dayanım özellikleri hakkındaki belirsizlik, yapısal analiz sonucunda tarihi yapının strüktürel performansı ile ilgili elde edilen sonuçların güvenilirliğini azaltır.

Sayısal çözümleme metodu, tarihi yapıların mevcut strüktürel performanslarını tayin etmede uygulanan hesaplar için en verimli metottur. Tarihi yapıların strüktürel performansı üç adımda tayin edilir. Başlangıçta matematiksel hesap modeli hazırlanır. Sonrasında en uygun analiz metodu ile belirlenen yükler ile diğer etkilere karşı sayısal çözümleme gerçekleştirilir. Yapının strüktürel davranışının ve performansının belirlenmesi için uygulanacak olan en kritik işlem hesap sonuçlarının değerlendirilmesidir (Can ve Ünay, 2011).

6.1. Sayısal Modelleme

Sayısal modelleme; değişik malzemelerden yapılmış ve değişkenlik gösteren kesit geometrisi ile taşıyıcı elemanların, mekaniğin ana kurallarına göre doğru bir şekilde ve uyumlu olarak matematiksel ifadelerle dönüştürülmesidir.

Sayısal modellemede amaç, bütün yapının, belli bir kısmının veya taşıyıcı sistem elemanlarının değişik yükler ya da çevresel etkiler altındaki gerçek davranışının tespit edilmesidir. Tarihi yapıların taşıyıcı sistemi genellikle karışıktır. Bundan dolayı, modelleme yapabilmek için sadeleştirmeler yapılması gereklidir. Sade ve basit bir model yapmak için, taşıyıcı sistem elemanlarında kullanılan malzemelerin mekanik özelliklerinin de doğru olarak tanımlanması gerekir.

Tarihi yapılarda genellikle yapısal çözümleme için sonlu elemanlar yöntemi kullanılır.

“Sonlu elemanlar yöntemi, yapısal mekaniğin karmaşık problemlerinin çözümü için geliştirilen önemli bir tekniktir ve karmaşık sistemler için en tercih edilen yöntemlerden biridir. Sonlu elemanlar yönteminde, yapısal sistem düğüm adı verilen ayrı noktalarda birbirine bağlı bir dizi sonlu elemanlar tarafından modellenmiştir.

Elemanlar kalınlık, ısı genleşme katsayısı, yoğunluk, Young Modülü, kayma modülü ve Poisson oranı gibi fiziksel özelliklere sahip olabilir” (Uğurlu, 2019).

“Tarihi yapıların çoğu kubbe ve tonoz gibi eğrisel yüzeylere sahip masif taşıyıcı sistem elemanlarından oluşmuştur. Sayısal çözümleme yöntemiyle yapılan hesaplarla güvenilir sonuçlar elde edebilmek için sade ve düzgün bir sonlu elemanlar örüntüsünün oluşturulması gereklidir. Sayısal modelde kullanılan elemanların bireysel davranışı, hesapların güvenilir sonuçlar vermesinde çok önemli bir rol oynamaktadır. Ancak sayısal modeli (sonlu elemanlar modeli) oluşturan bireysel sonlu elemanın modelde doğru bir şekilde kullanılması gerekmektedir. Sonlu eleman analizlerinde genellikle aşağıda geometrik özellikleri tanımlanan bireysel eleman tipleri kullanılmaktadır” (Can ve Ünay, 2011).

- Çubuk veya Kiriş Elemanı: Bu eleman tipi her iki eksen etrafında eğilme ve kayma şekil değiştirmesi, aksel ve burulma şekil değiştirmesi özelliği gösteren, çizgisel eleman tipidir. Genel bir çubuk elemanın altı serbestlik derecesi vardır. Yapısal analiz için hazırlanan sayısal modellerde, düğüm noktalarının koordinatları global koordinat eksenleri olarak bilinen genel bir koordinat eksenine göre tanımlanır. Sonlu elemanların ise yerel koordinat eksenleri olarak bilinen kendi koordinat sistemi vardır.
- Genel Kabuk Elemanı: Kabuk ya da plak elemanları, kabukların, plakların, duvarların ve herhangi bir uzaysal formun yapısal analizinde kullanılır. Kabuk veya plak elemanları genellikle kendilerine üçgen veya dörtgen görünüm veren, üç ya da dört düğüm noktasının birleştirilmesiyle oluşturulurlar. Yapılacak hesabın cinsine göre sayısal modellerde her düğüm noktasında dört serbestlik derecesi vardır. Kabuk ve plak elemanlarda da hesaplar sonucunda elde edilen iç kuvvetlerin ve gerilmelerin tanımlanabilmesi için yerel eksenler vardır. Yerel eksenler genellikle düğüm noktalarının yazılış sırasına göre belirlenir.
- Üç Boyutlu Katı Eleman: Üç boyutlu katı elemanlar görünümülerinden dolayı “tuğla” eleman olarak da bilinirler. Genellikle sekiz düğüm noktasının birleştirilmesiyle oluşan üç boyutlu katı elemanlarda yapısal analiz sonunda, altı serbestlik derecesi olan her düğüm noktasında global eksenler doğrultusunda gerilme ve şekil değiştirme sonuçları elde edilir. Masif, üç-boyutlu kütsel yapıların ve taşıyıcı sistem elemanlarının modellenmesinde kullanılırlar (Can ve Ünay, 2011).

Tarihi yapılarda sayısal modelleme yapılması sırasında birden fazla kriterin dikkate alınması gerekmektedir. Yığma yapıyı oluşturan elemanların gerçek davranışlarını inceleyebilmek için, birbirinden farklı modelleme seçenekleri vardır. Pratikte, yığma yapıların çözümlenmesinde üç farklı yaklaşım yöntemi bulunmaktadır:

İlk yaklaşım doğrusal elastik modelleme tekniğidir ve yapının tamamının hiç bir çatlak ya da süreksizlik olmaksızın bütün olarak davrandığı kabulüne dayanır. Çekme kuvvetleri ve gerilmelerin olduğu alanların çatlamadığı ve çekme gerilmelerini almadığı kabul edilir. İkinci yaklaşım yığma yapı malzemesinin çekme gerilmeleri olmaksızın strüktürel varlığını sürdürebildiği varsayımına dayanarak, modern tasarım kuramlarıyla uyumludur. Bu yaklaşımdaki sayısal model ilk yaklaşıma göre daha karmaşıktır. Analizler sırasında çekme gerilmelerinin olduğu bölgeler modeldeki süreksizliklerle tanımlanır. Bunu gerçekleştirmek için art arda birçok analiz yapılması gerekir ve her analizde süreksizlik çatlağın konumuna göre yeniden modellenir. Bazı doğrusal elastik olamayan analiz yapan bilgisayar programları bu tür analizler için çatlakları modellemede özel boşluk elemanı kullanılmasını sağlamaktadır. Boşluk elemanları sadece basınç gerilmelerini iletirken, çekme gerilmelerini iletmezler. Bu modelleme tekniği aynı işlevi yapan yay elemanlarıyla da yapılabilir. Üçüncü yaklaşımda ise, hesabı yapılacak olan yapıda veya elemanda çekme gerilmelerine karşı, harç birleşim yerleri gibi zayıf olduğu bilinen bölgeler daha ayrıntılı bir şekilde modellenir. Taş, tuğla ve harç gerçek malzeme özellikleri göz önünde bulundurularak modellenir (Can ve Ünay, 2011).

Hesap sonuçlarının iyi bir şekilde düzenlenmesi, elde edilen sonuçların doğru değerlendirilmesi ve yorumlanmasına yardımcı olacaktır. Bir tarihi yapı için hazırlanan orta büyüklükte bir sonlu elemanlar modeli binlerce serbestlik derecesi içerir. Bütün sonuçları aynı anda tek bir dosyada incelemek olanaksızdır. Hesap sonuçlarını yorumlamanın ve yapının davranışını anlamının en kolay yolu, yapısal analiz için hazırlanan sonlu elemanlar modelinin uygulanan yükler altında göstermiş olduğu şekil değiştirmelerdir. Çubuk elemanlarda, her iki yerel eksen etrafında oluşan eğilme momenti (M) ve kesme kuvvetleri (V), eksenel kuvvet (N) ve burulma momenti (T) değerleri diyagramlar ve gerilme dağılımı haritalarıyla sunulur. Ancak, tarihi binalar taşıyıcı sistemlerinin geometrik özelliklerinden dolayı kabuk ve plak elemanlarıyla modellemeye daha uygundur. Kabuk ve plak elemanlarda iç kuvvetlerin eksenel kuvvet dağılımı ya da gerilme dağılımını gösteren haritalarla sunulması, hesap sonuçların kolayca değerlendirilmesini ve yorumlanması sağlar (Can ve Ünay, 2011).

7. ULUSLARARASI DEPREM YÖNETMELİKLERİ

7.1. Avrupa Deprem Yönetmeliği

EN 1998 deprem yönetmeliği, deprem bölgelerindeki binaların ve diğer inşaat mühendisliği işlerinin tasarımı ve inşası için geçerlidir. Amacı bir deprem durumunda aşağıdakilerden emin olmaktır (Çelikağ, 2018):

- İnsan hayatının korunduğundan
- Hasarın sınırlı olduğundan
- Sivil korunma için önemli yapıların kullanılır durumda olduğundan

Sismik olayların rastgele doğası ve etkilerine karşı koymak için mevcut olan sınırlı kaynaklar, bu hedeflere ulaşılmasını kısmen mümkün kılmakta ve sadece olasılık olarak ölçülebilmektedir. Sadece olasılık olarak ölçülebilen farklı bina kategorilerine sağlanabilecek korumanın kapsamı, kaynakların en uygun şekilde tahsis edilmesi meselesidir ve dolayısıyla, diğer kaynaklı riskler ve küresel ekonomik kaynaklar açısından, sismik tehlikenin göreceli önemine bağlı olarak ülkeden ülkeye değişmesi beklenmektedir. Nükleer santraller, açık deniz yapıları ve büyük barajlar gibi özel yapılar EN 1998'in kapsamı dışındadır. EN 1998, sismik bölgelerdeki yapıların tasarımı için diğer ilgili EN Eurocode'ların hükümlerine ek olarak gözetilmesi gereken hükümleri içermektedir. Bu açıdan diğer EN Eurocode'ları tamamlar (Çelikağ, 2018). EN 1998 deprem yönetmeliğinin bölümleri Çizelge (7.1)'de verilmiştir.

Çizelge 7. 1. EN 1998 deprem yönetmeliğinin bölümleri (Çelikağ, 2018)

EN 1998 BÖLÜMLERİ	
EN 1998-1:2004	Eurocode 8: Depreme dayanıklı yapıların tasarımı - Bölüm 1: Genek kurallar, sismik etkiler ve binalar için kurallar
EN 1998-2:2005	Eurocode 8: Depreme dayanıklı yapıların tasarımı - Bölüm 2: Köprüler
EN 1998-3:2005	Eurocode 8: Depreme dayanıklı yapıların tasarımı - Bölüm 3: Binaların değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi
EN 1998-4:2006	Eurocode 8: Depreme dayanıklı yapıların tasarımı - Bölüm 4: Silolar depolar ve boru hatları
EN 1998-5:2004	Eurocode 8: Depreme dayanıklı yapıların tasarımı - Bölüm 5: Temeller, istinat yapıları ve geoteknik yönleri
EN 1998-6:2005	Eurocode 8: Depreme dayanıklı yapıların tasarımı - Bölüm 6: Kuleler, direkler ve bacalar

EN 1998 yönetmeliğine göre uygulanan mod birleştirme yöntemi için hesaplanan etkin kütlelerin toplamının bina toplam kütlelerinin % 90' ından daha az olmaması gerekmektedir.

7.2. Türkiye Deprem Yönetmeliği

Ülkemizde 10 adet deprem yönetmeliği yürürlüğe girmiştir.

- 1940 - Zelzele Mıntıklarında Yapılacak İnşaata Ait İtalyan Yapı Talimatnamesi
- 1944 - Zelzele Mıntıklararı Muvakkat Yapı Talimatnamesi
- 1949 - Türkiye Yersarsıntısı Bölgeleri Yapı Yönetmeliği
- 1953 - Yersarsıntısı Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
- 1962 - Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY)
- 1968 - Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY)
- 1975 - Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY)
- 1998 - Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY)
- 2007 - Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY)
- 2018- Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY)

Hazırlanan bu yönetmeliklerde, yapının yer aldığı bölgenin depremselliği ve o bölgenin zemin özellikleri göz önünde bulundurulmuş yapıların, depreme dayanıklı tasarımı ve yapımı için uyulması gereken minimum koşullar verilmektedir. Yönetmelik Hazırlama Komisyonu ve 110 kişilik alt çalışma grubu üyeleriyle birlikte 8 Çalıştay sonucunda Deprem Yönetmeliği güncellenmiş olup 18 Mart 2018 tarihli Resmi Gazete’de yayınlanmış, 1 Ocak 2019 tarihinde de yürürlüğe girmiştir. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği’nin güncellenmesinin gerekçeleri ise aşağıda maddeler halinde verilmiştir (AFAD).

- Gelişen bilgi ve teknolojilere paralel olarak ihtiyaçlar doğrultusunda yönetmeliğin revize edilmesinin kaçınılmazlığı ile kullanılan malzeme çeşitliliğinin ve yapı modellerinin artması
- Mevcut yapı stoğunun önemli bir kısmının deprem dayanımının yetersiz olduğu gerçeği
- Kentsel Dönüşüm ve yapısal risk azaltma çalışmaları kapsamında, değerlendirme ve güçlendirme (AFAD)

“2018 Türkiye Deprem Yönetmeliğinin amacı yeniden yapılacak, değiştirilecek, büyütülecek resmi ve özel tüm binaların ve bina türü yapıların tamamının veya bölümlerinin deprem etkisi altında tasarımı ve yapımı ile mevcut binaların deprem etkisi altındaki performanslarının değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi için gerekli kuralları ve minimum koşulları belirlemektir” (2018 TBDY).

Depreme dayanıklı yapı tasarımı çerçevesinde TBDY 2018'e göre uygulanan mod birleştirme yöntemi için hesaplanan etkin kütlelerin toplamının bina toplam kütlelerinin % 95' inden daha az olmaması gerekmektedir.

7.3. Amerika Deprem Yönetmeliği

ASCE 7-16 deprem yönetmeliği, bina yönetmeliği gerekliliklerine tabi olan binaların ve diğer yapıların tasarımı için minimum yük gerekliliklerini sağlar. Mukavemet tasarımı ve izin verilen gerilme tasarımı için birlikte kullanılmak üzere geliştirilmiş yükler ve uygun yük kombinasyonları ortaya konulmuştur. Tasarım dayanımları ve izin verilen gerilme sınırları için, binalarda kullanılan geleneksel yapı malzemelerinin tasarım özellikleri dikkate alınır. Bina yapısı, öngörülen deformasyon ve dayanım talebi sınırları dâhilinde tasarım yer hareketlerine dayanacak yeterli dayanım, rijitlik ve enerji yayma kapasitesi sağlayabilen tam yanal ve dikey kuvvete dayanıklı sistemleri içerir. Tasarım yer hareketlerinin, bir bina yapısının herhangi bir yatay yönü boyunca meydana geldiği varsayılır. Yapı sistemlerinin yeterliliği, bir matematiksel modelin oluşturulması ve bu modelin tasarım yer hareketlerinin etkileri açısından değerlendirilmesi yoluyla gösterilir (ASCE 7-16).

Yapının doğal titreşim modlarını belirlemek için yapılan analizde model tarafından dikkate alınan dikey yatay tepki yönlerinin her birinde gerçek kütlelerin en az yüzde 90'ının birleşik modsal kütle katılımını elde etmek için yeterli sayıda mod içermelidir (ASCE 7-16).

7.4. Hindistan Deprem Yönetmeliği

IS 1893:2016 (Part 1) deprem yönetmeliği öncelikle binaların, sıvı istinat yapılarının, köprülerin, setlerin ve istinat duvarlarının, endüstriyel ve yığın benzeri yapıların ve beton, duvar ve toprak barajların depreme dayanıklı tasarımı için deprem tehlike değerlendirmesi ile ilgilidir (IS 1893:2016).

IS 1893: 2016 yönetmeliğine göre uygulanan mod birleştirme yöntemi için hesap edilen toplam etkin kütlelerin toplam bina kütlelerinin % 90' ından daha az olmaması gerekmektedir.

7.5. Yeni Zelanda Deprem Yönetmeliği

Yeni Zelanda'daki yapılarda deprem eylemlerinin belirlenmesi için prosedürler sağlar. Doğrulama prosedürleri, saha tehlike tespiti, yapısal özelliklerin değerlendirilmesi, deprem etkisi etkileri için yapısal analiz, deformasyonların belirlenmesi ve limitleri ve yapı parçalarının sismik tasarımı için gereklilikleri verir. Nihai sınır durum tasarımının özelliklerini ve kullanılabilecek malzemeye özel yapısal tasarım standartlarının gerekliliklerini kapsar. Yönetmelik, yapı mühendisleri tarafından, binalar ve diğer yapılar gibi yapılara etkiyen depremlerden kaynaklanan kuvvetleri ve deformasyonları değerlendirmek ve hesaplamak için kullanılır. Mühendislerin Yeni Zelanda Bina Yönetmeliği'nin depreme dayanıklılık gereksinimlerine uygun yapılar tasarlamasına yardımcı olur (NZS 1170.5:2004).

7.6. İtalya Deprem Yönetmeliği

NTC 2018 deprem yönetmeliği yangın durumunda bile mekanik dayanım ve kararlılık ve dayanıklılık gibi temel gereksinimler ile gerekli performans açısından yapıların tasarım, uygulama ve test ilkelerini tanımlar. Bu nedenle genel güvenlik kriterlerini sağlarlar, projede kullanılması gereken eylemleri belirtirler, malzemelerin ve ürünlerin özelliklerini tanımlarlar ve daha genel olarak işlerin yapısal güvenliği ile ilgili yönleri ele alırlar. Dikkate alınan farklı sınır durumlarına uygunluğun değerlendirildiği sismik proje eylemleri, şantiyenin “temel sismik tehlikesi” nden başlayarak tanımlanır ve yerel sismik tepkiyi belirleyen morfolojik ve stratigrafik özelliklerin bir fonksiyonudur (NTC 2018).

NTC 2018 deprem yönetmeliğine göre uygulanan mod birleştirme yöntemi için hesap edilen toplam etkin kütlelerin toplam bina kütlelerinin % 90' ından daha az olmaması gerekmektedir.

8. ŞEYH SADREDDİN KONEVİ CAMİ VE TÜRBEŞİ

8.1. Yapının Tarihçesi ve Taşıyıcı Sistemi

Tarihi eser; Konya İlinin Meram İlçesinde, Sadreddin Konevi Mahallesi Turgutoğlu Sokak ile Sadreddin Konevi Sokağının kesiştiği yerde bulunmaktadır. 1274 yılında Şeyh Sadreddin Konevi adına yaptırılmıştır (Şekil 8.1).



Şekil 8. 1. Şeyh Sadreddin Konevi Cami

Şeyh Sadreddin Konevi Camisinde iki tane kitabe bulunmaktadır (Şekil 8.2 ve Şekil 8.3). Kitabeler caminin ana giriş kapısının üst bölümünde yer alır. Biri inşa diğeri ise onarım kitabesidir.



Şekil 8. 2. Şeyh Sadreddin Konevi Cami inşa kitabesi



Şekil 8. 3. Şeyh Sadreddin Konevi Cami onarım kitabesi

Cami, 1899 yılında Sultan II. Abdülhamid döneminde Vali Mehmed Ferid Paşa tarafından onarılmıştır. Yapı günümüzde özgün halini yansıtmaktan oldukça uzaktır.

Kitabede ve arşiv kayıtlarında geçen zaviye ve şadırvan günümüze ulaşmamıştır (Vakıflar Genel Müdürlüğü).

Son cemaat yeri üzerinden girilen, kuzey – güney doğrultusunda uzanan boyuna dikdörtgen planlı harim; harimin batısında, ana girişin açıldığı, güneybatı köşede minare, zemin katı giriş ve son cemaat yeri, üst katı kütüphane işlevli kullanılan, kuzey – güney doğrultulu kuzey yönde harimden taşırılmış iki katlı bölüm; harimin doğusunda yaklaşık orta ekseninde kare planlı türbe; kuzeyinde ise harimi boydan boya kat eden enine dikdörtgen planlı ve iki katlı düzenlenmiş kadınlar bölümünden oluşan yapı topluluğu çeşitli dönemlerde onarımlar geçirerek günümüzdeki plan şemasına ulaşmıştır (Vakıflar Genel Müdürlüğü).

Sadrettin Konevi Cami taşıyıcı sistemin ana unsurunu yığma teknikle inşa edilmiş taş ve tuğla örgü duvarlar oluşturur. Tuğla örgü, doğu duvar üzerinde kısmen takip edilebilmektedir ancak diğer tüm duvar yüzeyleri sıvalıdır.

Camide taşıyıcı sistemin bir diğer unsuru sütunlar ve ayaklardır (Şekil 8.4). Harimde birinci ve ikinci sahnı ayıran Bursa kemeri ile geçilmiş başlıklı, kütüphanede ise başlıksız dikdörtgen kesitli taş ayaklar kullanılmıştır. Harim bölümünde tekrar ikinci ve üçüncü sahnı ayıran ikisi bağımsız biri duvara gömme ahşap sütunlar kullanılmıştır.



Şekil 8. 4. Şeyh Sadreddin Konevi Cami sütun (türbe)

Taşıyıcı sistemin bir diğer önemli parçası olan kemerler; harimde (Şekil 8.5), kütüphanede (Şekil 8.6) ve türbede kullanılmıştır. Türbedeki kemerler mermer diğerleri taştır.



Şekil 8. 5. Şeyh Sadreddin Konevi Cami kemer (harim)



Şekil 8. 6. Şeyh Sadreddin Konevi Cami kemer (kütüphane)

Harim: Kuzey – güney doğrultulu boyuna dikdörtgen planlı harim, kuzeyde ikisi serbest biri doğu duvara gömülmüş üç ahşap sütunla hemen hemen eşit üç enine sahına bölünmüştür (Şekil 8.7). Üçüncü sahında, kuzeydoğu ve kuzeybatı köşelerde geç dönem eki niteliksiz ahşap bölücü duvarlarla iki mekân yapıya eklenmiştir (Şekil 8.8). Kuzeydoğudaki imam odası işlevli kullanılırken, kuzeybatıdaki beş tane mezarı

çevrelemektedir (Şekil 8.9). Üçüncü sahnın üst bölümü, ahşap direklere oturtulmuş mahfil olarak kullanılmaktadır (Vakıflar Genel Müdürlüğü).



Şekil 8. 7. Şeyh Sadreddin Konevi Cami harim



Şekil 8. 8. Şeyh Sadreddin Konevi Cami harim (3. sahn)



Şekil 8. 9. Şeyh Sadreddin Konevi Cami harim (mezar)

Son Cemaat Yeri ve Kütüphane: Kuzey – güney doğrultusunda uzanan boyuna dikdörtgen planlıdır. Güneybatı köşesine minare bulunmaktadır. Zemin katı son cemaat yeri olarak üst katı ise kütüphane işlevli kullanılmaktadır (Şekil 8.10 ve Şekil 8.11) (Vakıflar Genel Müdürlüğü).



Şekil 8. 10. Şeyh Sadreddin Konevi Cami kütüphane (Vakıflar Genel Müdürlüğü)



Şekil 8. 11. Şeyh Sadreddin Konevi Cami kütüphane salonu

Kadınlar Bölümü: Harimin kuzeyine yaslanmış enine dikdörtgen planlı ve iki katlıdır (Şekil 8.12 ve Şekil 8.13). Batı duvarı son cemaat bölümüne açılır. Kadınlar bölümü betonarme kirişler ile desteklenmiştir. Bu bölümün yapıya yakın dönemde eklendiği anlaşılmaktadır (Vakıflar Genel Müdürlüğü).



Şekil 8. 12. Şeyh Sadreddin Konevi Cami kadınlar bölümü zemin kat



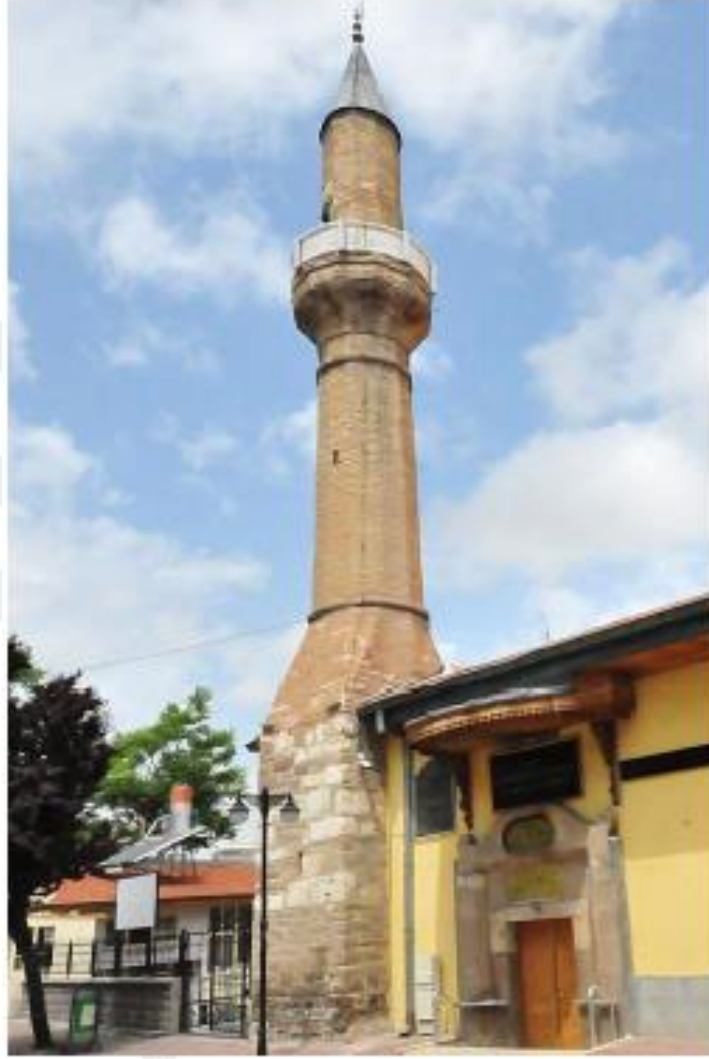
Şekil 8. 13. Şeyh Sadreddin Konevi kadınlar bölümü 1. Kat

Türbe: Kare planlıdır ve tümüyle açıktır (Şekil 8.14). Kare kesitli on iki mermer sütun üzerinde yükselmektedir. Büyük oranda açık olan ahşap piramidal külah, kare gövde üzerine ahşap sekizgen tambur aracılığıyla oturmuştur (Vakıflar Genel Müdürlüğü).



Şekil 8. 14. Şeyh Sadreddin Konevi Türbesi

Minare: Giriş ve son cemaat yeri bölümünün güneybatı köşesinde yer alır (Şekil 8.15). Caminin saçak seviyesine kadarki bölümünde kaba yonu taş örgü ve bunun üzerindeki gövde, şerefe ve petek bölümlerinde ise tuğla örgü ile inşa edilmiştir (Vakıflar Genel Müdürlüğü).



Şekil 8. 15. Şeyh Sadreddin Konevi Cami minare

8.2. Şeyh Sadreddin Konevi Cami' nin Modellenmesi

Tarihi caminin modellenmesi için SAP2000 V20.2.0 analiz programı kullanılmıştır. Tarihi yapının duvarlarında taş ağırlıklı olmakla beraber tuğla malzemesi de kullanılmıştır. Tuğla malzeme kullanımı doğu cephesinin bir kısmında görülmektedir (Şekil 8.16).



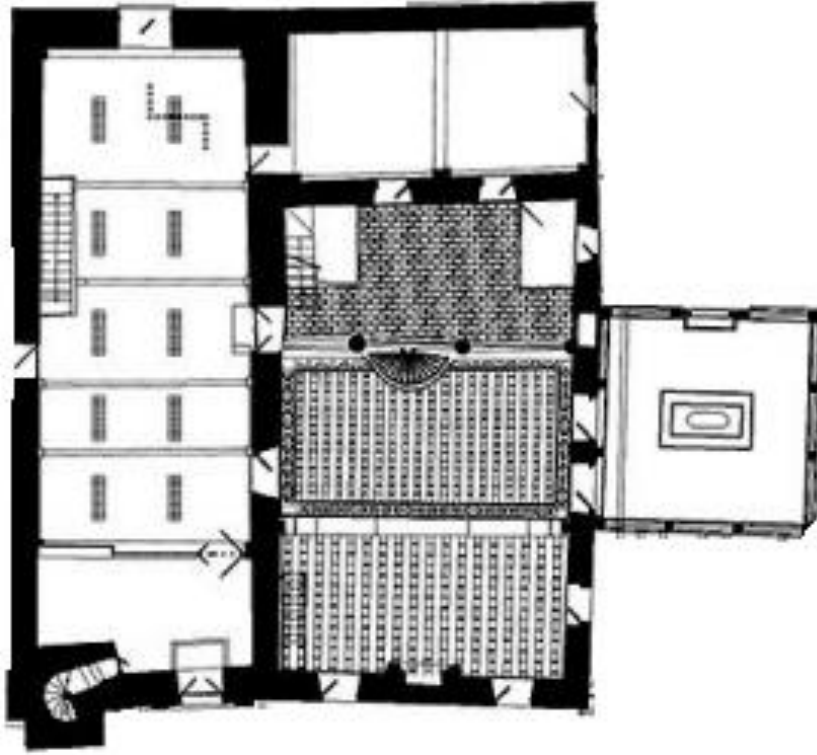
Şekil 8. 16. Şeyh Sadreddin Konevi Cami doğu cephesi tuğla duvar

Modelde yapısal çözümleme 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Eurocode 8 ve IS 1893:2016 yönetmeliklerine göre üç kez gerçekleştirilmiştir.

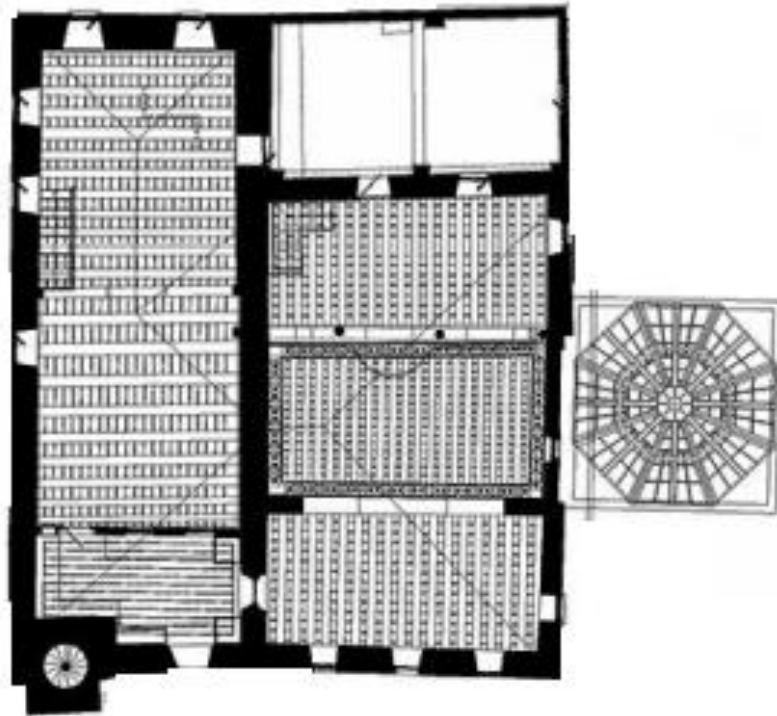
Şeyh Sadreddin Konevi Cami'nin yapısal performansını belirlemede sonlu elemanlar analizi yöntemi kullanılmıştır. Analiz sonrası her Shell elemanın kendi yerel eksenine göre meydana gelen çekme veya basınç kuvvetleri ile kesme kuvvetleri yapının dayanımı hakkında bilgi vermektedir. SAP 2000 programının formatına göre TBDY 2018 ile Eurocode 8 yönetmeliklerinin analizlerinde meydana gelen çekme veya basınç kuvvetleri x yönü için F11 ve y yönü için F22 olarak kesme kuvvetleri ise F12 olarak tanımlanmıştır. Is 1893:2016 yönetmeliğine göre yapılan analizde ise çekme veya basınç gerilmeleri x yönü için S11 ve y yönü için S22 olarak kesme gerilmeleri ise S12 olarak tanımlanmıştır.

Caminin rölöveleri Şekil 8.17 ile Şekil 8.18' de verilmiştir. Modelleme yapının rölövesi esas alınarak yapılmıştır (Şekil 8.19, Şekil 8.20 ve Şekil 8.21). Programda doğu cephesindeki duvarın bir bölümü tuğla olarak, diğer tüm duvarların malzemesi taş olarak tanımlanmıştır. Türbenin külah kısmı ahşap diğer bölümleri mermer olarak tanımlanmıştır.

Caminin kütüphane salonu ve harim bölümlerinde ahşap kirişleme tavan mevcuttur.



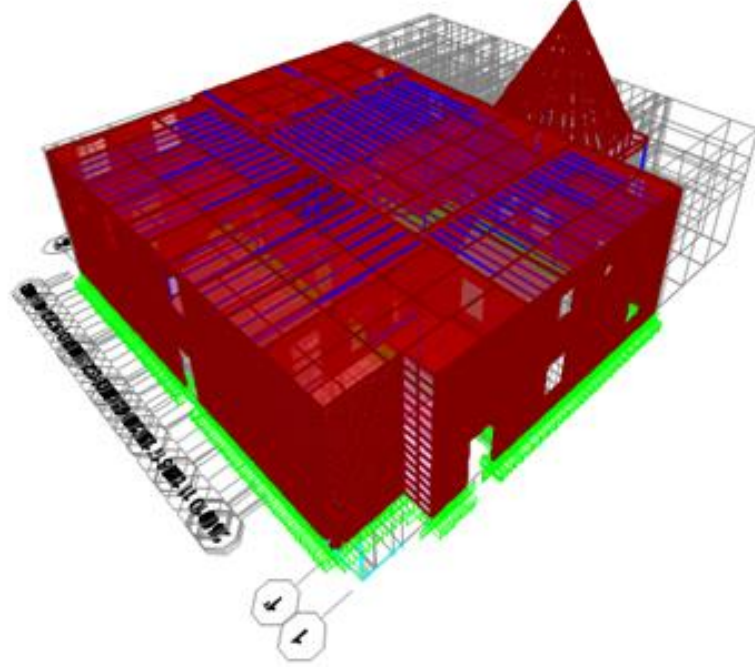
Şekil 8. 17. Şeyh Sadreddin Konevi Cami alt kat planı



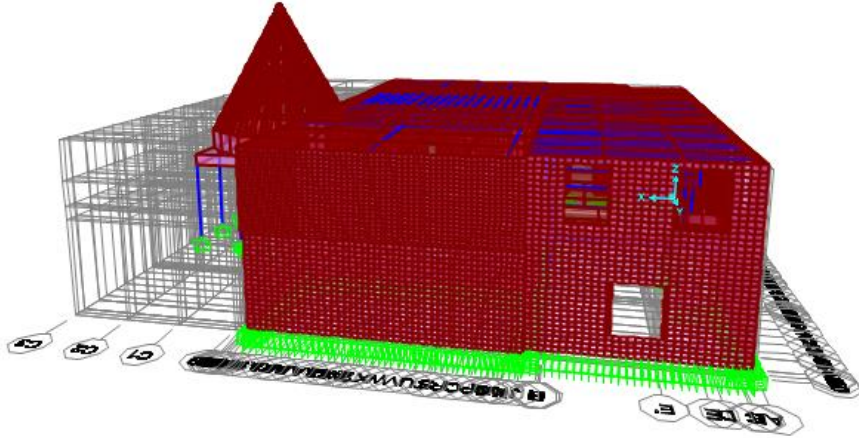
Şekil 8. 18. Şeyh Sadreddin Konevi Cami üst kat planı

Yapıda yer alan minare yapıya ileri tarihli bir dönemde ilave edildiği için ve yapıdan bağımsız çalıştığı için modellemeye bulunmamaktadır.

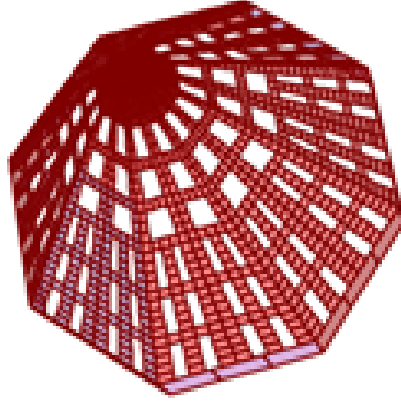
Modelde yapının taşıyıcı elemanları shell olarak tanımlanmıştır. 41976 adet düğüm noktası kullanarak 39241 shell (alan) oluşturulmuştur. Zemine aktarılan noktalarda 855 adet sabit mesnet tanımlanmıştır.



Şekil 8. 19. Şeyh Sadreddin Konevi Cami üç boyutlu modellemesinin önden görünüşü



Şekil 8. 20. Şeyh Sadreddin Konevi Cami üç boyutlu modellemesinin yandan görünüşü



Şekil 8. 21. Şeyh Sadreddin Konevi Cami Türbesi külah kısmı

Türkiye’de yapılarda kullanılan malzemelerin özelliklerini belirlemek için tarihi eserlerden malzeme örneği alma ve teste tabi tutma imkânı bulunmamaktadır. Şeyh Sadreddin Konevi Camide kullanılan malzemelerin özellikleri, hem uluslararası literatürde önerilen bağıntılardan hem de incelenen esere benzer daha önce yapılmış yapıların çalışmalarından faydalanılarak belirlenmiştir.

8.3. TBDY 2018’ e Göre Yapısal Analiz İçin Oluşturulan Modellemelerde Kullanılan Parametreler

Hesaplar donatısız yığma yapılar için yapılacaktır.

Yapılara etkiyecek deprem kuvvetlerinin hesabında TBDY 2018’e göre kullanılan parametreler:

- I (Bina Önem Katsayısı) = 1,2
- BKS (Bina Kullanım Sınıfı) = 2
- R (Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı) = 2,5
- D (Dayanım Fazlalığı Katsayısı) = 1,5
- BYS (Bina Yükseklik Sınıfı) = 8
- DTS (Deprem Tasarım Sınıfı) = 3
- Deprem Yer Hareketi Düzeyi = DD2
- Yerel Zemin Sınıfı = ZD

Yerel zemin sınıfı için zemin etüdü yapılması imkânı olmadığı için o bölgedeki genel yerel zemin sınıfı hesaplarda kullanılmıştır.

TBDY 2018'e göre yığma binaların tasarımı Dayanıma Göre Tasarım (DGT) yaklaşımı ile yapılacaktır.

Hesaplarda kullanılacak harita spektral ivme katsayıları, yerel zemin etki katsayıları ve periyotlar (Çizelge 8.1); yapının bulunduğu $x = 37.869184$, $y = 32.482583$ koordinatları için <https://tdth.afad.gov.tr> adresinden alınmıştır.

Çizelge 8. 1. Harita spektral ivme katsayıları, yerel zemin etki katsayıları ve periyot

Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı (S_s)	0.308
1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı (S_1)	0.073
Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı (S_{DS})	0.479
1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı (S_{D1})	0.175
Yatay elastik tasarım spektrumunda sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu (T_L)	6
1.0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayısı (F_1)	2.400
Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı (F_s)	1.554
Spektrum köşe periyodu (T_B)	0.366

TBDY 2018' e göre taşıyıcı duvarların elastisite modülü (E_{duv}) değeri yapısal çözümleme için 750fk değerine eşit alınacaktır. Duvar kayma modülü (G_{duv}), elastisite modülünün % 40' ı olarak alınacaktır.

8.3.1. Sap 2000 modellerinin tanımlamaları

Yapıda kullanılan taş ve tuğla malzemelerine ait verilerin Sap2000 programındaki değerler Şekil (8.22) ve Şekil (8.23)' te verilmiştir.

Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: TUĞLA

Material Type: Other

Material Grade:

Material Notes: Modify/Show Notes...

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 1.765E-08

Mass per Unit Volume: 1.800E-12

Units

N, mm, C

Isotropic Property Data

Modulus Of Elasticity, E: 4950

Poisson, U: 0.2

Coefficient Of Thermal Expansion, A: 1.170E-05

Shear Modulus, G: 2062.5

Şekil 8. 22. Tuğla malzemesinin özellikleri (TBDY 2018 için)

Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: TAŞ

Material Type: Other

Material Grade:

Material Notes: Modify/Show Notes...

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 2,400E-05

Mass per Unit Volume: 2,447E-09

Units

N, mm, C

Isotropic Property Data

Modulus Of Elasticity, E: 5250,

Poisson, U: 0,2

Coefficient Of Thermal Expansion, A: 1,170E-05

Shear Modulus, G: 2187,5

Şekil 8. 23. Taş malzemesinin özellikleri (TBDY 2018 için)

Yapı ile ilgili deprem parametreleri programda ilgili bölüme girilmiştir (Şekil 8.24). EX ve EY deprem yükleri tanımlanmıştır (Şekil 8.25 ve Şekil 8.26).

Response Spectrum IBC 2006 Function Definition

Function Name: ZD-R2,5

Function Damping Ratio: 0,05

Parameters

☐ Ss and S1 from USGS - by Lat./Long.

☐ Ss and S1 from USGS - by Zip Code

☒ Ss and S1 User Specified

Site Latitude (degrees): ?

Site Longitude (degrees): ?

Site Zip Code (5-Digits): ?

0.2 Sec Spectral Accel, Ss: 0,308

1 Sec Spectral Accel, S1: 0,073

Long-Period Transition Period: 6

Site Class: F

Site Coefficient, Fa: 2,331

Site Coefficient, Fv: 3,6

Calculated Values for Response Spectrum Curve

$SDS = (2/3) * Fa * Ss$: 0,4786

$SD1 = (2/3) * Fv * S1$: 0,1752

Define Function

Period	Acceleration
0,	0,1915
0,0732	0,4786
0,366	0,4786
0,6	0,292
0,8	0,219
1,	0,1752
1,2	0,146
1,4	0,1251

Function Graph

Display Graph: (1,6347, 0,1074)

OK Cancel

Şekil 8. 24. Yapı ile ilgili deprem parametreleri (TBDY 2018 için)

Load Case Data - Response Spectrum

Load Case Name: EX

Modal Combination: CQC (Selected), SRSS, Absolute, GMC, NRC 10 Percent, Double Sum. GMC f1: 1, GMC f2: 0. Periodic + Rigid Type: SRSS.

Modal Load Case: Use Modes from this Modal Load Case (MODAL). Standard - Acceleration Loading (Selected), Advanced - Displacement Inertia Loading.

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	ZD-R2,5	981

Other Parameters: Modal Damping: Constant at 0,05.

Şekil 8. 25. Yapıda tanımlı EX response spectrum (TBDY 2018 için)

Load Case Data - Response Spectrum

Load Case Name: EY

Modal Combination: CQC (Selected), SRSS, Absolute, GMC, NRC 10 Percent, Double Sum. GMC f1: 1, GMC f2: 0. Periodic + Rigid Type: SRSS.

Modal Load Case: Use Modes from this Modal Load Case (MODAL). Standard - Acceleration Loading (Selected), Advanced - Displacement Inertia Loading.

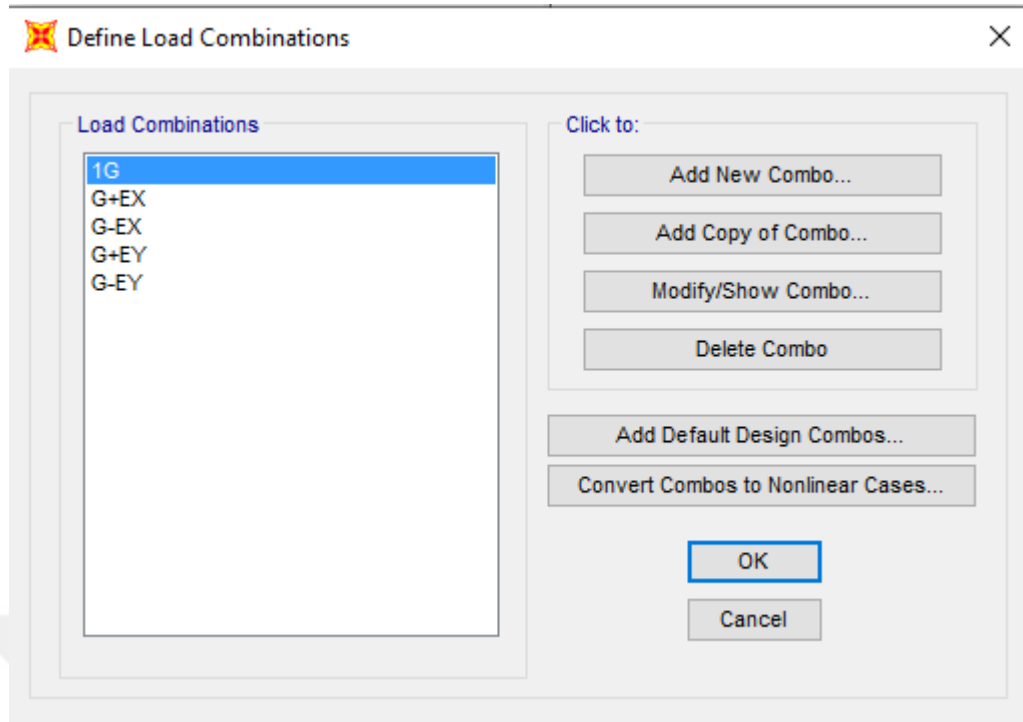
Loads Applied:

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U2	ZD-R2,5	981

Other Parameters: Modal Damping: Constant at 0,05.

Şekil 8. 26. Yapıda tanımlı EY response spectrum (TBDY 2018 için)

Yapı için programda oluşturulan yük kombinasyonları Şekil (8.27)' de verilmiştir.



Şekil 8. 27. Yapıya etkiyen yük kombinasyonları (TBDY 2018 için)

8.3.2. Taşıyıcı duvarların mekanik özellikleri

TBDY 2018' e göre kagir birimler kullanılan malzeme tipi ve delik oranına göre iki gruba ayrılmıştır. Çizelge (8.2)' de kagir birimlerin delik oranlarına göre gruplandırılması verilmiştir.

Çizelge 8. 2. TBDY 2018' e göre kagir birimlerin delik oranlarına göre gruplandırılması

Kagir Birim Cinsi ^(*)	Grup I	Grup II
Tuğla	$\alpha \leq \%35$	$\%35 < \alpha \leq \%50$
Beton	$\alpha \leq \%35$	$\%35 < \alpha \leq \%50$

Şeyh Sadreddin Konevi Cami'nde kullanılan tuğla malzemesinin boşluk oranı %35'ten küçük olup Çizelge (8.2)' ye göre Grup I' de yer almaktadır.

Literatürden yapılan araştırmalara göre yapıda kullanılan tuğla ve taş malzemelerinin birim basınç dayanımları sırası ile (f_b) 30 MPa ve 35 MPa olarak belirlenmiştir. Yapıda kullanılan harcın basınç dayanımı 1.5 MPa olarak alınmıştır.

8.3.2.1. Taşıyıcı duvarların karakteristik basınç dayanımı (f_k) hesabı

Taşıyıcı duvar karakteristik basınç dayanımı (f_k) tuğla ve taş malzemeleri için ayrı ayrı Çizelge (8. 3)' e göre belirlenecektir.

Çizelge 8. 3. TBDY 2018' e göre yığma taşıyıcı duvarların karakteristik basınç dayanımı (f_k)

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

Çizelge (8. 3)' e göre yapılan işlemlerden taşıyıcı tuğla ve taş duvarların karakteristik basınç dayanımları sırası ile (f_k) 6.6 MPa ve 7 MPa bulunmuştur.

Taşıyıcı tuğla duvarın elastisite modülü (E_{duv}) Denklem (8. 1)' den hesaplanacaktır.

$$E_{duv} = 750f_k \quad (8.1)$$

$$E_{duv} = 750 \cdot 6.6 = 4950 \text{ MPa}$$

$$G_{duv} = 0.4 \cdot 4950 = 1980 \text{ MPa}$$

Taşıyıcı taş duvarın elastisite modülü (E_{duv}) Denklem (8.1)' e göre $E_{duv} = 5250$ MPa olarak hesaplanmıştır. Kayma modülü ise $G_{duv} = 2100$ MPa bulunmuştur.

8.3.2.2. Taşıyıcı duvarların kesme dayanımı (f_{vk}) hesabı

Taş duvar kesme dayanımı f_{vk} Denklem (8.2)' ye göre hesaplanacaktır.

$$f_{vk} = f_{vko} + 0.4\sigma_d \quad (8.2)$$

Duvarların başlangıç kesme dayanımı f_{vko} , Çizelge (8. 4)' ten alınacaktır.

Çizelge 8. 4. TBDY 2018' e göre duvarların başlangıç kesme dayanımları

Kargir birim	Genel amaçlı harç(*)		İnce tabaka harç
Tuğla	M10-M20	0.30	0.30
	M2.5-M9	0.20	
	M1-M2	0.10	
Beton	M10-M20	0.20	0.30
Gazbeton	M2.5-M9	0.15	0.30
Doğal veya Yapay Taş	M1-M2	0.10	Kullanılamaz

M1-M2 karakteristik basınç dayanımında taş için başlangıç kesme dayanımı $f_{vko} = 0.10$ Mpa' dır.

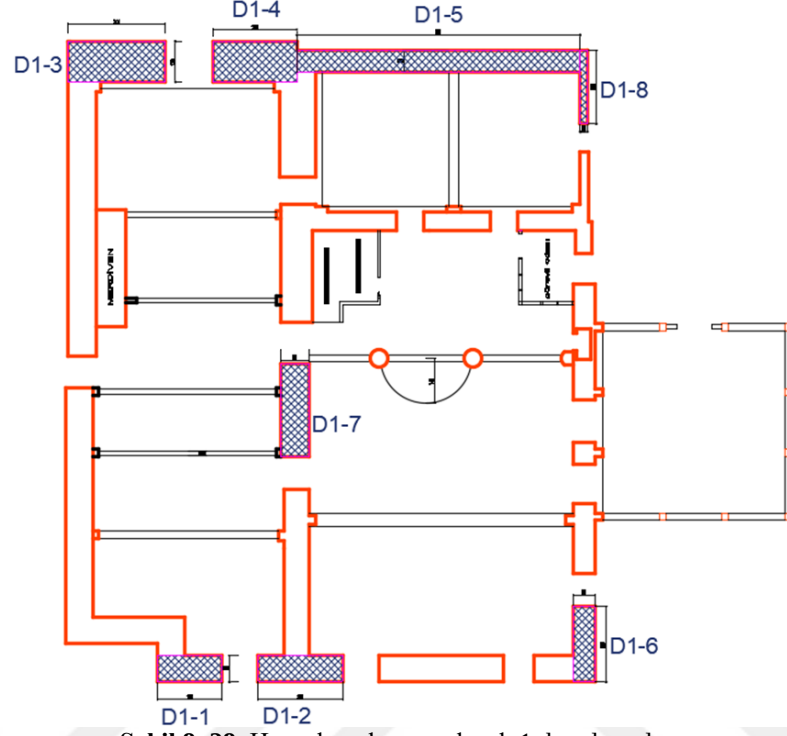
TBDY 2018' e göre dayanım azaltma katsayısı (γ_m) 2.0 alınacaktır ve σ_d Denklem (8.3)' e göre hesaplanacaktır.

$$\sigma_d = \frac{N_{Ed}}{l \times t} \quad (8.3)$$

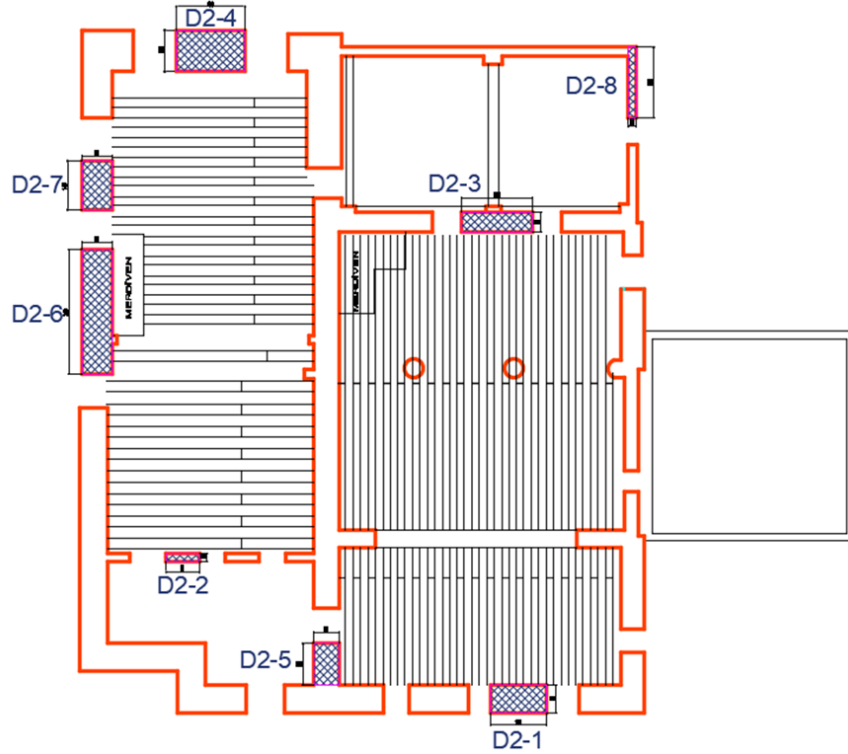
8.3.3. TBDY 2018' e göre nihai sınır durumları (Taşıma Gücü Yöntemi)

Yapılan hesaplamalar bir duvar (D1-1) için ayrıntılı olarak anlatılmıştır. Yapı yerinde incelenip var olan çatlaklar tespit edilmiştir. Çatlakların olduğu duvarlar ile statik açıdan kritik olduğu düşünülen duvarların hesaplamaları yapılmıştır. Hesaplama

için ele alınan 1. kat duvarları Şekil (8.28)' de 2. Kat duvarları ise Şekil (8.29)' da gösterilmiştir. Duvarlar için yapılan hesaplar, Excel programında hazırlanan elektronik tablolar yardımı ile yapılmıştır.



Şekil 8.28. Hesaplamaları yapılacak 1. kat duvarlar



Şekil 8.29. Hesaplamaları yapılacak 2. kat duvarlar

- **Duvar düşey yük tasarım dayanımı hesabı (N_{RD})**

D1-1 Duvarı İçin Hesaplamalar

D-1 duvarının uzunluğu 198 cm, yüksekliği 335 cm ve kalınlığı 81 cm'dir

Duvar düşey yük tasarım dayanımı olan N_{RD} Denklem (8.4) ile yığma duvar tasarım basınç dayanımı f_d ise Denklem (8.5) ile hesaplanacaktır.

$$N_{RD} = \lambda * A * f_d \quad (8.4)$$

$$f_d = f_k / \gamma_m \quad (8.5)$$

TBDY 2018' de verilen kurallara göre duvarın etkin yüksekliği (h_{ef}), TS EN 1996-1-1 standardına göre hesaplanacaktır.

Burada h_{ef} ; duvarın kenar kısıtlamasına bağlı olan ρ_n sayısı ile duvar yüksekliğinin çarpılması ile elde edilir. ρ_n , duvarın kenar kısıtlamasına göre değişkenlik göstermekte olup; üstte, altta ve bir dikey kenarda yanal olarak sınırlandırılmış duvarlarda $\rho_n = 1,5x(l/h)$ ile hesaplanacaktır. D1-1 duvarı için;
 $\rho_n = 1,5x(1,98/3,35) = 0,8866$ bulunmuştur. Bu değer duvar yüksekliği 3.35 m ile çarpılarak duvarın etkin yüksekliği 2.97 bulunmuştur.

TBDY (2018)'e göre narinlik oranı (h_{ef}/t_{ef}) = (2,97/0,81) = 3,67 < 6 olduğu için, kapasite azaltma katsayısı (λ) 1 alınacaktır.

Denklem (8.5)' ten:

$$f_d = 7/2 = 3,5 \text{ MPa (3500000 N/m}^2\text{) olarak hesaplanır.}$$

$$A = 1,98x0,81 = 1,604 \text{ m}^2$$

Denklem (8.4)' ten duvar düşey yük tasarım dayanımı

$$N_{RD} = 1 \times 1,604 \times 3500000 = 5614000 \text{ N olarak bulunur.}$$

$$N_{Ed} = 10473,843 \text{ kgf (102713,31 N) (Sap2000 programından alınmıştır.)}$$

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018' e göre yığma duvara düşey doğrultuda etkiyen tasarım kuvveti (N_{Ed}) duvar düşey yük tasarım dayanımından (N_{RD}) daha büyük olmayacaktır. Yapılan hesaplamalar sonucunda;

$$N_{Ed} = 102713,31 \text{ N} < N_{RD} = 5614000 \text{ N olup şartı sağlamaktadır.}$$

- **Duvarın kesme kuvveti dayanımı (V_{Rd})**

Duvar tasarım kesme kuvveti dayanımı V_{Rd} , Denklem (8.6) ve (8.7)'ye göre hesaplanacaktır. Verilen iki denklemden küçük olanı kesme kuvveti dayanımı kabul edilecektir.

$$V_{Rd} = f_{vd} t \ell_c \quad (8.6)$$

$$V_{Rd} = \ell t \frac{1.5 f_{vdo}}{b} \sqrt{1 + \frac{N_{Ed}}{1.5 \ell t f_{vdo}}} \quad (8.7)$$

D1-1 duvarı için f_{vk} değeri Denklem (8.2) ve σ_d değeri Denklem (8.3) ile hesaplanacaktır.

$$\sigma_d = 102713,31 / (1980 \times 810)$$

$$\sigma_d = 0,064 \text{ MPa}$$

$$f_{vk} = 0,1 + 0,4 \times 0,064$$

$$f_{vk} = 0,1256 \text{ MPa}$$

$$f_{vd} = f_{vk} / \gamma_m \quad (8.8)$$

$$f_{vd} = 0,1256 / 2,0 = 0,0628 \text{ MPa}$$

$$f_{vdo} = f_{vko} / \gamma_m \quad (8.9)$$

$$f_{vdo} = 0,1 / 2,0 = 0,05 \text{ MPa}$$

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018' de duvarın basınç çalışan kısmının boyunu hesaplamak için bir açıklama bulunmamaktadır. Bu yüzden CEN-EN 1998 yönetmeliğine göre hesaplanmıştır.

Duvar düzlemi içerisinde, dış merkezliğin ($e = M_{Ed} / V_{Ed}$), duvar uzunluğunun $1/6$ 'sından daha büyük olması durumunda duvar basınç bölgesi uzunluğu;

$$l_c = 3 \left(\frac{l}{2} - e \right) = 3 \left(\frac{l}{2} - \frac{M_{Ed}}{V_{Ed}} \right) \quad (8.10)$$

ile hesaplanacaktır (CEN–EN 1998-1). Dış merkezliğin (e), $l/6$ ’ dan küçük olması durumunda tüm duvar uzunluğu basınç altında olacağından $l = lc$ olmaktadır. Dış merkezliğin (e), $l/2$ ’ yi aşması durumunda ise, basınç kuvvetinin yeri kesit dışına çıkacağından $lc = 0$ olmakta, düzlem içi devrilme meydana gelmektedir (CEN–EN 1998-1).

Duvara etkiyen tasarım kesme kuvveti (V_{Ed}), depremten gelen kuvvettir.

$$V_{Ed} = m_t \times S_{aR}(T_p) \quad (8.11)$$

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018’ e göre $BYS \geq 6$ olduğu için doğal titreşim periyodu $T_p^{(x)} = T_{pA}$ olmaktadır. T_{pA} ’ nın formülü Denklem (8.12)’ de verilmiştir. Cami yığma yapı olduğu için C_T değeri 0,07 alınacaktır.

$$T_{pA}^{(x)} = C_T * H_N^{3/4} \quad (8.12)$$

$$T_{pA}^{(x)} = 0,07 * (6,06)^{3/4}$$

$$T_{pA}^{(x)} = T = 0,27 \text{ (s)}$$

Yönetmeliğe göre $T_p^{(x)}$ ’ in deprem hesabında göz önüne alınacak en büyük değeri, T_{pA} periyodunun 1.4 katından daha fazla olmayacaktır.

$$1,4 * T_{pA}^{(x)} = 1,4 * 0,27 = 0,378 \text{ sn}$$

TBDY 2018’e göre $T_B \leq T \leq T_L$ ise $S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}}{T}$ formülü kullanılır. Buna göre:

$$S_{ae}(T) = 0,175 / 0,378$$

$$S_{ae}(T) = 0,463 \text{ (g)}$$

Deprem yükü azaltma katsayısı $R_a(T)$ Denklem (8.13)’ e göre, azaltılmış tasarım spektral ivmesi $S_{aR}(T)$ Denklem (8.14)’ e göre hesaplanacaktır.

$$R_a(T) = \frac{R}{I} \quad T > T_B \quad (8.13)$$

$$R_a(T) = 2,5/1,2 = 2,083$$

$$S_{aR}(T) = \frac{S_{ae}(T)}{R_a(T)}$$

(8.14)

$$S_{aR}(T) = 0,463/2,083 = 0,222$$

Denklem (8.11)'e göre hesaplanan tasarım kesme kuvveti

$$(V_{Ed}) = (10473,843/9,81) \times 0,222 = 237,023 \text{ kgf}$$

Yapısal çözümlemede, duvarlara etkiyen eğilme momentleri (M_{Ed}), duvarın her iki ucunun ankastre olarak kabul edilmesinden dolayı, duvarlara etkiyen kesme kuvvetleri (V_{Ed}), duvar serbest yüksekliğinin (H) yarısı ile çarpılarak hesaplanmıştır (Mısır ve ark. 2019).

$$M_{Ed} = 237,023 \times (3,35/2) = 397,0135 \text{ kgf}$$

$$e = M_{Ed}/V_{Ed} = 397,0135/237,023 = 1,675$$

$$e = 1,675 > l/2 = 1,98/2 = 0,99$$

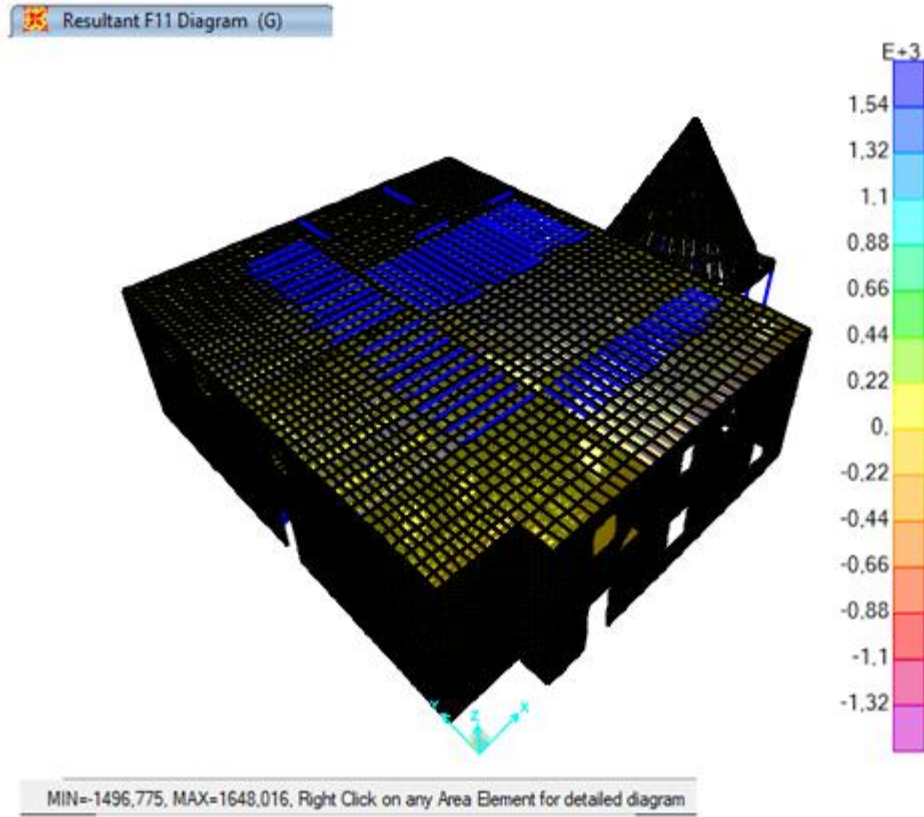
Basınç kuvvetinin yeri kesit dışına çıktığı için $lc = 0$ olur. Düzlem içi devrilme meydana gelir. $lc = 0$ olduğu için $V_{Rd} = 0$ olur.

TBDY 2018' e göre donatısız yığma duvarlarda taşıyıcı yığma duvar tasarım kesme kuvveti dayanımı V_{Rd} , duvara etkiyen tasarım kesme kuvveti, V_{Ed} ' den daha büyük olacaktır. $V_{Rd} = 0$ olduğu için bu şartı sağlamamaktadır.

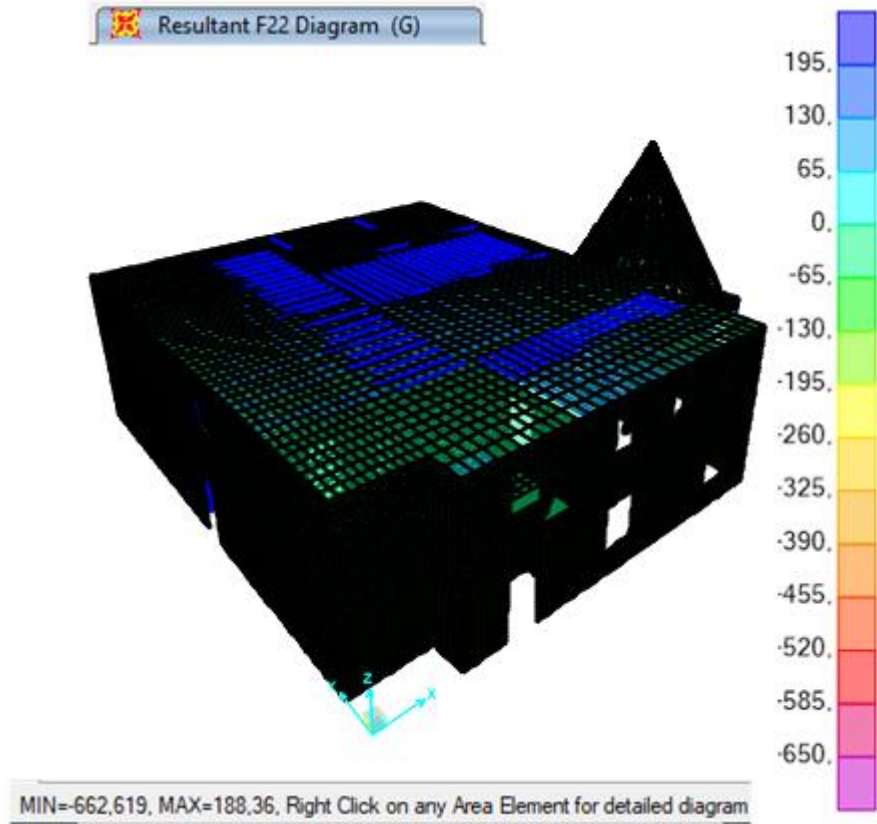
8.3.4. Ölü yükler altında yapının analizi

Her eleman kendi yerel eksenine göre (SAP 2000 programının formatına göre x yönü için F11 ve y yönü için F22 olarak tanımlanan) meydana gelen çekme veya basınç kuvvetleri ile (SAP 2000 programının formatına göre F12 olarak tanımlanan) kesme kuvvetleri yapının dayanımı hakkında en açıklayıcı sonucu vermektedir.

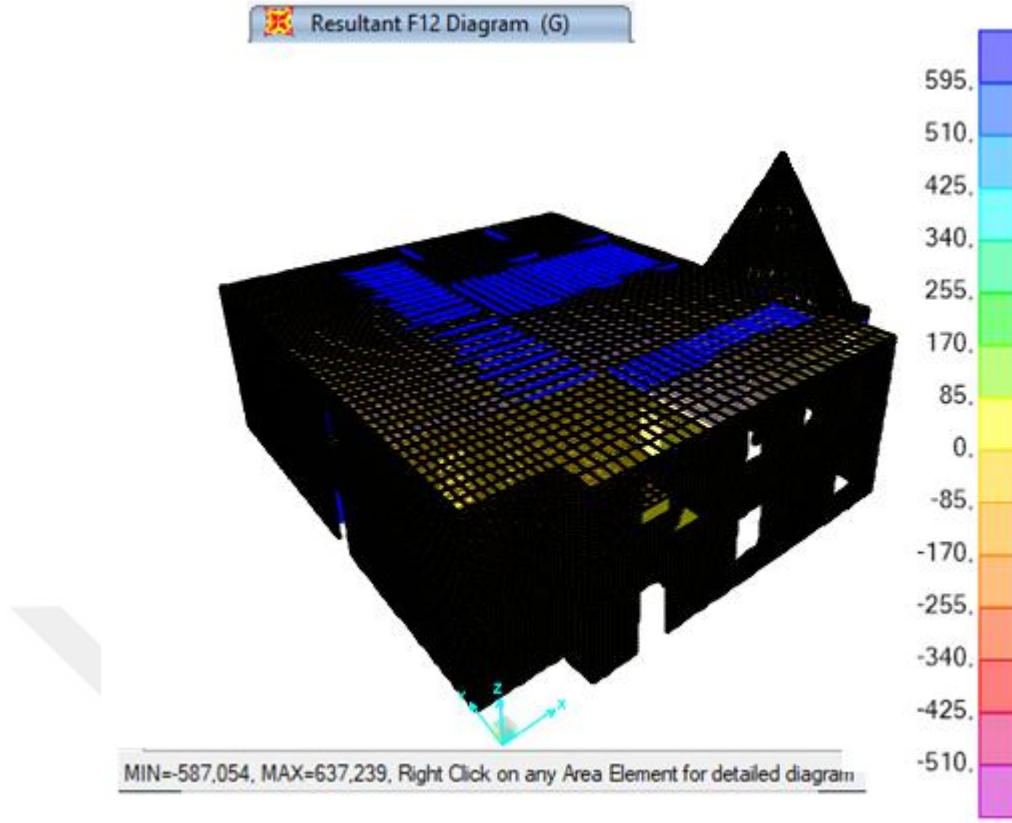
Yapının kendi ağırlığı altında statik analizi yapılmıştır. Meydana gelen olası kuvvet şekil değiştirme grafikleri ve değerlerine ulaşılmıştır.



Şekil 8. 30. TBDY 2018' e göre G yüklemesi F11 grafiği



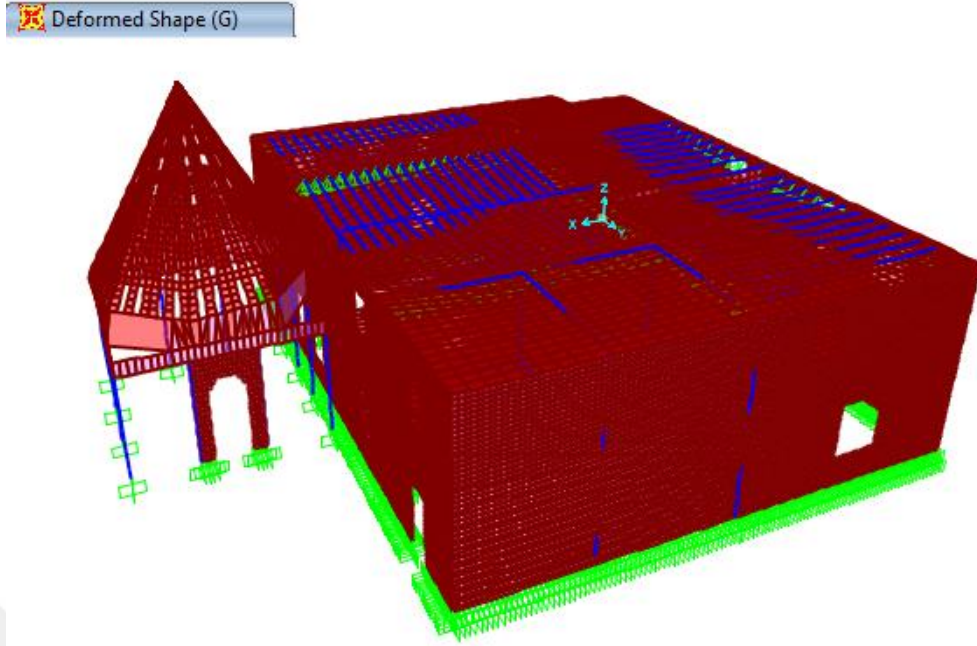
Şekil 8. 31. TBDY 2018' e göre G yüklemesi F22 grafiği



Şekil 8. 32. TBDY 2018' e göre G yüklemesi F12 grafiği

Yapının kendi ağırlığı altında yapılan analiz sonucunda elde edilen F11 ve F22 (çekme ve basınç) kuvveti değerleri grafiği (Şekil 8.30 ve Şekil 8.31) ile F12 (kesme) kuvveti değerleri grafiği (Şekil 8.32) incelenmiştir. En elverişsiz basınç kuvvetleri Şekil (8.30)' da verilen F11 grafiğinden 1496.775 N ve en elverişsiz çekme kuvvetleri de yine Şekil (8.30)' da verilen F11 grafiğinden 1648.06 N olarak tespit edilmiştir. Her iki değerde D1-1 duvarının tasarım dayanımı değeri 5614000 N altında çıkmıştır.

F12 grafiğinden tespit edilen maksimum kesme kuvveti 637.239 N' dur. D1-1 duvarında düzlem içi devrilme meydana geldiği için kesme kuvveti dayanımı $V_{Rd}=0$ gelmiştir. Kesme kuvveti açısından D1-1 duvarı güvenli tarafta değildir.



Şekil 8. 33. TBDY 2018' e göre G yüklemesi altında oluşan maksimum yer değiştirme (mm)

G yükü altında, yapıdaki en büyük yer değiştirme düşey doğrultuda yaklaşık 38.75 mm olmaktadır (Şekil 8.33). Bu analizde $R=2.5$ değeri kullanıldığı için elastik yer değiştirme $38.75 \text{ mm} \times 2.5 = 96.875 \text{ mm}$ olarak hesaplanmalıdır.

8.3.5. Modal çözümleme

Yapının modellemesinde tanımlanan deprem yüklerinin etkilerini belirlemede mod birleştirme yöntemi kullanılmıştır. Caminin düşey etki ile deprem etkileri sonucu elastik davranışına ulaşmak hedeflenmiştir. Periyotlarda deprem yükü azaltma katsayısı (R) 2,5'tir. Çözümlemede kütle ve rijitlik matrisleri kullanılarak, yapının mod şekillerine ve periyotlarına ulaşılmıştır. Modların süperpozisyonunu gerçekleştirmek için Kareleri Toplamının Karekökü (SRSS) yöntemi kullanılmıştır.

Depreme dayanıklı yapı tasarımı çerçevesinde TBDY 2018'e göre uygulanan mod birleştirme yöntemi için hesaplanan etkin kütlelerin toplamının bina toplam kütlelerinin % 95' inden daha az olmaması gerekmektedir. Hesaba katılacak yeterli titreşim mod sayısını belirlemede bu değer göz önüne alınacaktır.

Şeyh Sadreddin Cami'nin sonlu eleman modelinin SAP 2000 programında modal çözümlemesi yapılmıştır. Çözümleme sonucunda 160 tane mod şekli ve serbest titreşim periyodu elde edilmiştir. Ana kütlelerin Y doğrultusunda yanal yer değiştirme hareketini gösteren 84. modun kütle katılım oranı % 55 ve X doğrultusunda yanal yer

değiştirme hareketini gösteren 71. modun kütle katılım oranı ise % 66 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 8.5).

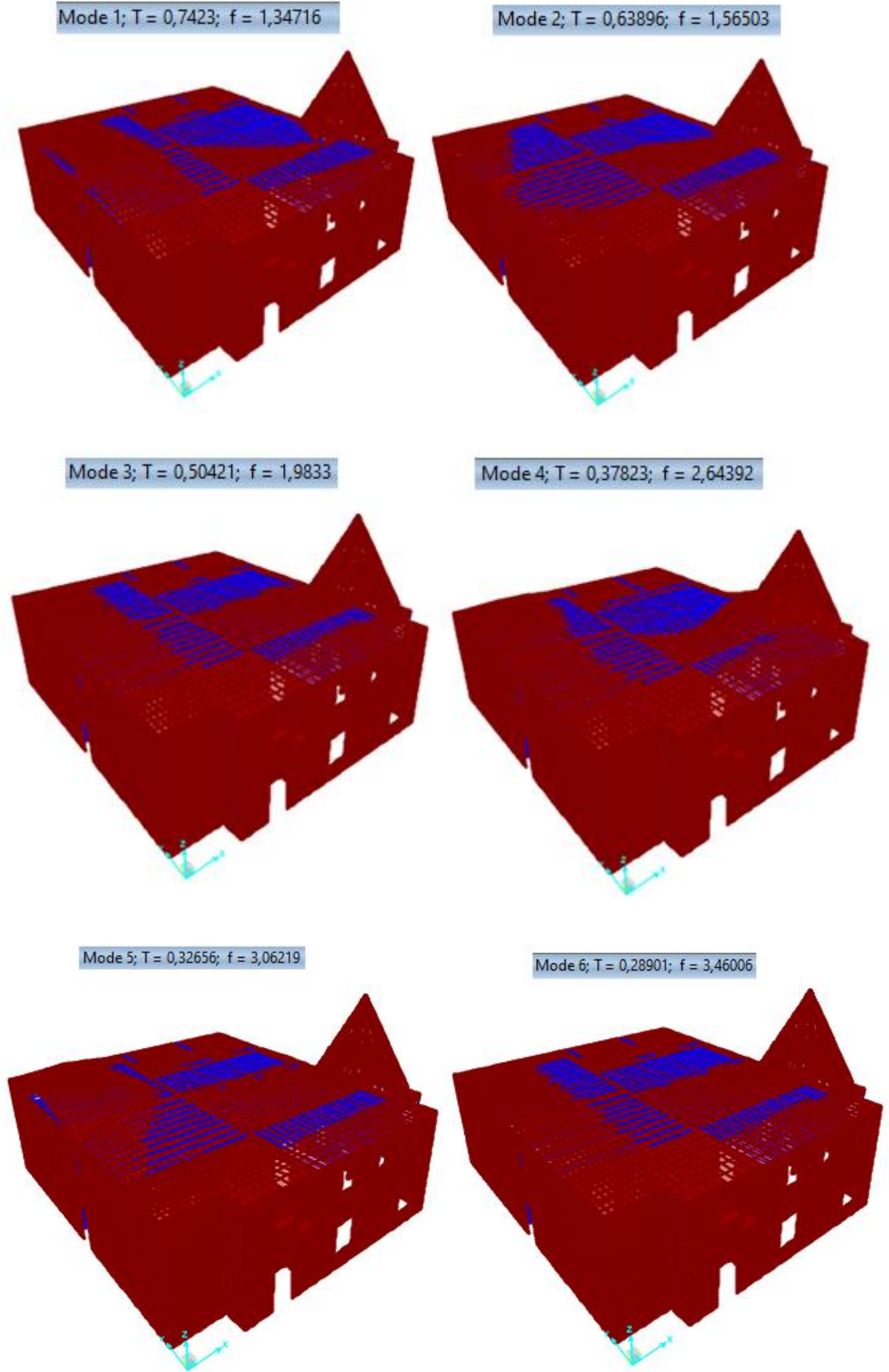
Tanımlanan 160 mod şekli sonucunda etkin kütlelerin toplamının, bina toplam kütlelerinin X yönünde % 74' üne ve Y yönünde %77' sine ulaşabilmektedir.

Çizelge 8. 5. TBDY 2018' e göre İlk 90 modun serbest titreşim periyotları ve kütle katılım oranları

TABLE: Modal Participating Mass Ratios							
OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	SumUX	SumUY
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
Modal	Mode	1	0,742304	8,914E-09	4,495E-10	8,914E-09	4,495E-10
Modal	Mode	2	0,638964	8,142E-09	1,665E-11	1,706E-08	4,661E-10
Modal	Mode	3	0,50421	1,271E-11	0,002045	1,707E-08	0,002045
Modal	Mode	4	0,378226	7,779E-08	7,931E-09	9,486E-08	0,002045
Modal	Mode	5	0,326564	1,649E-07	2,299E-10	2,597E-07	0,002045
Modal	Mode	6	0,289012	2,575E-08	5,4E-09	2,855E-07	0,002045
Modal	Mode	7	0,287735	5,675E-09	9,697E-10	2,911E-07	0,002045
Modal	Mode	8	0,257533	2,498E-07	8,986E-10	5,409E-07	0,002045
Modal	Mode	9	0,25012	7,775E-08	3,809E-08	6,186E-07	0,002046
Modal	Mode	10	0,228919	9,409E-08	4,941E-10	7,127E-07	0,002046
Modal	Mode	11	0,222495	4,421E-07	2,629E-09	0,000001155	0,002046
Modal	Mode	12	0,210703	1,021E-07	1,152E-07	0,000001257	0,002046
Modal	Mode	13	0,209433	2,37E-08	1,292E-08	0,000001281	0,002046
Modal	Mode	14	0,17621	1,364E-08	1,946E-08	0,000001294	0,002046
Modal	Mode	15	0,171481	1,486E-07	2,629E-08	0,000001443	0,002046
Modal	Mode	16	0,16811	0,002685	2,167E-08	0,002686	0,002046
Modal	Mode	17	0,165085	3,295E-12	0,00006485	0,002686	0,002111
Modal	Mode	18	0,159353	3,795E-09	2,596E-08	0,002686	0,002111
Modal	Mode	19	0,152288	5,871E-09	4,175E-09	0,002686	0,002111
Modal	Mode	20	0,145771	0,000002353	4,13E-08	0,002689	0,002111
Modal	Mode	21	0,145426	0,000000416	6,092E-08	0,002689	0,002111
Modal	Mode	22	0,136272	0,00000103	1,803E-08	0,00269	0,002111
Modal	Mode	23	0,133967	0,000006256	1,751E-07	0,002696	0,002111
Modal	Mode	24	0,132987	0,000003247	0,00000157	0,0027	0,002112
Modal	Mode	25	0,130558	3,851E-07	0,000002148	0,0027	0,002115
Modal	Mode	26	0,130414	0,000003941	9,611E-09	0,002704	0,002115
Modal	Mode	27	0,126605	4,993E-08	3,568E-07	0,002704	0,002115
Modal	Mode	28	0,123629	0,000001999	9,951E-08	0,002706	0,002115
Modal	Mode	29	0,114368	0,000001668	6,465E-10	0,002708	0,002115
Modal	Mode	30	0,111579	6,616E-07	2,422E-09	0,002708	0,002115
Modal	Mode	31	0,108513	8,361E-08	5,428E-11	0,002708	0,002115
Modal	Mode	32	0,106863	4,428E-07	1,078E-07	0,002709	0,002115
Modal	Mode	33	0,100845	0,000002121	3,469E-09	0,002711	0,002115
Modal	Mode	34	0,099055	3,755E-07	1,392E-07	0,002711	0,002115
Modal	Mode	35	0,09581	1,266E-07	1,847E-09	0,002711	0,002115
Modal	Mode	36	0,095758	5,857E-07	7,503E-08	0,002712	0,002115
Modal	Mode	37	0,092289	3,847E-11	3,609E-13	0,002712	0,002115
Modal	Mode	38	0,091671	0,00002342	3,217E-07	0,002735	0,002116
Modal	Mode	39	0,088524	0,00000201	1,617E-07	0,002737	0,002116
Modal	Mode	40	0,086245	0,000002755	6,901E-07	0,00274	0,002117
Modal	Mode	41	0,084771	0,000002476	9,077E-09	0,002743	0,002117
Modal	Mode	42	0,081792	6,636E-10	0,0001172	0,002743	0,002234
Modal	Mode	43	0,081044	3,791E-07	2,905E-07	0,002743	0,002234
Modal	Mode	44	0,080993	0,00000179	4,207E-07	0,002745	0,002235
Modal	Mode	45	0,079686	0,000004677	1,911E-07	0,002749	0,002235
Modal	Mode	46	0,077598	0,00003638	0,000002328	0,002786	0,002237

Modal	Mode	47	0,077216	1,952E-07	5,273E-09	0,002786	0,002237
Modal	Mode	48	0,075283	0,000002181	6,281E-07	0,002788	0,002238
Modal	Mode	49	0,073991	6,114E-07	0,00000119	0,002789	0,002239
Modal	Mode	50	0,071784	0,000007085	3,425E-07	0,002796	0,002239
Modal	Mode	51	0,071608	0,000003551	7,386E-07	0,002799	0,00224
Modal	Mode	52	0,071189	2,046E-07	6,956E-10	0,0028	0,00224
Modal	Mode	53	0,069311	0,000004343	2,205E-08	0,002804	0,00224
Modal	Mode	54	0,066869	0,00002408	0,000001008	0,002828	0,002241
Modal	Mode	55	0,066151	0,00000207	1,328E-07	0,00283	0,002241
Modal	Mode	56	0,065096	0,00002396	2,212E-08	0,002854	0,002241
Modal	Mode	57	0,064161	0,000001614	0,000008206	0,002856	0,002249
Modal	Mode	58	0,063315	0,00008348	1,499E-08	0,002939	0,002249
Modal	Mode	59	0,063276	0,0000794	8,351E-07	0,003019	0,00225
Modal	Mode	60	0,062217	0,000001839	3,623E-07	0,00302	0,002251
Modal	Mode	61	0,06079	0,000006066	9,957E-08	0,003027	0,002251
Modal	Mode	62	0,060781	0,0001238	0,000005293	0,00315	0,002256
Modal	Mode	63	0,058018	0,0007279	1,775E-07	0,003878	0,002256
Modal	Mode	64	0,056984	0,0003477	0,000003563	0,004226	0,00226
Modal	Mode	65	0,056529	0,0003932	0,00002309	0,004619	0,002283
Modal	Mode	66	0,055543	1,745E-08	6,926E-10	0,004619	0,002283
Modal	Mode	67	0,055294	0,0005268	0,00004961	0,005146	0,002332
Modal	Mode	68	0,054654	0,000001914	0,000003289	0,005148	0,002336
Modal	Mode	69	0,052352	0,0007141	0,000008367	0,005862	0,002344
Modal	Mode	70	0,052078	0,01194	0,0004071	0,0178	0,002751
Modal	Mode	71	0,051781	0,66	0,01934	0,68	0,02209
Modal	Mode	72	0,050934	0,01531	0,0005813	0,69	0,02268
Modal	Mode	73	0,050147	0,003953	0,0001783	0,69	0,02285
Modal	Mode	74	0,049602	0,0004533	2,736E-07	0,7	0,02285
Modal	Mode	75	0,049518	0,000004076	0,000002031	0,7	0,02286
Modal	Mode	76	0,048849	0,00005846	0,000005101	0,7	0,02286
Modal	Mode	77	0,047946	0,0003687	0,0001355	0,7	0,023
Modal	Mode	78	0,047543	0,00001321	0,00003029	0,7	0,02303
Modal	Mode	79	0,046102	0,0001091	0,00009461	0,7	0,02312
Modal	Mode	80	0,045669	0,0005724	1,053E-07	0,7	0,02312
Modal	Mode	81	0,045141	0,00008092	0,002207	0,7	0,02533
Modal	Mode	82	0,04502	0,00006869	0,001624	0,7	0,02695
Modal	Mode	83	0,044389	0,0001896	0,004587	0,7	0,03154
Modal	Mode	84	0,04413	0,02842	0,55	0,73	0,58
Modal	Mode	85	0,043928	0,006155	0,0549	0,73	0,63
Modal	Mode	86	0,043673	0,000385	0,007477	0,73	0,64
Modal	Mode	87	0,043407	0,000131	0,001642	0,73	0,64
Modal	Mode	88	0,042211	0,0001919	0,004421	0,73	0,65
Modal	Mode	89	0,042051	0,0001055	0,0003149	0,73	0,65
Modal	Mode	90	0,041475	0,000007404	0,00001404	0,73	0,65

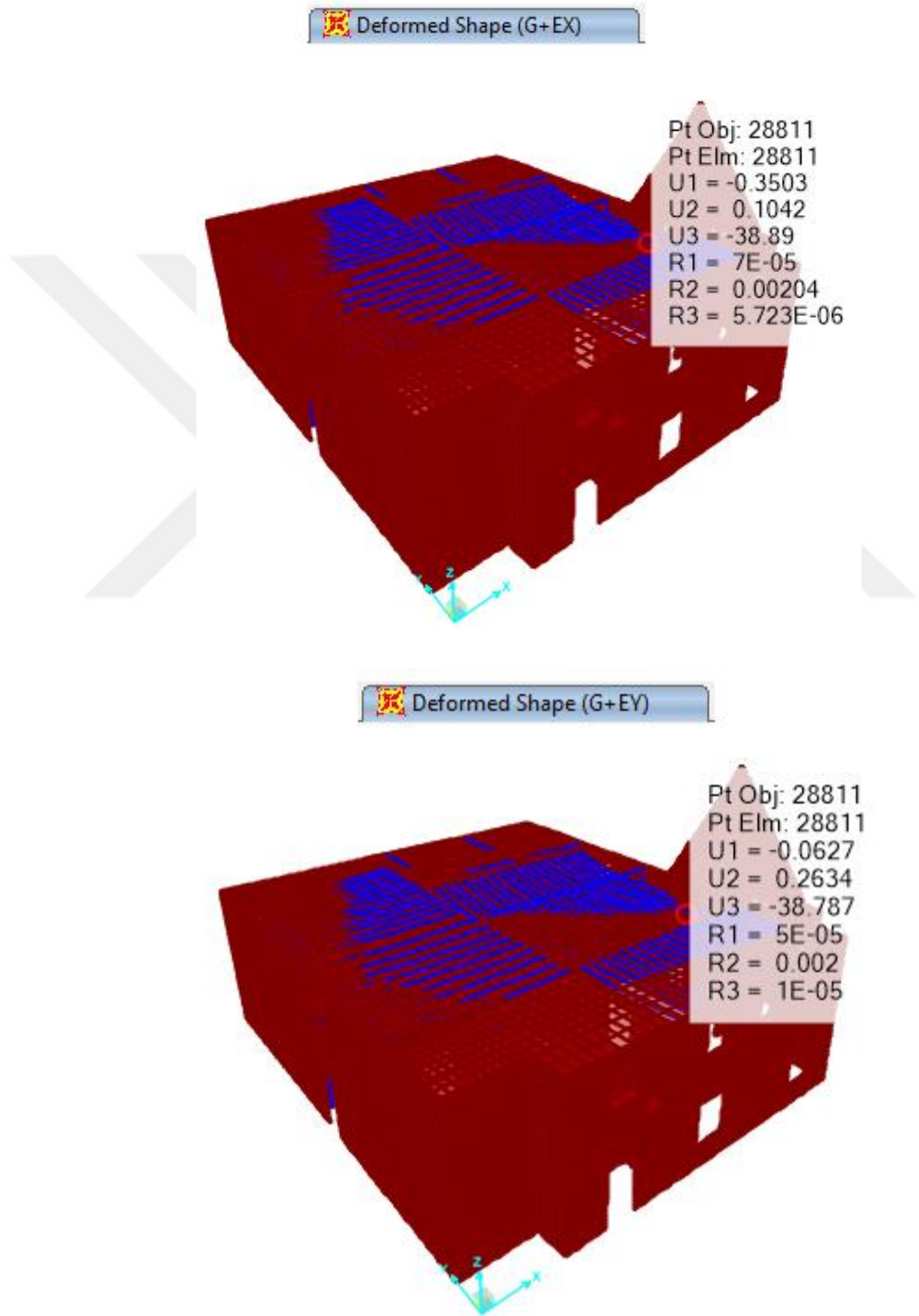
Yapının ilk 6 moduna ait deformasyon şekilleri, periyot ve frekans değerleri Şekil (8.34)' te verilmiştir.



Şekil 8. 34. TBDY 2018' e göre Şeyh Sadreddin Caminin ilk 6 moda ait deformasyon hareketleri

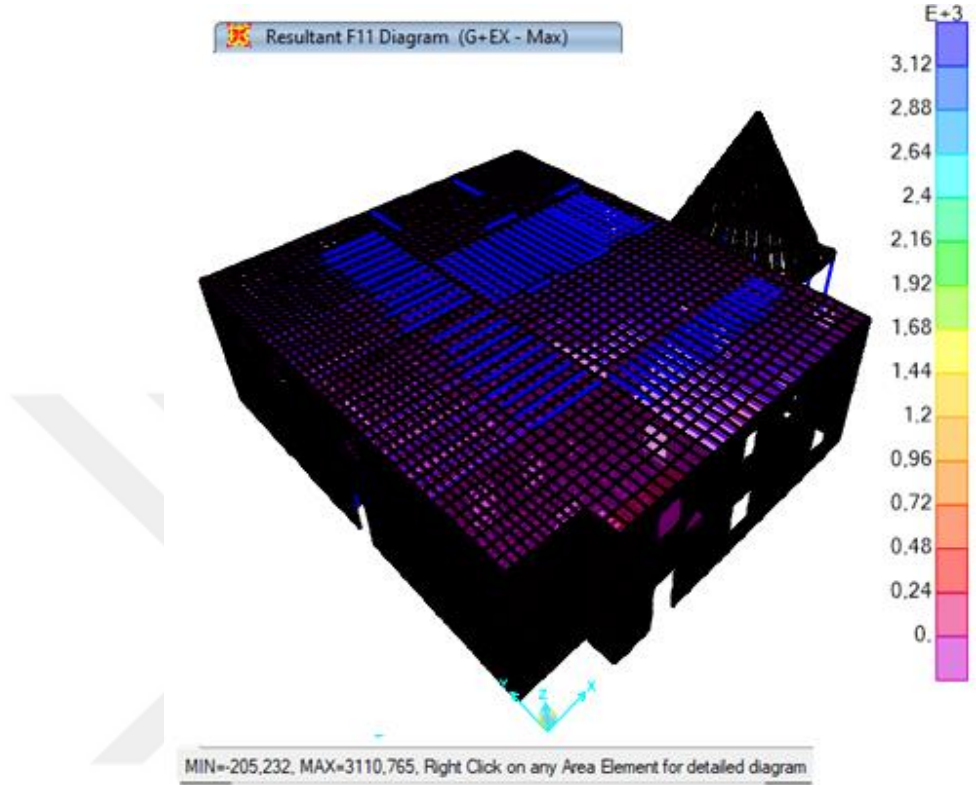
8.3.6. G+EX ve G+EY deprem yüklemeleri

Ölü yükler ile X ve Y doğrultusunda etki eden deprem yüklerinin kombinasyonlarının modal yapısal çözümleme sonucunda yapıda oluşan şekil değiştirmeler Şekil (8.35)' te verilmiştir.

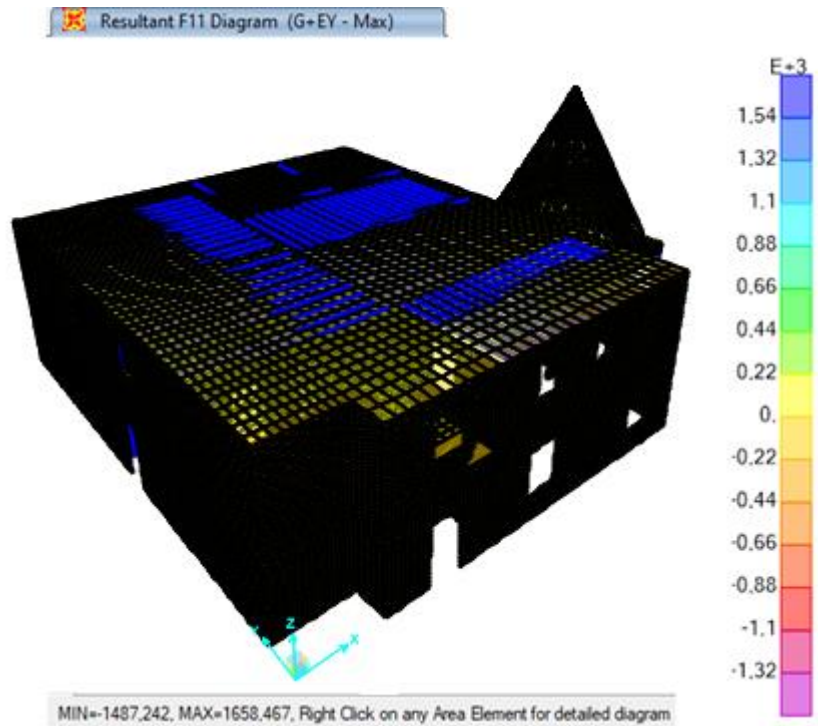


Şekil 8. 35. TBDY 2018' e göre Şeyh Sadreddin Konevi Caminin G+EX ve G+EY deprem yüklemeleri altındaki yer değiştirmeleri (mm)

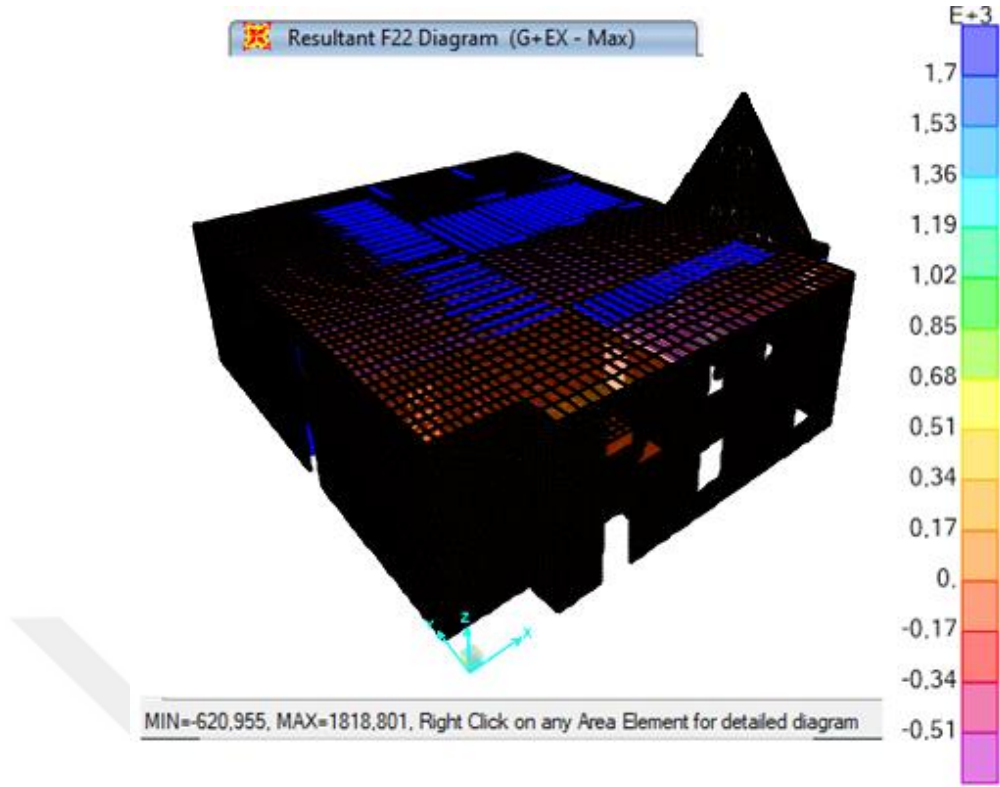
G+EX deprem yüklemesi X yönünde 0,35 mm ve Z yönünde 38,89 mm yanal ötelenme meydana getirmektedir. G+EY deprem yüklemesi Y yönünde 0,26 mm ve Z yönünde 38,787 mm yanal ötelenme meydana getirmektedir.



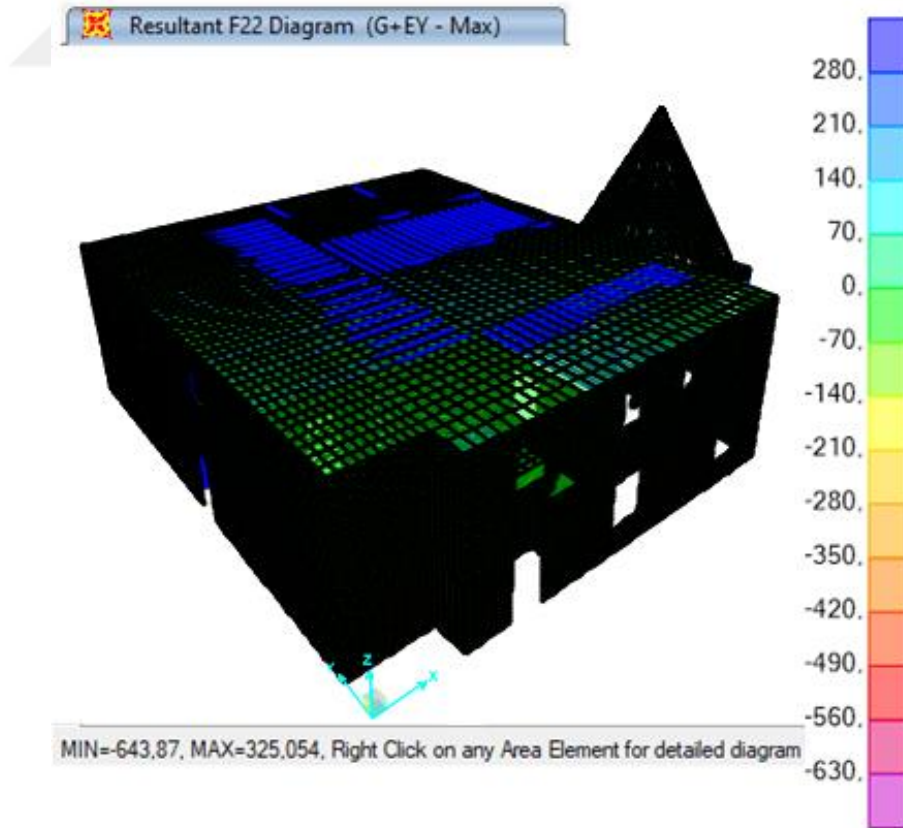
Şekil 8. 36. TBDY 2018' e göre G+EX yüklemesi F11 gerilme dağılımı



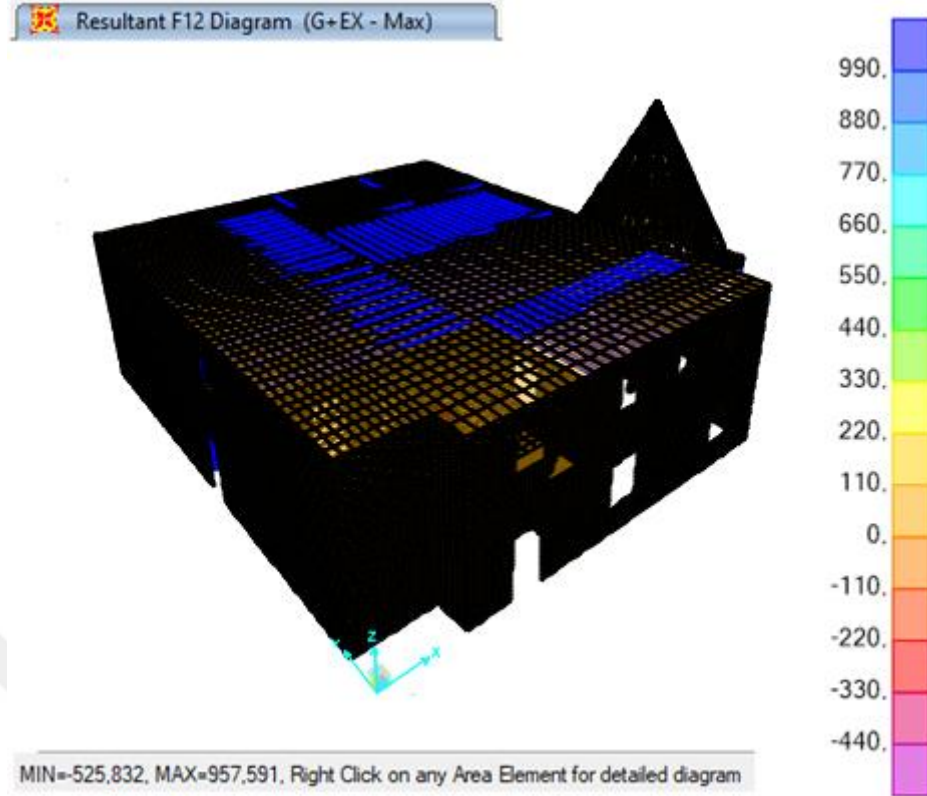
Şekil 8. 37. TBDY 2018' e göre G+EY yüklemesi F11 gerilme dağılımı



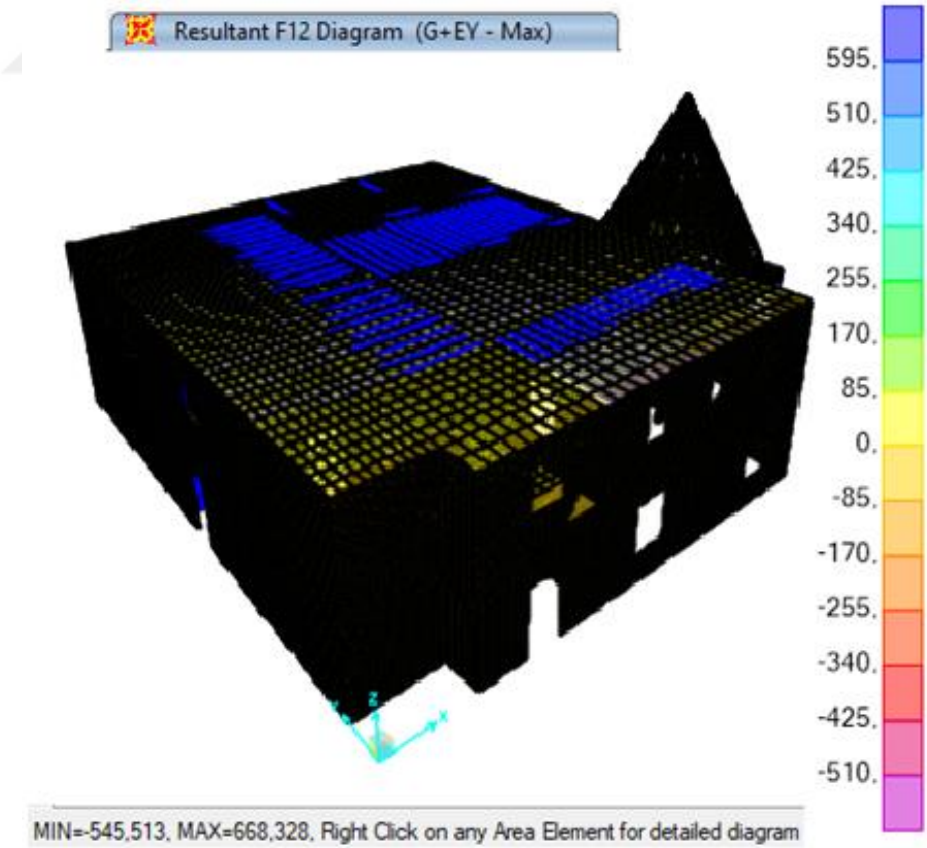
Şekil 8. 38. TBDY 2018' e göre G+EX yüklemesi F22 gerilme dağılımı



Şekil 8. 39. TBDY 2018' e göre G+EY yüklemesi F22 gerilme dağılımı



Şekil 8. 40. TBDY 2018' e göre G+EX yüklemesi F12 gerilme dağılımı



Şekil 8. 41. TBDY 2018' e göre G+EY yüklemesi F12 gerilme dağılımı

Yapının analizi incelendiğinde en çok zorlanan ve kuvvetlerin en elverişsiz olduğu bölgeler pencere-kapı boşluklarının köşe noktaları, duvarların birleşim bölgeleri olduğu görülmektedir.

G+EX deprem yükleme durumunda yapıdaki F11 (Şekil 8. 36) ve F22 (Şekil 8. 38) kuvvetlerinde oluşan en büyük basınç kuvveti 620,955 N en büyük çekme kuvveti 3110,765 N olarak hesaplanmıştır. Ele alınan D1-1 duvarı için bu değerler tasarım dayanımı değerinin altındadır.

Kesme kuvveti F12 için (Şekil 8.40) hesaplanan max değer 957.591 N olarak gerçekleşmiştir. Duvarda düzlem içi devrilme meydana geldiği için bu değer tasarım kesme kuvveti dayanımını aşmaktadır.

G+EY deprem yükleme durumunda yapıdaki F11 (Şekil 8.37) ve F22 (Şekil 8.39) kuvvetlerinde oluşan en büyük basınç kuvveti 1487,242 N en büyük çekme kuvveti 1658,467 N olarak hesaplanmıştır. Ele alınan D1-1 duvarı için bu değerler tasarım dayanımı değerinin altındadır.

Kesme kuvveti F12 için (Şekil 8.41) hesaplanan max değer 668,328 N olarak gerçekleşmiştir. Duvarda düzlem içi devrilme meydana geldiği için bu değer tasarım kesme kuvveti dayanımını aşmaktadır.

Kombinasyonlar için yapılan bu hesaplamalar ele alınan bütün duvarlar için uygulanmıştır.

8.4. Eurocode-8 Deprem Yönetmeliğine Göre Yapısal Analiz İçin Oluşturulan Modellemelerde Kullanılan Parametreler

Hesaplar donatısız yığma yapılar için yapılacaktır. Dolayısıyla yığma binalar için gerekli hesaplamalar Eurocode-6 yönetmeliğine göre yapılmıştır.

Yapılara etkiyecek deprem kuvvetlerinin hesabında Eurocode-8'e göre kullanılan parametreler:

- Zemin Sınıfı = ZC
- Eurocode 8'e göre sismik tehlikeye en çok katkıda bulunan depremlerin yüzey dalgası büyüklüğü M_s 5,5' ten büyük değil ise, Tip 2 spektrumunun benimsenmesi tavsiye edilir.
- Bina Önem Sınıfı = 3
- Davranış Faktörü (q) = 1.5

- Yer ivmesi (a_g) = 0.15 (Avrupa Deprem Risk Haritasından alınmıştır.) (Anonim, 2017)

Analiz için programa tanımlanacak parametreler Çizelge (8. 6)' da verilmiştir.

Çizelge 8. 6. EN 1998-1' e göre analiz için programa tanımlanacak parametreler

Toprak Faktörü (S)	1.2
Spectrum Period (T_b)	0.1
Spectrum Period (T_c)	0.25
Spectrum Period (T_d)	1.2
Alt Sınır Faktörü (β)	0.2

EN 1996-1 yönetmeliğine göre yığma yapıların elastisite modülü (E) değeri yapısal analiz için $K_E f_k$ alınabilir. K_E için önerilen değer 1000' dir. Duvar kayma modülü (G), elastisite modülünün % 40' ı olarak alınacaktır.

8.4.1. Sap 2000 modellerinin tanımlamaları

Yapıda kullanılan taş ve tuğla malzemelerine ait Sap2000 programındaki değerler Şekil (8.42) ve Şekil (8.43)' te verilmiştir.

Şekil 8. 42. Taş malzemesinin özellikleri (EN 1998 için)

Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: TUĞLA

Material Type: Other

Material Grade:

Material Notes: Modify/Show Notes...

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 1,765E-08

Mass per Unit Volume: 1,800E-12

Units

N, mm, C

Isotropic Property Data

Modulus Of Elasticity, E: 6717,

Poisson, U: 0,2

Coefficient Of Thermal Expansion, A: 1,170E-05

Shear Modulus, G: 2798,75

Şekil 8. 43. Tuğla malzemesinin özellikleri (EN 1998 için)

Yapı ile ilgili deprem parametreleri programda ilgili bölüme girilmiştir (Şekil 8.44). EX ve EY deprem yükleri tanımlanmıştır (Şekil 8.45 ve Şekil 8.46).

Response Spectrum EuroCode 8 - 2004 Function Definition

Function Name: EUROCODE8

Function Damping Ratio: 0,05

Parameters

Country: Other

Direction: Horizontal

Horizontal Ground Accel., ag/g: 0,15

Spectrum Type: 2

Ground Type: C

Soil Factor, S: 1,5

Acceleration Ratio, Avg/Ag:

Spectrum Period, Tb: 0,1

Spectrum Period, Tc: 0,25

Spectrum Period, Td: 1,2

Lower Bound Factor, Beta: 0,2

Behavior Factor, q: 1,5

Define Function

Period	Acceleration
0,	0,15
0,0333	0,225
0,0667	0,3
0,1	0,375
0,25	0,375
0,4083	0,2296
0,5667	0,1654
0,725	0,1293

Function Graph

Display Graph: (5,7766 , 0,03)

Şekil 8. 44. Yapı ile ilgili deprem parametreleri (EN 1998 için)

Load Case Data - Response Spectrum

Load Case Name: EX Set Def Name Modify/Show...

Notes

Load Case Type: Response Spectrum Design...

Modal Combination:

- ☒ CQC
- ☐ SRSS
- ☐ Absolute
- ☐ GMC
- ☐ NRC 10 Percent
- ☐ Double Sum

GMC f1: 1, GMC f2: 0, Periodic + Rigid Type: SRSS

Modal Load Case: Use Modes from this Modal Load Case MODAL

- ☒ Standard - Acceleration Loading
- ☐ Advanced - Displacement Inertia Loading

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	EUROCODE8	981
Accel	U1	EUROCODE8	981

Add Modify Delete

☐ Show Advanced Load Parameters

Other Parameters: Modal Damping Constant at 0,05 Modify/Show...

OK Cancel

Şekil 8. 45. Yapıda tanımlı EX response spectrum (EN 1998 için)

Load Case Data - Response Spectrum

Load Case Name: EY Set Def Name Modify/Show...

Notes

Load Case Type: Response Spectrum Design...

Modal Combination:

- ☒ CQC
- ☐ SRSS
- ☐ Absolute
- ☐ GMC
- ☐ NRC 10 Percent
- ☐ Double Sum

GMC f1: 1, GMC f2: 0, Periodic + Rigid Type: SRSS

Modal Load Case: Use Modes from this Modal Load Case MODAL

- ☒ Standard - Acceleration Loading
- ☐ Advanced - Displacement Inertia Loading

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U2	EUROCODE8	9810,
Accel	U2	EUROCODE8	9810,

Add Modify Delete

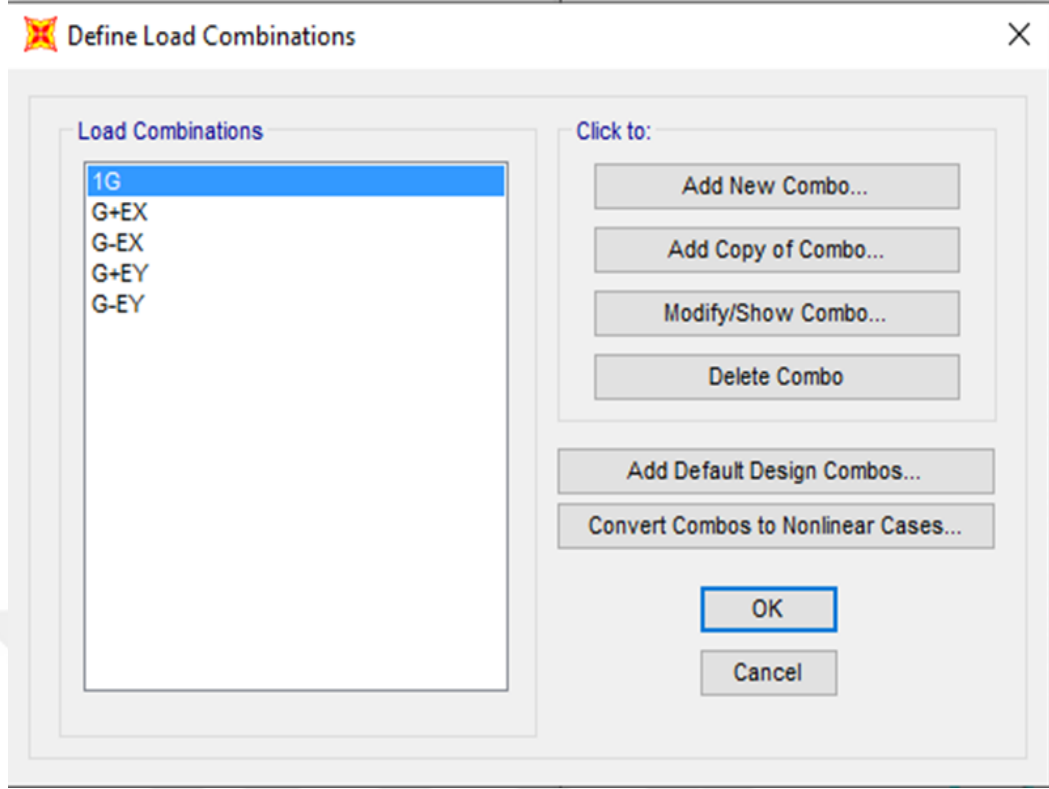
☐ Show Advanced Load Parameters

Other Parameters: Modal Damping Constant at 0,05 Modify/Show...

OK Cancel

Şekil 8. 46. Yapıda tanımlı EY response spectrum (EN 1998 için)

TBDY 2018' e göre çözüm için programa tanımlanan kombinasyonlar Eurocode-8 yönetmelik çözümü için de aynı olacak şekilde tanımlanmıştır (Şekil 8.47).



Şekil 8. 47. Yapıya etkiyen yük kombinasyonları (EN 1998 için)

8.4.2. Taşıyıcı duvarların mekanik özellikleri

Eurocode 6' ya göre kagir birimler, kullanılan malzeme tipi ve delik oranına göre 4 gruba ayrılmıştır. Çizelge (8.7)' de verilen değerler doğrultusunda tuğla malzemesi Grup I' de yer almaktadır.

Çizelge 8. 7. EN 1996-1' e göre yığma birimlerin gruplandırılması için geometrik gereksinimler

	Materials and limits for Masonry Units							
	Group 1 (all materials)		Group 2		Group 3		Group 4	
		Units	Vertical holes				Horizontal holes	
Volume of all holes (% of the gross volume)	≤ 25	clay	> 25; ≤ 55		≥ 25; ≤ 70		> 25; ≤ 70	
		calcium silicate	> 25; ≤ 55		not used		not used	
		concrete ^b	> 25; ≤ 60		> 25; ≤ 70		> 25; ≤ 50	
Volume of any hole (% of the gross volume)	≤ 12,5	clay	each of multiple holes ≤ 2 gripholes up to a total of 12,5		each of multiple holes ≤ 2 gripholes up to a total of 12,5		each of multiple holes ≤ 30	
		calcium silicate	each of multiple holes ≤ 15 gripholes up to a total of 30		not used		not used	
		concrete ^b	each of multiple holes ≤ 30 gripholes up to a total of 30		each of multiple holes ≤ 30 gripholes up to a total of 30		each of multiple holes ≤ 25	
Declared values of thickness of webs and shells (mm)	No requirement		web	shell	web	shell	web	shell
		clay	≥ 5	≥ 8	≥ 3	≥ 6	≥ 5	≥ 6
		calcium silicate	≥ 5	≥ 10	not used		not used	
		concrete ^b	≥ 15	≥ 18	≥ 15	≥ 15	≥ 20	≥ 20
Declared values of thickness of webs and shells (mm)	No requirement		web	shell	web	shell	web	shell
		clay	≥ 5	≥ 8	≥ 3	≥ 6	≥ 5	≥ 6
		calcium silicate	≥ 5	≥ 10	not used		not used	
		concrete ^b	≥ 15	≥ 18	≥ 15	≥ 15	≥ 20	≥ 20
Declared value of combined thickness ^a of webs and shells (% of the overall width)	No requirement	clay	≥ 16		≥ 12		≥ 12	
		calcium silicate	≥ 20		not used		not used	
		concrete ^b	≥ 18		≥ 15		≥ 45	

^a The combined thickness is the thickness of the webs and shells, measured horizontally in the relevant direction. The check is to be seen as a qualification test and need only be repeated in the case of principal changes to the design dimensions of units.

^b In the case of conical holes, or cellular holes, use the mean value of the thickness of the webs and the shells.

Yapıda kullanılan malzemelerin birim basınç dayanımları bölüm 8.3.2' de verilmiştir. Bu yönetmelikteki hesaplarda da aynı basınç dayanımları kullanılmıştır.

Avrupa yönetmeliğine göre kısmi faktör (γ_m) 2.0 kabul edilecektir.

8.4.2.1. Taşıyıcı duvarların basınç dayanımı (f_k) hesabı

EN 1996-1 yönetmeliğine göre genel amaçlı harç ile yapılan yığma yapılar için karakteristik basınç dayanımı formülü Denklem (8.15)' te verilmiştir.

$$f_k = K f_b^{0.7} f_m^{0.3} \quad (8.15)$$

f_b malzeme birim basınç dayanımı, f_m ise harç basınç dayanımıdır.

K değeri sabit sayıdır ve Eurocode 6 'ya göre Çizelge (8.8)' den tuğla ve taş malzemeleri için ayrı ayrı belirlenecektir.

Çizelge 8. 8. EN 1996-1' e göre genel amaçlı, ince tabakalı ve hafif harçlarla kullanım için K değerleri

Masonry Unit		General purpose mortar	Thin layer mortar (bed joint $\geq 0,5$ mm and ≤ 3 mm)	Lightweight mortar of density	
				$600 \leq \rho_d \leq 800$ kg/m ³	$800 < \rho_d \leq 1300$ kg/m ³
Clay	Group 1	0,55	0,75	0,30	0,40
	Group 2	0,45	0,70	0,25	0,30
	Group 3	0,35	0,50	0,20	0,25
	Group 4	0,35	0,35	0,20	0,25
Calcium Silicate	Group 1	0,55	0,80	†	†
	Group 2	0,45	0,65	†	†
Aggregate Concrete	Group 1	0,55	0,80	0,45	0,45
	Group 2	0,45	0,65	0,45	0,45
	Group 3	0,40	0,50	†	†
	Group 4	0,35	†	†	†
Autoclaved Aerated Concrete	Group 1	0,55	0,80	0,45	0,45
Manufactured Stone	Group 1	0,45	0,75	†	†
Dimensioned Natural Stone	Group 1	0,45	†	†	†
† Combination of mortar/unit not normally used, so no value given.					

Çizelge (8.8) 'e göre tuğla ve taş malzemeleri için belirlenen K değerleri sırası ile 0.55 ve 0.45 tir.

- Tuğla malzemesinin karakteristik basınç dayanımı Denklem (8.15)' e göre

$$f_k = 0.55 \times 30^{0.7} \times 1.5^{0.3} = 6.717 \text{ MPa}$$

- Taş malzemesinin karakteristik basınç dayanımı Denklem (8.15)' e göre

$$f_k = 0.45 \times 35^{0.7} \times 1.5^{0.3} = 6.122 \text{ MPa}$$
 hesaplanmıştır.

Taşıyıcı tuğla duvarın elastisite modülü (E):

$$E = Kx f_k \quad (8.16)$$

$$E = 1000 \times 6.717 = 6717 \text{ MPa}$$

$$G = 0.4 \times 6717 = 2686.8 \text{ MPa}$$

Taşıyıcı taş duvarın elastisite modülü (E) Denklem (8.16)' ya göre E=6122 MPa olarak hesaplanmıştır. Kayma modülü ise G = 2448.8 MPa bulunmuştur.

8.4.2.2. Taşıyıcı duvarların kesme dayanımı (f_{vk}) hesabı

Taş duvar kesme dayanımı f_{vk} Denklem (8.17)' ya göre hesaplanacaktır.

$$f_{vk} = f_{vko} + 0.4\sigma_d \quad (8.17)$$

Duvarların başlangıç kesme dayanımı f_{vko} , Çizelge (8.9)' dan alınacaktır.

Çizelge 8. 9. EN 1996-1' e göre duvarların başlangıç kesme dayanımları

Masonry units	f_{vko} (N/mm ²)		
	General purpose mortar of the Strength Class given		Thin layer mortar (bed joint $\geq 0,5$ mm and ≤ 3 mm)
Clay	M10 - M20	0,30	0,30
	M2,5 - M9	0,20	
	M1 - M2	0,10	
Calcium silicate	M10 - M20	0,20	0,40
	M2,5 - M9	0,15	
	M1 - M2	0,10	
Aggregate concrete	M10 - M20	0,20	0,30
Autoclaved Aerated Concrete	M2,5 - M9	0,15	
Manufactured stone and Dimensioned natural stone	M1 - M2	0,10	
			Lightweight mortar

M1-M2 karakteristik basınç dayanımında taş için başlangıç kesme dayanımı f_{vko} = 0.10 Mpa' dır.

8.4.3. EUROCODE 6' ya göre nihai sınır durumları

Yapılan hesaplamalar yapıda hassas olan bir duvar (D1-1) için ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

- Duvar düşey yük tasarım dayanımı hesabı (N_{Rd})

D1-1 Duvarı İçin Hesaplamalar

D1-1 duvarının uzunluğu 198 cm, yüksekliği 335 cm ve kalınlığı 81 cm'dir

EN 1996-3' te Duvar düşey yük tasarım dayanımı olan N_{Rd} 'nin basitleştirilmiş formülü Denklem (8.18)' verilmiştir. Yığma duvar tasarım basınç dayanımı f_d ise Denklem (8.19) ile hesaplanacaktır.

$$N_{Rd} = \phi_s \times A \times f_d \quad (8.18)$$

$$f_d = f_k / \gamma_m \quad (8.19)$$

D1-1 duvarının tasarım basınç dayanımı f_d , Denklem (8.19)' a göre hesaplanıp 3,061 MPa bulunmuştur.

Kapasite azaltma faktörü ϕ_s Denklem (8.20) ile ve duvarın etkili yüksekliği h_{ef} Denklem (8.21) ile hesaplanacaktır.

$$\phi_s = 0,85 - 0,0011 \times (h_{ef}/t_{ef})^2 \quad (8.20)$$

$$h_{ef} = \rho_n \times h \quad (8.21)$$

ρ_n , duvarın kenar kısıtlamasına göre değişkenlik göstermekte olup; üstte, altta ve bir dikey kenarda yanal olarak sınırlandırılmış duvarlarda $\rho_n = 1,5 \times (l/h)$ ile hesaplanacaktır. $\rho_n = 1,5 \times (1,98/3,35) = 0,8866$ Denklem (8.21)' de yerine koyularak duvarın etkili yüksekliği (h_{ef}) 2.97 bulunmuştur.

$$\phi_s = 0,85 - 0,0011 \times (2,97/0,81)^2 = 0,835$$

$$N_{Rd} = 0,835 \times (1,98 \times 0,81) \times (10^3)^2 \times 3,061$$

$$N_{Rd} = 4099208,553 \text{ N}$$

$$N_{Ed} = 11157,796 \text{ kgf (109420,6 N) (Sap2000 programından alınmıştır.)}$$

EN-1996 yönetmeliğine göre bir kagir duvara uygulanan düşey yükün tasarım değeri (N_{Ed}) duvarın düşey direncinin tasarım değerine N_{Rd} eşit veya bu değerden küçük olacaktır. Yapılan hesaplamalar sonucunda;

$N_{Ed} = 109420,6 \text{ N} < N_{Rd} = 4099208,553 \text{ N}$ olup şartı sağlamaktadır.

- **Duvarın kesme kuvveti dayanımı (V_{Rd})**

Duvar tasarım kesme kuvveti dayanımı V_{Rd} , Denklem (8.22)'ye göre hesaplanacaktır.

$$V_{Rd} = f_{vd} t \ell_c \quad (8.22)$$

Duvar tasarım kesme dayanımı Denklem (8.23)' e göre ve duvar tasarım başlangıç kesme dayanımı Denklem (8.24)' e göre hesaplanır.

D1-1 duvarı için f_{vk} değeri Denklem (8.17) ve σ_d değeri Denklem (8.3) ile hesaplanacaktır.

$$\sigma_d = 109420,6 / (1980 \times 810)$$

$$\sigma_d = 0,068 \text{ MPa}$$

$$f_{vk} = 0,1 + 0,4 \times 0,068$$

$$f_{vk} = 0,1272 \text{ MPa}$$

$$f_{vd} = f_{vk} / \gamma_m \quad (8.23)$$

$$f_{vd} = 0,1272 / 2,0 = 0,0628 \text{ MPa}$$

$$f_{vdo} = f_{vko} / \gamma_m \quad (8.24)$$

$$f_{vdo} = 0,1 / 2,0 = 0,05 \text{ MPa}$$

Duvar düzlemi içerisinde, dış merkezliğin ($e = M_{Ed} / V_{Ed}$), duvar uzunluğunun $l/6$ 'sından daha büyük olması durumunda duvar basınç bölgesi uzunluğu;

$$l_c = 3 \left(\frac{l}{2} - e \right) = 3 \left(\frac{l}{2} - \frac{M_{Ed}}{V_{Ed}} \right) \quad (8.25)$$

ile hesaplanacaktır (EN 1998-1). Dış merkezliğin (e), $l/6$ ' dan küçük olması durumunda tüm duvar uzunluğu basınç altında olacağından $l = lc$ olmaktadır. Dış merkezliğin (e), $l/2$ ' yi aşması durumunda ise, basınç kuvvetinin yeri kesit dışına çıkacağından $lc = 0$ olmakta, düzlem içi devrilme meydana gelmektedir (EN 1998-1).

Duvara etkiyen tasarım kesme kuvveti (V_{Ed}), depremten gelen kuvvettir.

$$V_{Ed} = S_D(T_1) \times m \times \lambda \quad (8.26)$$

λ düzeltme faktörü olup değeri: $T_1 \leq 2T_c$ ise ve bina ikiden fazla kata sahipse $\lambda = 0,85$, aksi takdirde $\lambda = 1$ 'e eşittir (EN 1998-1).

T_1 titreşim periyodu Denklem (8.27)' den hesaplanacaktır. Cami yığma yapı olduğu için C_T değeri yönetmeliğe göre 0,05 olarak alınacaktır.

$$T_1 = C_T * H_N^{3/4} \quad (8.27)$$

$$T_1 = 0,05 \times (6,06)^{3/4}$$

$$T_1 = T = 0,193 \text{ (s)}$$

EN 1998-1' e göre tasarım spektrumu ($S_d(T)$) hesaplanırken $T_B \leq T \leq T_C$ ise Denklem (8.28)' de verilen formül kullanılır.

$$S_d(T) = a_g \times S \times \frac{2,5}{q} \quad (8.28)$$

$$S_d(T) = 0,15 \times 1,5 \times \frac{2,5}{1,5}$$

$$S_d(T) = 0,375 \text{ (g)}$$

$T_1 = 0,193 \leq 2T_c = 0,5$ olduğu için $\lambda = 0,85$ alınmıştır.

Denklem (8.26)' ya göre hesaplanan tasarım kesme kuvveti

$$(V_{Ed}) = 0,375 \times (11157,796/9,81) \times 0,85 = 362,54 \text{ kgf}$$

Yapısal çözümlemede, duvarlara etkiyen eğilme momentleri (M_{Ed}), duvarın her iki ucunun ankastre olarak kabul edilmesinden dolayı, duvarlara etkiyen kesme

kuvvetleri (V_{Ed}), duvar serbest yüksekliğinin (H) yarısı ile çarpılarak hesaplanmıştır. (Mısır ve ark. 2019)

$$M_{ED} = 362,54 \times (3,35/2) = 607,25 \text{ kgf}$$

$$e = M_{Ed}/V_{Ed} = 607,25/362,54 = 1,675$$

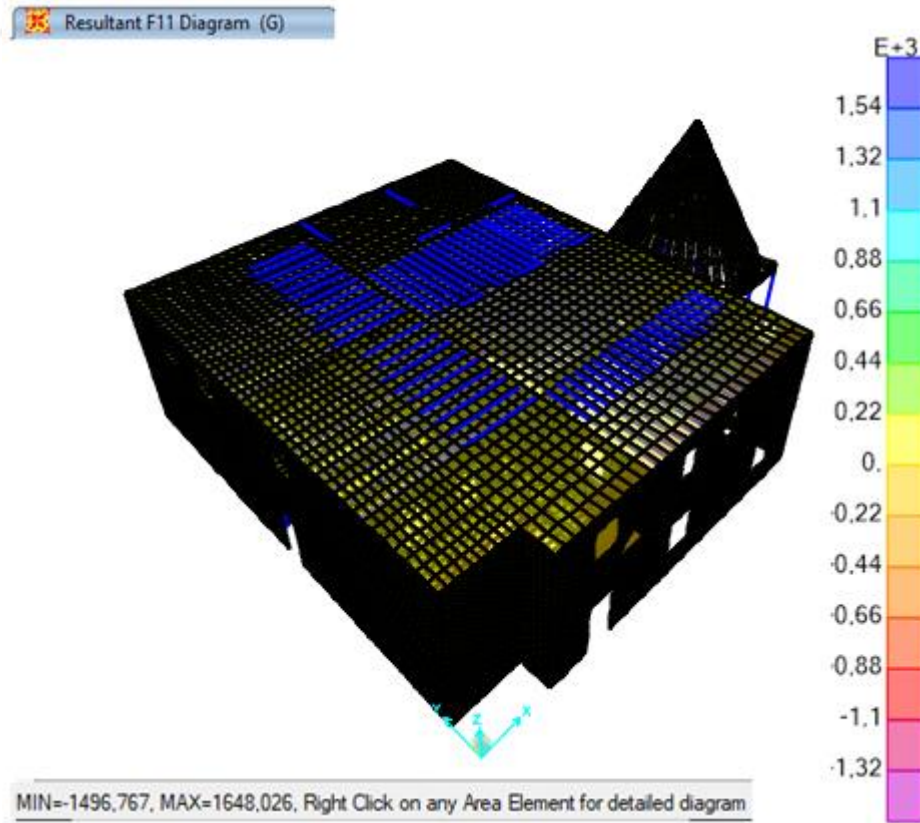
$$e = 1,675 > l/2 = 1,98/2 = 0,99$$

Basınç kuvvetinin yeri kesit dışına çıktığı için $lc = 0$ olur. Düzlem içi devrilme meydana gelir. $lc = 0$ olduğu için $V_{Rd} = 0$ olur.

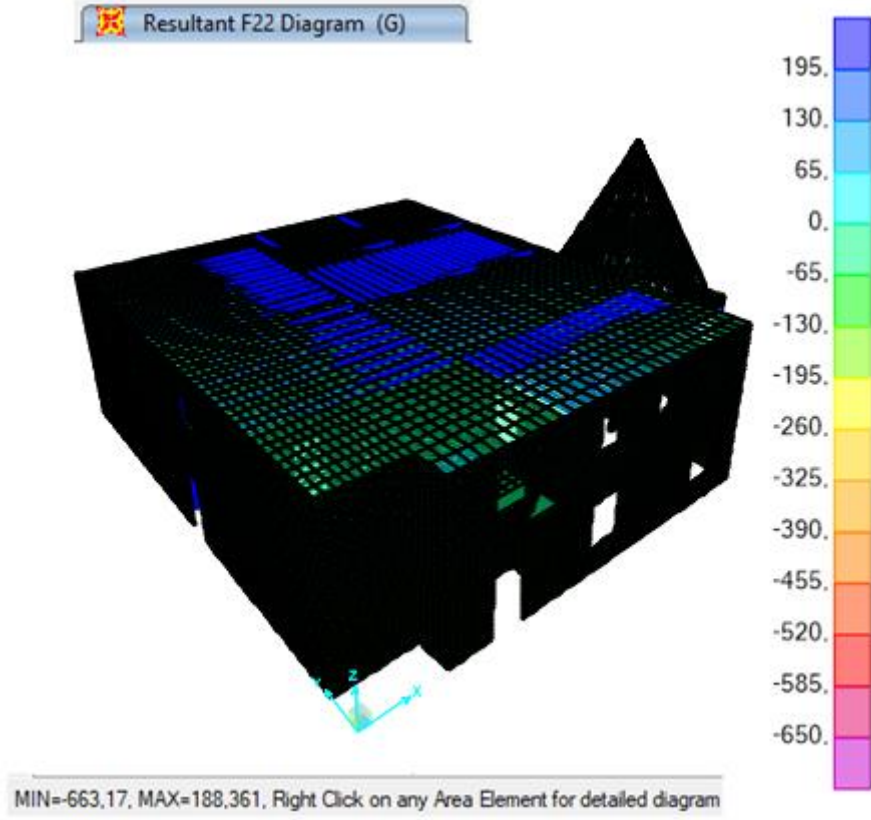
EN-1996 yönetmeliğine göre yığma duvara uygulanan kesme yükünün tasarım değeri (V_{Ed}), duvarın kesme direncinin tasarım değerine (V_{Rd}) eşit veya bu değerden küçük olacaktır, $V_{Rd} = 0$ olduğu için bu şartı sağlamamaktadır.

8.4.4. Ölü yükler altında yapının analizi

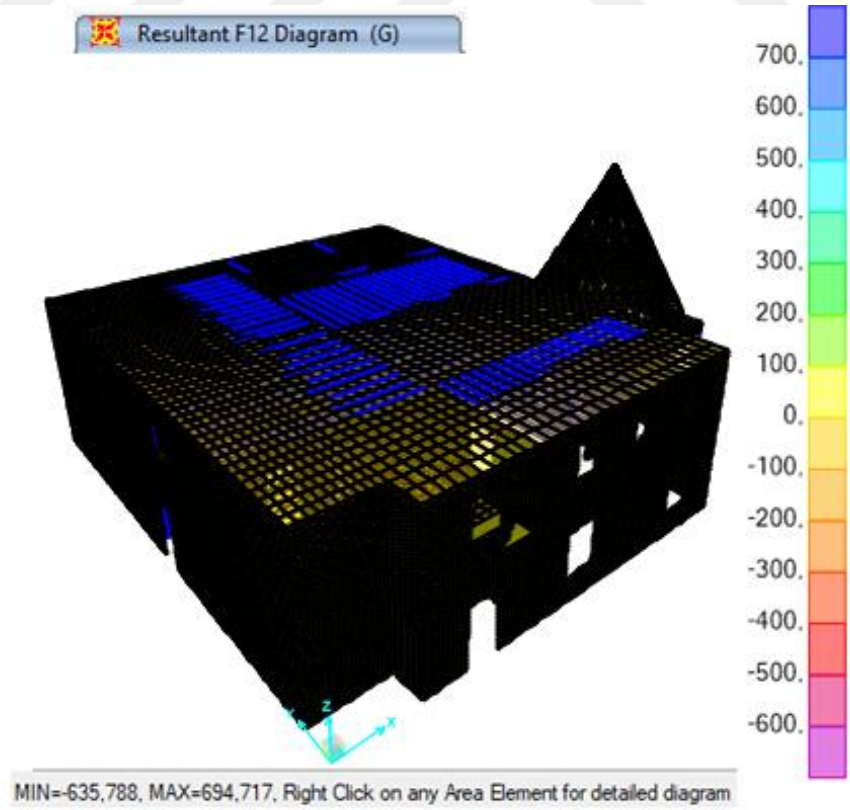
Yapının üç boyutlu sonlu eleman modelinin kendi ağırlığı altında yapılan statik analizi sonucunda yapıdaki muhtemel kuvvet dağılımlarına ve şekil değiştirme değerlerine ulaşılmıştır.



Şekil 8. 48. EN 1998' e göre G yüklemesi F11 grafiği



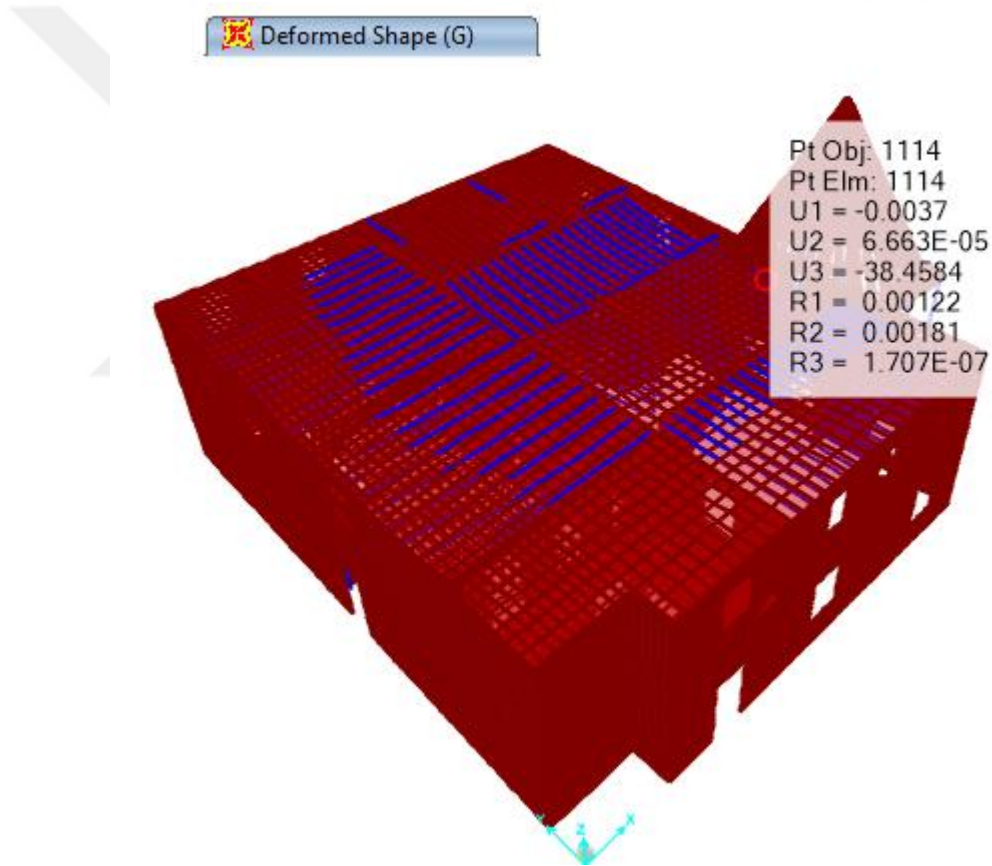
Şekil 8. 49. EN 1998' e göre G yüklemesi F22 grafiği



Şekil 8. 50. EN 1998' e göre G yüklemesi F12 grafiği

Yapının kendi ağırlığı altında yapılan analiz sonucunda elde edilen F11 ve F22 (çekme ve basınç) kuvveti değerleri grafiği (Şekil 8.48 ve Şekil 8.49) ile F12 (kesme) kuvveti değerleri grafiği (Şekil 8.50) incelenmiştir. En elverişsiz basınç kuvvetleri F11 grafiğinden 1496.775 N (Şekil 8.48) ve en elverişsiz çekme kuvvetleri de yine F11 grafiğinden 1648.06 N (Şekil 8.48) olarak tespit edilmiştir. Her iki değerde D1-1 duvarının tasarım dayanımı değeri 4099208,553 N altında çıkmıştır.

F12 grafiğinden belirlenen maksimum kesme kuvveti 694.717 N' dur (Şekil 8.50). D1-1 duvarında düzlem içi devrilme meydana geldiği için kesme kuvveti dayanımı $V_{Rd}=0$ gelmiştir. Kesme kuvveti açısından D1-1 duvarı güvenli tarafta değildir.



Şekil 8. 51. EN 1998' e göre G yüklemesi altında oluşan maksimum yer değiştirme (mm)

G yükü altında, yapıdaki en büyük yer değiştirme düşey doğrultuda yaklaşık 38.46 mm olmaktadır (Şekil 8.51). Bu analizde $q=1.5$ değeri kullanıldığı için elastik yer değiştirme $38.46 \text{ mm} \times 1.5 = 57.69 \text{ mm}$ olarak hesaplanmalıdır.

8.4.5. Modal çözümleme

Eurocode 8 yönetmeliğine göre uygulanan mod birleştirme yöntemi için hesap edilen toplam etkin kütlenin toplam bina kütlelerinin % 90' ından daha az olmaması gerekmektedir. Hesaba katılacak yeterli titreşim mod sayısını belirlemede bu değer göz önüne alınacaktır.

Şeyh Sadreddin Caminin sonlu eleman modelinin SAP 2000 programında modal çözümlemesi yapılmıştır. Çözümleme sonucunda 160 tane mod şekli ve serbest titreşim periyodu elde edilmiştir. Ana kütlelerin Y doğrultusunda yanal yer değiştirme hareketini gösteren 93. modun kütle katılım oranı % 42 ve X doğrultusunda yanal yer değiştirme hareketini gösteren 76. modun kütle katılım oranı ise % 62 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 8.10) .

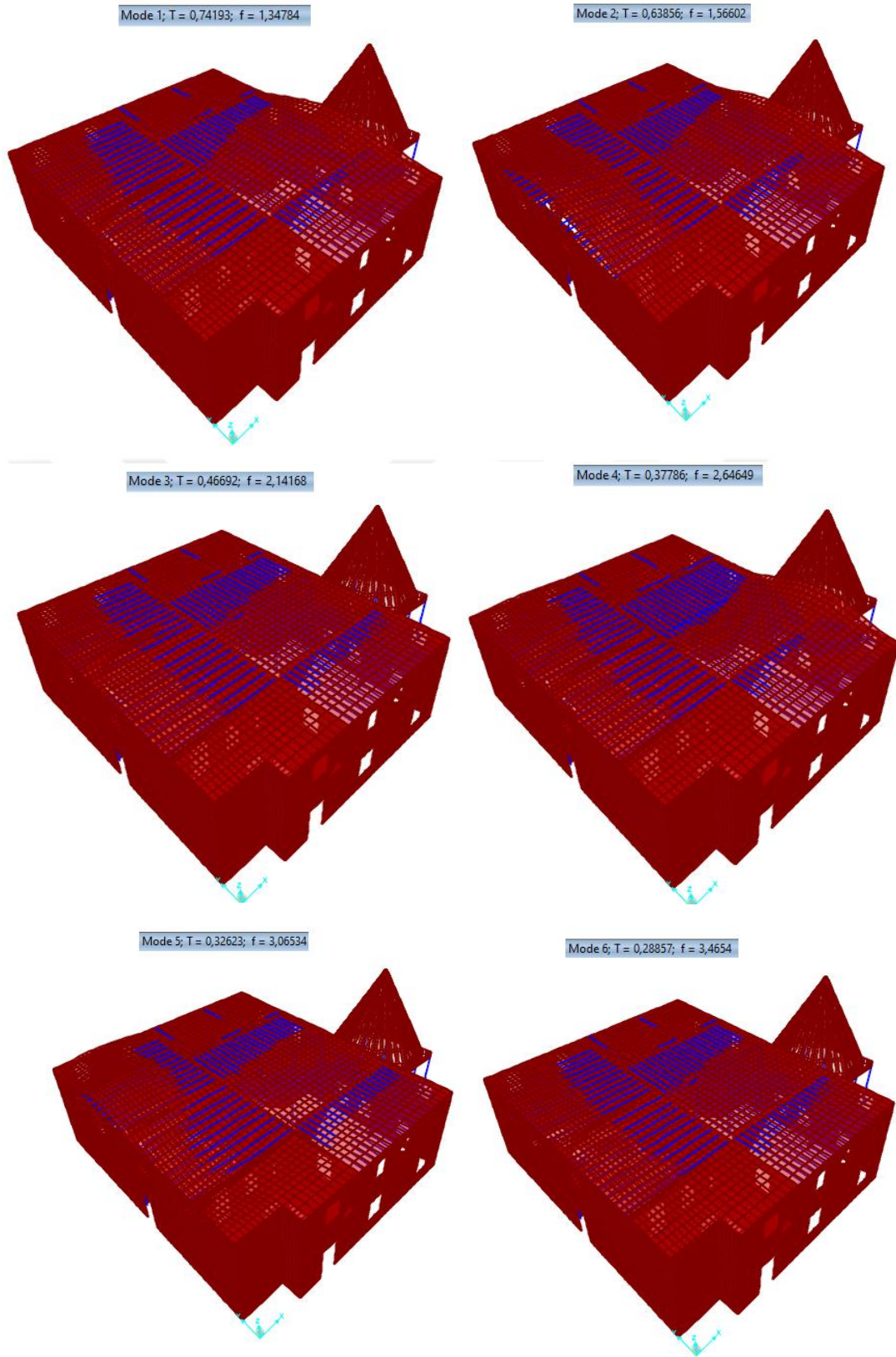
Tanımlanan 160 mod şekli sonucunda etkin kütlelerin toplamının, bina toplam kütlelerinin X yönünde % 74' üne ve Y yönünde %78' ine ulaşabilmektedir.

Çizelge 8. 10. EN 1998' e göre İlk 90 modun serbest titreşim periyotları ve kütle katılım oranları

TABLE: Modal Participating Mass Ratios							
OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	SumUX	SumUY
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	0,741926	6,526E-09	2,794E-10	6,526E-09	2,794E-10
MODAL	Mode	2	0,638563	6,144E-09	5,947E-12	1,267E-08	2,854E-10
MODAL	Mode	3	0,466922	1,305E-11	0,002046	1,268E-08	0,002046
MODAL	Mode	4	0,37786	5,606E-08	5,002E-09	6,874E-08	0,002046
MODAL	Mode	5	0,326228	1,216E-07	1,347E-10	1,904E-07	0,002046
MODAL	Mode	6	0,288567	2,032E-08	3,731E-09	2,107E-07	0,002046
MODAL	Mode	7	0,287634	4,267E-09	4,718E-10	2,149E-07	0,002046
MODAL	Mode	8	0,257416	1,852E-07	4,518E-10	4,002E-07	0,002046
MODAL	Mode	9	0,249951	5,784E-08	2,782E-08	0,00000458	0,002046
MODAL	Mode	10	0,228735	7,225E-08	2,083E-10	5,302E-07	0,002046
MODAL	Mode	11	0,222154	0,000000322	1,573E-09	8,522E-07	0,002046
MODAL	Mode	12	0,2102	7,687E-08	8,293E-08	9,291E-07	0,002046
MODAL	Mode	13	0,209362	1,742E-08	9,835E-09	9,465E-07	0,002046
MODAL	Mode	14	0,171395	9,612E-08	2,034E-08	0,000001043	0,002046
MODAL	Mode	15	0,165085	4,368E-12	0,00006423	0,000001043	0,00211
MODAL	Mode	16	0,163178	1,425E-08	1,989E-08	0,000001057	0,00211
MODAL	Mode	17	0,159289	4,522E-09	1,631E-08	0,000001061	0,00211
MODAL	Mode	18	0,155678	0,002691	2,239E-08	0,002692	0,00211
MODAL	Mode	19	0,152202	2,464E-09	1,439E-09	0,002692	0,00211
MODAL	Mode	20	0,145701	0,000001593	2,57E-08	0,002694	0,00211
MODAL	Mode	21	0,145197	3,025E-07	4,795E-08	0,002694	0,00211
MODAL	Mode	22	0,136103	8,635E-07	1,678E-08	0,002695	0,00211
MODAL	Mode	23	0,133689	0,00000452	8,292E-08	0,002699	0,00211
MODAL	Mode	24	0,132794	0,000002007	0,000001138	0,002701	0,002111
MODAL	Mode	25	0,130481	2,542E-07	0,000001534	0,002702	0,002113
MODAL	Mode	26	0,130245	0,000002787	3,398E-09	0,002704	0,002113
MODAL	Mode	27	0,126434	4,033E-08	2,393E-07	0,002704	0,002113
MODAL	Mode	28	0,123543	0,000001436	7,285E-08	0,002706	0,002113
MODAL	Mode	29	0,11429	0,000001138	3,18E-10	0,002707	0,002113
MODAL	Mode	30	0,11152	0,000000468	2,564E-09	0,002707	0,002113
MODAL	Mode	31	0,108445	5,625E-08	4,916E-12	0,002707	0,002113
MODAL	Mode	32	0,106786	3,026E-07	7,562E-08	0,002708	0,002113
MODAL	Mode	33	0,100799	0,00000141	3,761E-09	0,002709	0,002113

MODAL	Mode	34	0,09901	2,484E-07	1,019E-07	0,002709	0,002113
MODAL	Mode	35	0,095739	8,698E-08	9,789E-10	0,00271	0,002113
MODAL	Mode	36	0,095695	3,991E-07	4,469E-08	0,00271	0,002114
MODAL	Mode	37	0,091604	0,00001548	2,191E-07	0,002725	0,002114
MODAL	Mode	38	0,088422	0,000001284	1,122E-07	0,002727	0,002114
MODAL	Mode	39	0,086197	0,000001765	4,422E-07	0,002728	0,002114
MODAL	Mode	40	0,085464	3,28E-11	1,181E-12	0,002728	0,002114
MODAL	Mode	41	0,084715	0,00000158	3,797E-09	0,00273	0,002114
MODAL	Mode	42	0,080983	7,016E-07	3,671E-07	0,002731	0,002115
MODAL	Mode	43	0,080973	6,742E-07	1,202E-07	0,002731	0,002115
MODAL	Mode	44	0,079642	0,000002768	1,535E-07	0,002734	0,002115
MODAL	Mode	45	0,077468	0,00002192	0,00000136	0,002756	0,002116
MODAL	Mode	46	0,077173	1,249E-07	9,824E-11	0,002756	0,002116
MODAL	Mode	47	0,075743	6,335E-10	0,0001175	0,002756	0,002234
MODAL	Mode	48	0,075253	0,00000124	3,541E-07	0,002757	0,002234
MODAL	Mode	49	0,073945	3,932E-07	7,691E-07	0,002758	0,002235
MODAL	Mode	50	0,07173	0,000004058	1,676E-07	0,002762	0,002235
MODAL	Mode	51	0,071589	0,000001877	4,446E-07	0,002764	0,002235
MODAL	Mode	52	0,071156	1,092E-07	1,819E-09	0,002764	0,002235
MODAL	Mode	53	0,069281	0,000002379	9,894E-09	0,002766	0,002236
MODAL	Mode	54	0,066825	0,0000125	6,504E-07	0,002779	0,002236
MODAL	Mode	55	0,06612	0,000001064	6,969E-08	0,00278	0,002236
MODAL	Mode	56	0,065059	0,00001119	6,884E-09	0,002791	0,002236
MODAL	Mode	57	0,064085	0,000001064	0,000004668	0,002792	0,002241
MODAL	Mode	58	0,063257	0,00005156	5,254E-08	0,002844	0,002241
MODAL	Mode	59	0,063231	0,00002226	2,515E-07	0,002866	0,002241
MODAL	Mode	60	0,062203	8,565E-07	1,891E-07	0,002867	0,002241
MODAL	Mode	61	0,060763	0,00002051	0,00000186	0,002887	0,002243
MODAL	Mode	62	0,060736	0,00002986	3,413E-07	0,002917	0,002244
MODAL	Mode	63	0,057974	0,0002262	1,396E-07	0,003143	0,002244
MODAL	Mode	64	0,056961	0,00009589	4,432E-07	0,003239	0,002244
MODAL	Mode	65	0,056474	0,00009755	0,000006753	0,003337	0,002251
MODAL	Mode	66	0,055525	3,273E-10	1,938E-10	0,003337	0,002251
MODAL	Mode	67	0,055219	0,00009923	0,00001401	0,003436	0,002265
MODAL	Mode	68	0,054618	1,043E-07	0,000001245	0,003436	0,002266
MODAL	Mode	69	0,052333	0,00001209	1,577E-07	0,003448	0,002266
MODAL	Mode	70	0,052061	0,00005279	0,000004646	0,003501	0,002271
MODAL	Mode	71	0,050914	0,001152	0,00001755	0,004653	0,002289
MODAL	Mode	72	0,050124	0,002129	0,00004459	0,006782	0,002333
MODAL	Mode	73	0,049562	0,0006751	0,00003843	0,007457	0,002372
MODAL	Mode	74	0,049494	0,000006489	0,000002115	0,007463	0,002374
MODAL	Mode	75	0,048836	0,0007622	0,00001768	0,008225	0,002391
MODAL	Mode	76	0,048153	0,62	0,01707	0,63	0,01946
MODAL	Mode	77	0,047866	0,06119	0,002044	0,69	0,0215
MODAL	Mode	78	0,047527	0,0002167	6,681E-08	0,69	0,0215
MODAL	Mode	79	0,046078	0,0008587	0,00004654	0,69	0,02155
MODAL	Mode	80	0,045627	0,002419	0,00004673	0,7	0,02159
MODAL	Mode	81	0,045107	1,132E-08	0,0001142	0,7	0,02171
MODAL	Mode	82	0,044997	0,0009553	0,0001368	0,7	0,02185
MODAL	Mode	83	0,044359	0,00001363	0,00001333	0,7	0,02186
MODAL	Mode	84	0,043915	0,001327	0,0003459	0,7	0,0222
MODAL	Mode	85	0,043646	0,00001639	0,00009097	0,7	0,0223
MODAL	Mode	86	0,043383	7,714E-10	0,0001119	0,7	0,02241
MODAL	Mode	87	0,042215	0,000326	0,005212	0,7	0,02762
MODAL	Mode	88	0,04203	0,00002124	0,0004006	0,7	0,02802
MODAL	Mode	89	0,041451	9,809E-07	0,0002039	0,7	0,02822
MODAL	Mode	90	0,041125	0,000007467	0,000771	0,7	0,02899
MODAL	Mode	91	0,040848	0,0001922	0,006361	0,7	0,03536
MODAL	Mode	92	0,040825	0,008802	0,19	0,71	0,23
MODAL	Mode	93	0,040792	0,02367	0,42	0,73	0,64
MODAL	Mode	94	0,040242	0,0001594	0,008813	0,73	0,65
MODAL	Mode	95	0,039597	0,0001581	0,0000218	0,73	0,65

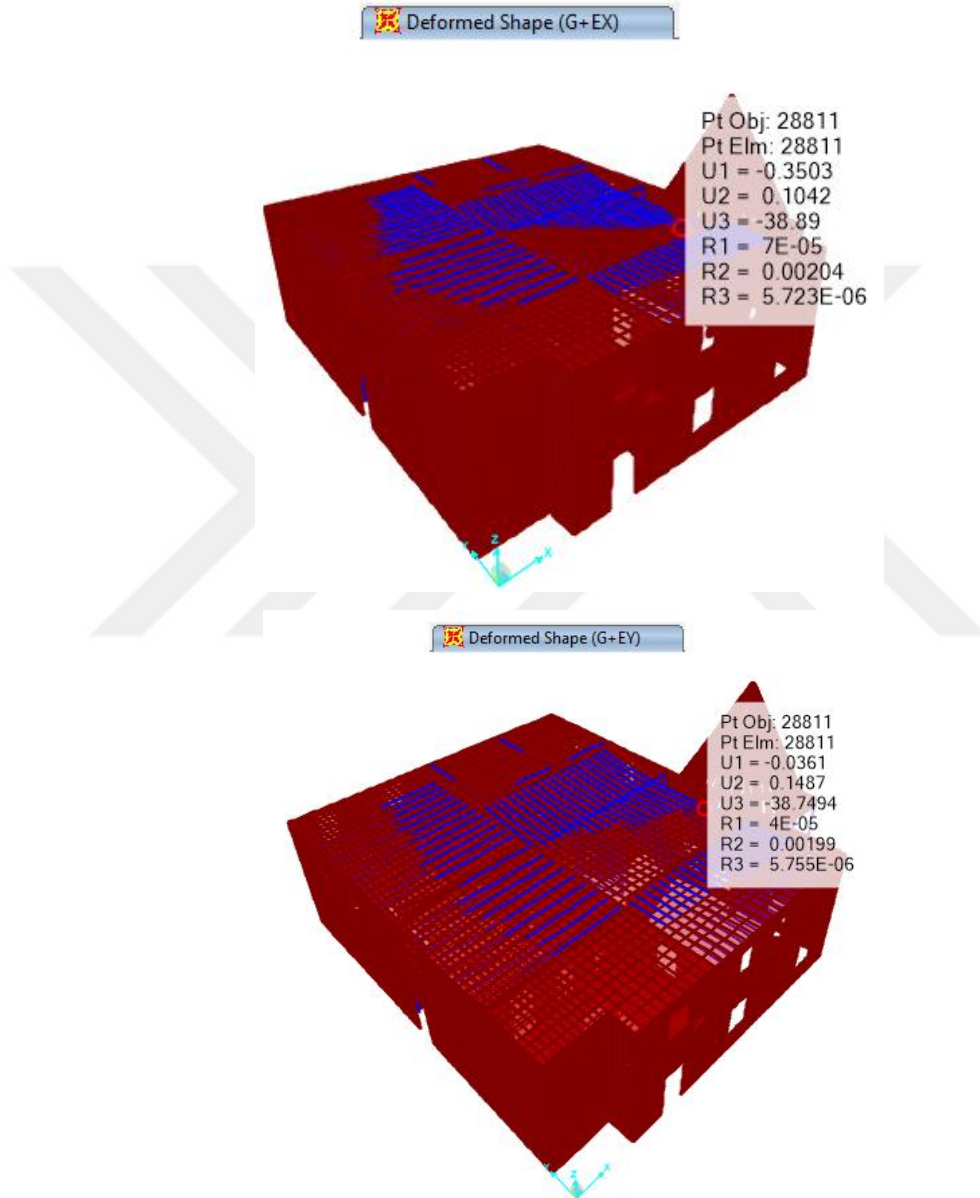
Yapının ilk 6 moduna ait deformasyon şekilleri, periyot ve frekans değerleri Şekil (8.52)' de verilmiştir.



Şekil 8. 52. EN 1998' e göre Şeyh Sadreddin Caminin ilk 6 moda ait deformasyon hareketleri

8.4.6. G+EX ve G+EY deprem yüklemeleri

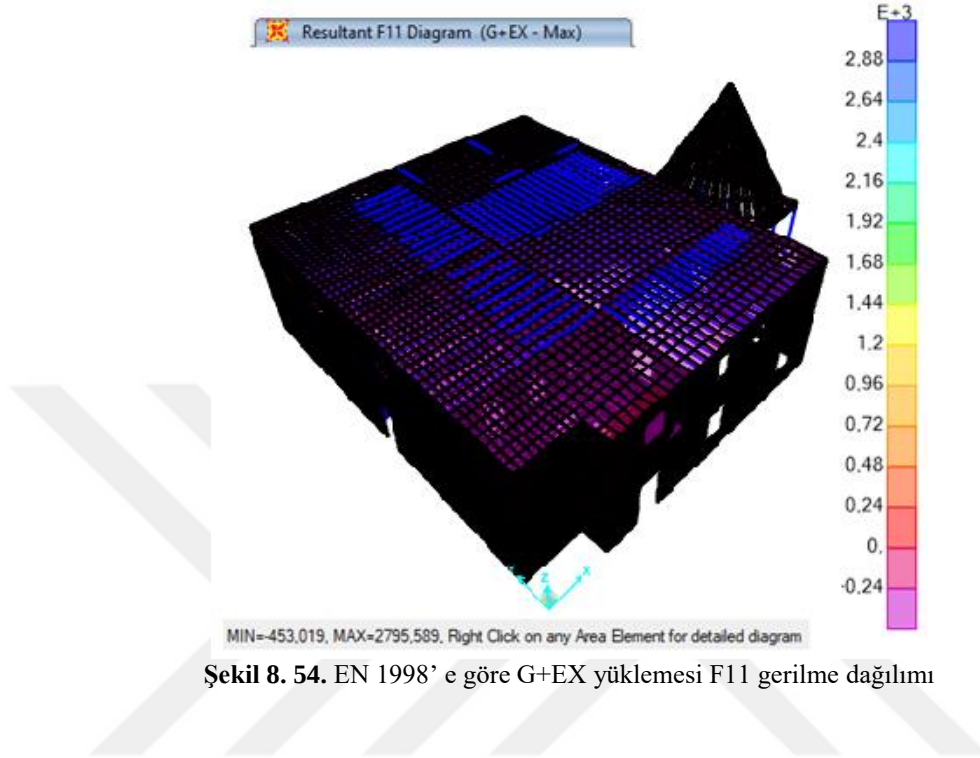
Ölü yükler ile X ve Y doğrultusunda etki eden deprem yüklerinin kombinasyonlarının modal yapısal çözümleme sonucunda yapıda oluşan şekil değiştirmeler Şekil (8.53)' te verilmiştir.



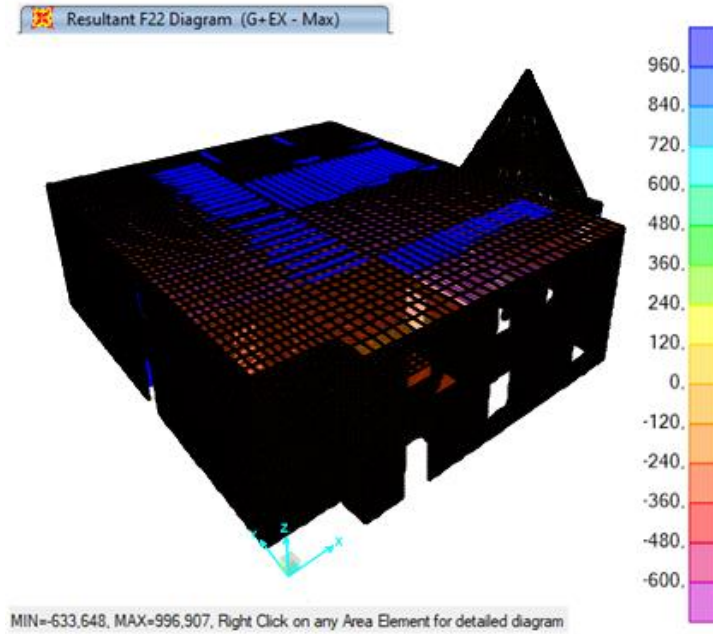
Şekil 8. 53. EN 1998' e göre Şeyh Sadreddin Konevi Caminin G+EX ve G+EY deprem yüklemeleri altındaki yer değiştirmeleri (mm)

G+EX deprem yüklemesi X yönünde 0,35 mm ve Z yönünde 38,89 mm yanal ötelenme meydana getirmektedir. G+EY deprem yüklemesi Y yönünde 0,15 mm ve Z yönünde 38,75 mm yanal ötelenme meydana getirmektedir.

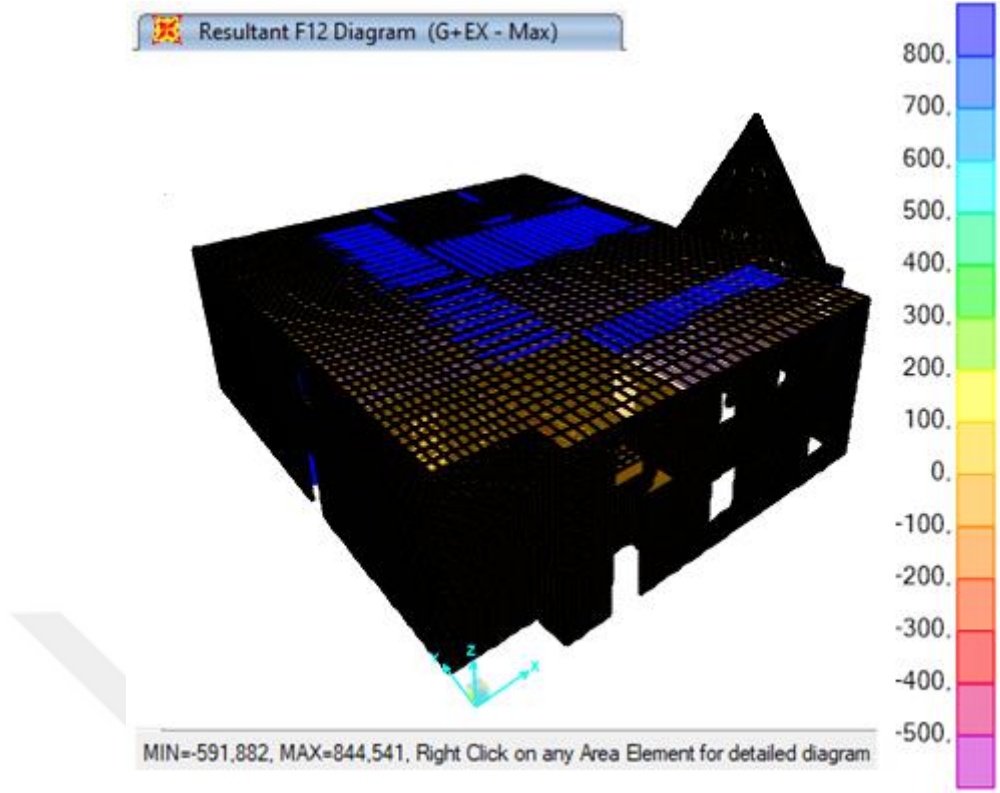
Yapının analizi incelendiğinde en çok zorlanan ve kuvvetlerin en elverişsiz olduğu bölgeler pencere-kapı boşluklarının köşe noktaları, duvarların birleşim bölgeleri olduğu görülmektedir.



Şekil 8. 54. EN 1998' e göre G+EX yüklemesi F11 gerilme dağılımı



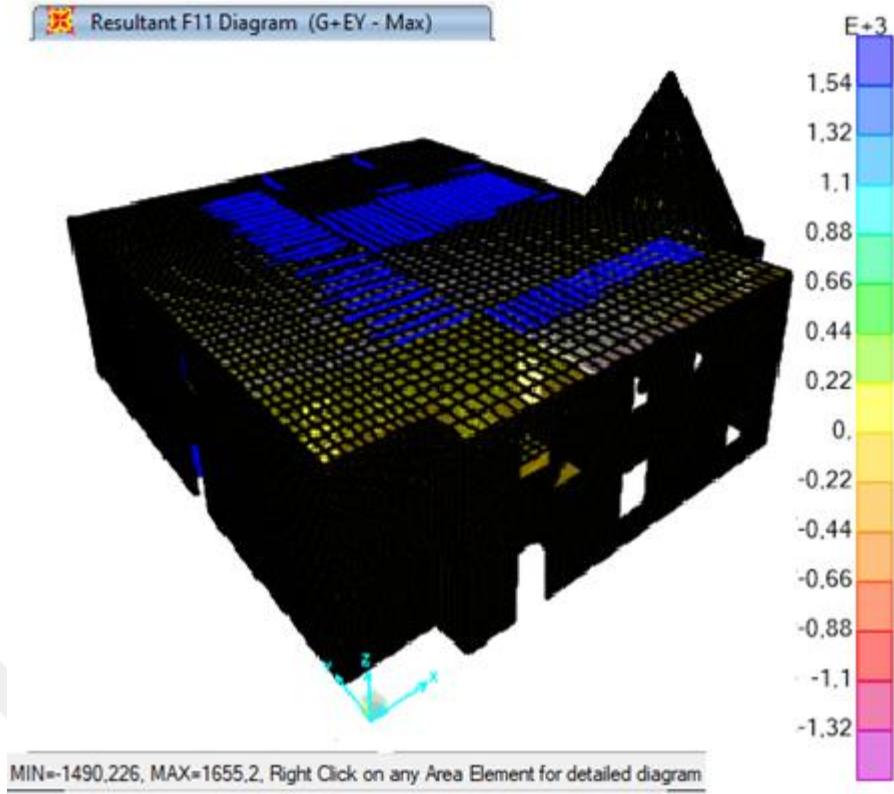
Şekil 8. 55. EN 1998' e göre G+EX yüklemesi F22 gerilme dağılımı



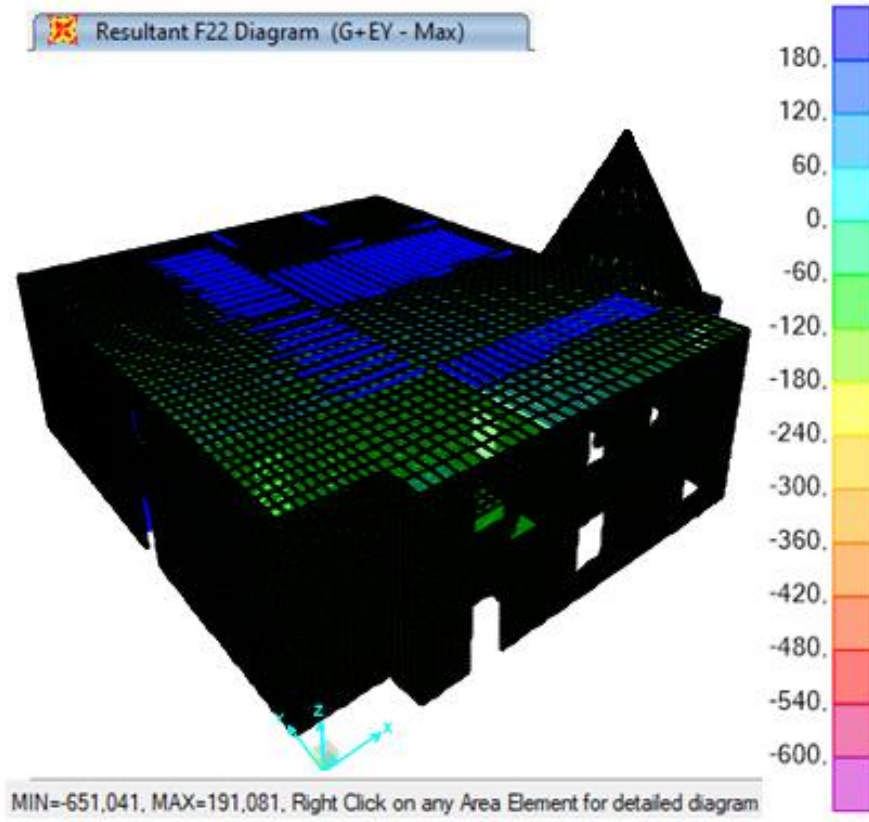
Şekil 8. 56. EN 1998' e göre G+EX yüklemesi F12 gerilme dağılımı

G+EX deprem yükleme durumunda yapıdaki F11 (Şekil 8. 54) ve F22 (Şekil 8.55) kuvvetlerinde oluşan en büyük basınç kuvveti 633,648 N ve en büyük çekme kuvveti 2795,589 N olarak hesaplanmıştır. Ele alınan D1-1 duvarı için bu değerler tasarım dayanımı değerinin altındadır.

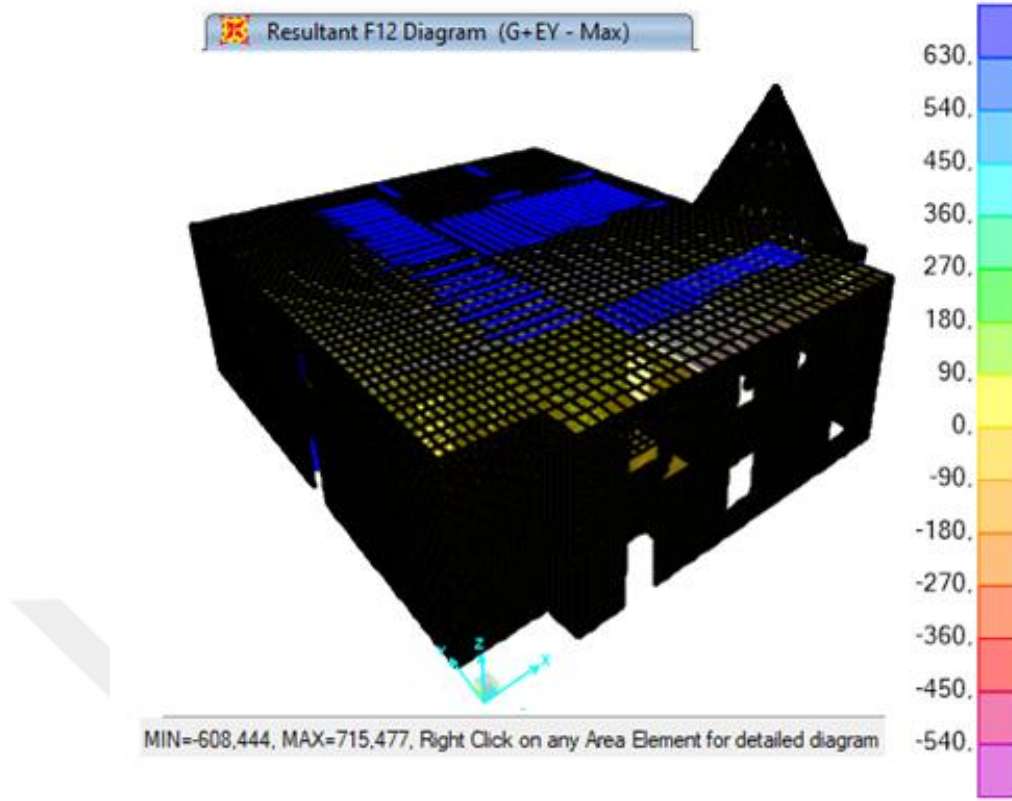
Kesme kuvveti F12 için (Şekil 8.56) hesaplanan max değer 844,541 N olarak bulunmuştur. Duvarı düzlem içi devrilme meydana geldiği için bu değer tasarım kesme kuvveti dayanımını aşmaktadır.



Şekil 8. 57. EN 1998' e göre G+EY yüklemesi F11 gerilme dağılımı



Şekil 8. 58. EN 1998' e göre G+EY yüklemesi F22 gerilme dağılımı



Şekil 8. 59. EN 1998' e göre G+EY yüklemesi F12 gerilme dağılımı

G+EY deprem yüklemesi durumunda yapıdaki F11 (Şekil 8. 57) ve F22 (Şekil 8. 58) kuvvetlerinde oluşan en büyük basınç kuvveti 1490,226 N en büyük çekme kuvveti 1655,2 N olarak hesaplanmıştır (Şekil 8.57). Ele alınan D1-1 duvarı için bu değerler tasarım dayanımı değerinin altındadır.

Kesme kuvveti F12 için (Şekil 8.59) hesaplanan max değer 715,477 N olarak gerçekleşmiştir. Duvarda düzlem içi devrilme meydana geldiği için bu değer tasarım kesme kuvveti dayanımını aşmaktadır.

8.5. IS 1893:2016 Deprem Yönetmeliğine Göre Yapısal Analiz İçin Oluşturulan Modellemelerde Kullanılan Parametreler

Hesaplar donatısız yığma yapılar için yapılacaktır. Dolayısıyla yığma binalar için gerekli hesaplamalar IS 1905:1987 yönetmeliğine göre yapılmıştır.

Yapılara etkiyecek deprem kuvvetlerinin hesabında IS 1893:2016' ya göre kullanılan parametreler:

- Toprak Tipi = II
- Zemin Tipi = Tip B

- Hindistan Deprem Bölgeleri “Bölge 2” = Bu bölge için deprem büyüklüğü 5 veya daha düşük seviyelere tabidir. Düşük hasar risk bölgesi olarak sınıflandırılır.

Konya ilinde günümüze kadar meydana gelen depremler göz önüne alındığı zaman Hindistan Deprem Yönetmeliğinde Bölge 2 için geçerli olan veriler dikkate alınmıştır.

- Sismik Bölge Faktörü (z) = 0,10
- Önem Faktörü (I) = 1,0
- Tepki Azaltma Faktörü (R) = 1,5

Analiz için programa tanımlanacak parametreler Çizelge (8. 11)’ de verilmiştir.

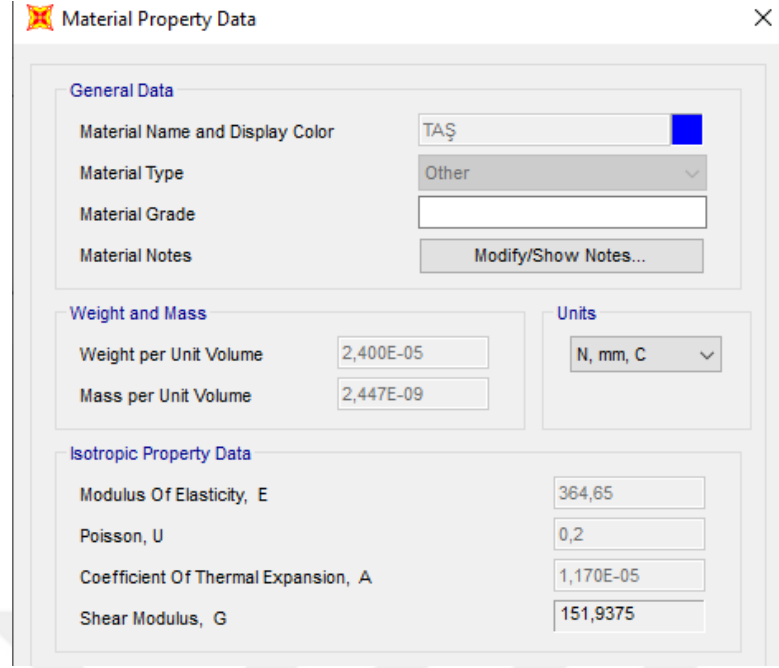
Çizelge 8. 11. IS 1893:2016’ ya analiz için programa tanımlanacak parametreler

Seismic Zone	II
Seismic Zone Factor (z)	0,1
Importance Factor (I)	1,0
Soil Type	II
Response Reduction Factor	1,5

IS 1893:2016’ ya göre taşıyıcı duvarların elastisite modülü (E_m) değeri $550f_m$ değerine eşit alınacaktır. Duvar kayma modülü (G), elastisite modülünün % 40’ ı olarak alınacaktır.

8.5.1. Sap 2000 modellerinin tanımlamaları

Yapıda kullanılan taş ve tuğla malzemelerine ait verilerin Sap2000 programındaki değerler Şekil (8.60) ve Şekil (8.61)’ de verilmiştir.



Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: TAŞ [Blue Color Box]

Material Type: Other [Dropdown]

Material Grade: [Empty Field]

Material Notes: [Empty Field] [Modify/Show Notes...]

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 2,400E-05

Mass per Unit Volume: 2,447E-09

Units

N, mm, C [Dropdown]

Isotropic Property Data

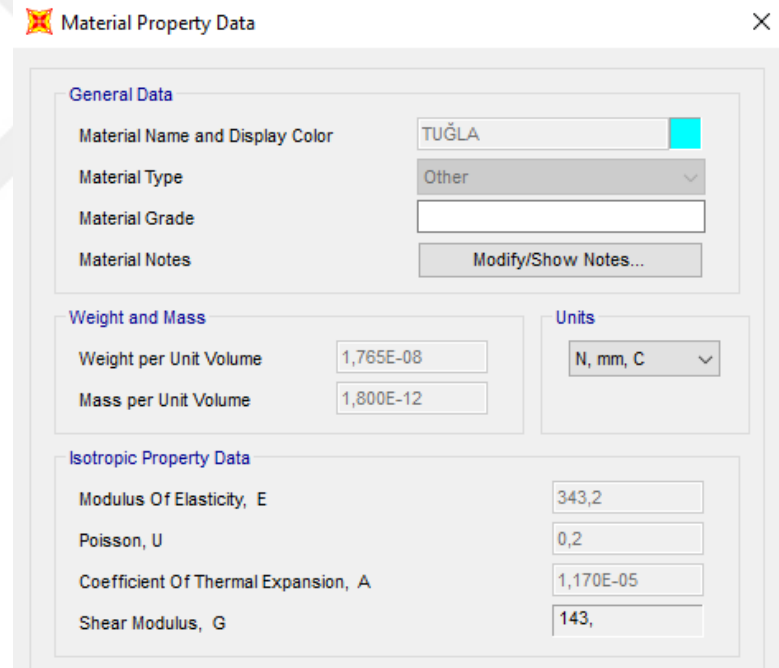
Modulus Of Elasticity, E: 364,65

Poisson, U: 0,2

Coefficient Of Thermal Expansion, A: 1,170E-05

Shear Modulus, G: 151,9375

Şekil 8. 60. Taş malzemesinin özellikleri (IS 1893:2016 için)



Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: TUĞLA [Cyan Color Box]

Material Type: Other [Dropdown]

Material Grade: [Empty Field]

Material Notes: [Empty Field] [Modify/Show Notes...]

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 1,765E-08

Mass per Unit Volume: 1,800E-12

Units

N, mm, C [Dropdown]

Isotropic Property Data

Modulus Of Elasticity, E: 343,2

Poisson, U: 0,2

Coefficient Of Thermal Expansion, A: 1,170E-05

Shear Modulus, G: 143,

Şekil 8. 61. Tuğla malzemesinin özellikleri (IS 1893:2016 için)

Yapı ile ilgili deprem parametreleri programda ilgili bölüme girilmiştir (Şekil 8.62). EX ve EY deprem yükleri tanımlanmıştır (Şekil 8.63 ve Şekil 8.64).

Response Spectrum IS 1893-2016 Function Definition

Function Name: IS 1893:2016

Function Damping Ratio: 0,05

Parameters

Seismic Zone: II

Seismic Zone Factor, Z: 0,1

Importance Factor, I: 1,

Soil Type: II

Response Reduction Factor, R: 1,5

Convert to User Defined

Define Function

Period	Acceleration
0,	0,0333
0,1	0,0833
0,55	0,0833
0,8	0,0567
1,	0,0453
1,2	0,0378
1,4	0,0324
1,6	0,0283

Add Modify Delete

Function Graph

Display Graph

OK Cancel

Şekil 8. 62. Yapı ile ilgili deprem parametreleri (IS 1893:2016 için)

Load Case Data - Response Spectrum

Load Case Name: EX Set Def Name Modify/Show...

Modal Combination

☒ CQC ☐ SRSS ☐ Absolute ☐ GMC ☐ NRC 10 Percent ☐ Double Sum

GMC f1: 1, GMC f2: 0, Periodic + Rigid Type: SRSS

Modal Load Case

Use Modes from this Modal Load Case: MODAL

☒ Standard - Acceleration Loading ☐ Advanced - Displacement Inertia Loading

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	IS 1893:2016	981,
Accel	U1	IS 1893:2016	981,

Add Modify Delete

☐ Show Advanced Load Parameters

Other Parameters

Modal Damping: Constant at 0,05 Modify/Show...

Load Case Type: Response Spectrum Design...

Directional Combination: ☒ SRSS ☐ CQC3 ☐ Absolute Scale Factor:

Mass Source: Previous (MSSSRC1)

Diaphragm Eccentricity: Eccentricity Ratio: 0, Override Eccentricities: Override...

OK Cancel

Şekil 8. 63. Yapıda tanımlı EX response spectrum (IS 1893:2016 için)

Load Case Data - Response Spectrum

Load Case Name: EY [Set Def Name] [Modify/Show...]

Load Case Type: Response Spectrum [Design...]

Modal Combination:

- ☒ CQC
- ☐ SRSS
- ☐ Absolute
- ☐ GMC
- ☐ NRC 10 Percent
- ☐ Double Sum

 GMC f1: 1, GMC f2: 0, Periodic + Rigid Type: SRSS

Modal Load Case:

- ☒ Standard - Acceleration Loading
- ☐ Advanced - Displacement Inertia Loading

 Use Modes from this Modal Load Case: MODAL

Directional Combination:

- ☒ SRSS
- ☐ CQC3
- ☐ Absolute

 Scale Factor:

Mass Source: Previous (MSSSRC1)

Diaphragm Eccentricity:

- Eccentricity Ratio: 0,
- Override Eccentricities: [Override...]

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U2	IS 1893:2016	981,
Accel	U2	IS 1893:2016	981,

[Add] [Modify] [Delete]

☐ Show Advanced Load Parameters

Other Parameters:

- Modal Damping: Constant at 0,05 [Modify/Show...]

[OK] [Cancel]

Şekil 8. 64. Yapıda tanımlı EY response spectrum (IS 1893:2016 için)

2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği ile Eurocode 8 deprem yönetmeliği çözümü için programa tanımlanan kombinasyonlar, IS 1893:2016 deprem yönetmeliği çözümü için de aynı olacak şekilde tanımlanmıştır (Şekil 8.65).

Define Load Combinations

Load Combinations:

- 1G
- G+EX
- G-EX
- G+EY
- G-EY

Click to:

- Add New Combo...
- Add Copy of Combo...
- Modify/Show Combo...
- Delete Combo
- Add Default Design Combos...
- Convert Combos to Nonlinear Cases...

[OK] [Cancel]

Şekil 8. 65. Yapıya etkiyen yük kombinasyonları (IS 1893:2016 için)

8.5.2. Taşıyıcı duvarların mekanik özellikleri

Literatürden yapılan araştırmalara göre yapıda kullanılan tuğla ve taş malzemelerinin birim basınç dayanımları diğer yönetmeliklerde olduğu gibi bu yönetmelikteki hesaplar için de sırası ile 30 MPa ve 35 MPa olarak belirlenmiştir. Yapıda kullanılan harcın basınç dayanımı (f_{mo}) 1.5 MPa olarak alınmıştır.

Harç basınç dayanımına göre (1.5 MPa) IS 1905:1987 yönetmeliğinde verilen duvar harçlarının karışım oranları ve mukavemetleri Çizelge (8.12)' den harç sınıfı M3 olmaktadır.

Çizelge 8. 12. Duvar harçlarının karışım oranları ve mukavemetleri

Sl. No.	GRADE OF MORTAR	MIX PROPORTIONS (BY LOOSE VOLUME)					MINIMUM COMPRESSIVE STRENGTH AT 28 DAYS IN N/mm ²
		Cement	Lime	Lime Pozzolana Mixture	Pozzolana	Sand	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1	H1	1	$\frac{1}{2}$ C or B	0	0	3	10
2(a)	H2	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$ C or B	0	0	4	7.5
2(b)		$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$ C or B	0	0	4 $\frac{1}{2}$	6.0
3(a)	M1	$\frac{1}{2}$	1 C or B	0	0	5	5.0
3(b)		$\frac{1}{2}$	0	0	0	6	3.0
3(c)		0	0	1 (LP-40)	0	1 $\frac{1}{2}$	3.0
4(a)	M2	$\frac{1}{2}$	0	0	0	6	3.0
4(b)		$\frac{1}{2}$	2 B	0	0	9	2.0
4(c)		0	1 A	0	0	2	2.0
4(d)		0	1 B	0	1	1	2.0
4(e)		0	1 C or B	0	2	0	2.0
4(f)		0	0	1 (LP-40)	0	1 $\frac{1}{2}$	2.0
5(a)	M3	$\frac{1}{2}$	0	0	0	7	1.5
5(b)		$\frac{1}{2}$	3 B	0	0	12	1.5
5(c)		0	1 A	0	0	3	1.5
5(d)		0	1 B	0	2	1	1.5
5(e)		0	1 C or B	0	3	0	1.5
5(f)		0	0	1 (LP-40)	0	2	1.5
6(a)	L1	$\frac{1}{2}$	0	0	0	8	0.7
6(b)		0	1 B	0	1	2	0.7
6(c)		0	1 C or B	0	2	1	0.7
6(d)		0	0	1 (LP-40)	0	2 $\frac{1}{2}$	0.7
6(e)		0	0	1 (LP-20)	0	1 $\frac{1}{2}$	0.7
7(a)	L2	0	1 B	0	0	3	0.5
7(b)		0	1 C or B	0	1	2	0.5
7(c)		0	0	1 (LP-7)	0	1 $\frac{1}{2}$	0.5

8.5.2.1. Duvar Basınç Dayanımı (f_m)

IS 1893:2016 deprem yönetmeliğine göre yığma yapılar için basınç dayanımı formülü Denklem (8.29)' da verilmiştir.

$$f_m = 0,433 f_b^{0,64} f_{mo}^{0,36} \quad (8.29)$$

f_b malzeme temel basınç dayanımı Çizelge (8.13)' ten;

Tuğla duvar için M3-30 MPa' a karşılık gelen değer 1,41 MPa' dır.

Taş duvar için M3-35 MPa' a karşılık gelen değer 1,55 MPa' dır.

Çizelge 8. 13. fb malzeme temel basınç dayanımı

		3'5	5'0	7'5	10	12'5	15	17'5	20	25	30	35	40
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
1	H1	8'35	0'50	0'75	1'00	1'16	1'31	1'45	1'59	1'91	2'21	2'5	3'05
2	H2	8'35	0'50	0'74	0'96	1'09	1'19	1'30	1'41	1'62	1'85	2'1	2'5
3	M1	8'35	0'50	0'74	0'96	1'06	1'13	1'20	1'27	1'47	1'69	1'9	2'2
4	M2	0'35	0'44	0'59	0'81	0'94	1'03	1'10	1'17	1'34	1'51	1'65	1'9
5	M3	0'25	0'41	0'56	0'75	0'87	0'95	1'02	1'10	1'25	1'41	1'55	1'78
6	L1	0'25	0'36	0'53	0'67	0'76	0'83	0'90	0'97	1'11	1'26	1'4	1'06
7	L2	0'25	0'31	0'42	0'53	0'58	0'61	0'65	0'69	0'73	0'78	0'85	0'95

Taş duvar için malzeme değerleri Denkem (8.29)' da yerine yazıldığında

$$f_m = 0,433 \times 1,55^{0,64} \times 1,5^{0,36} = 0,663 \text{ MPa bulunur.}$$

Aynı işlemler tuğla duvar için de yapılarak tuğla duvarın basınç dayanımı $f_m = 4,418$ MPa hesaplanmıştır.

Taşıyıcı duvarın elastisite modülü (E_m) Denklem (8.30)' a göre hesaplanacaktır.

$$E_m = 550f_m \quad (8.30)$$

Taş duvar için:

$$E_m = 550 \times 0,663 = 364,65 \text{ MPa}$$

$$G = 0,4 \times 364,65 = 145,86 \text{ MPa}$$

Tuğla duvar için:

$$E_m = 550 \times 0,624 = 343,2 \text{ MPa}$$

$$G = 0,4 \times 343,2 = 137,28 \text{ MPa}$$

8.5.3. IS 1905:1987' e göre nihai sınır durumları

- İzin verilen basınç dayanımı (f_c)

D1-1 Duvarı İçin Hesaplamalar

D1-1 duvarının uzunluğu 198 cm, yüksekliği 335 cm ve kalınlığı 81 cm'dir

IS 1905:1987 yönetmeliğine göre izin verilen basınç dayanımı Denklem (8.31)' de verilen bağıntıdan hesaplanacaktır.

$$f_c = f_b \times k_s \times k_a \times k_p \quad (8.31)$$

k_s gerilme azaltma faktörü, k_a alan faktörü ve k_p şekil değiştirme faktörüdür.

IS 1905:1987' e göre malzeme birim basınç dayanımı 15 MPa' a kadar olan malzemeler için k_p şekil değiştirme faktörü kullanılır. Taş malzemesinin birim basınç dayanımı 35 MPa olduğu için k_p şekil değiştirme faktörü hesaplarda kullanılmamıştır.

Duvar için narinlik oranı hesaplanırken uzunluk/kalınlık ile yükseklik/kalınlık oranlarından küçük olan alınır.

$1,98/0,81 = 2,44$ ile $3,35/0,81 = 4,135$ değerlerinden narinlik oranı 2,44 kabul edilir.

IS 1905:1987' ye göre narinlik oranı $2,44 < 6$ ve eksantriklik=0 için $k_s=1$ alınır. Duvar alanı $1,98 \times 0,81 = 1,604 \text{ m}^2 > 0,2 \text{ m}^2$ den büyük olduğu için $k_a=1$ 'dir.

İzin verilen basınç dayanımı f_c Denklem (8.31)' den:

$f_c = 1,55 \times 1 \times 1 = 1,55 \text{ MPa}$ hesaplanır.

- **İzin verilen çekme dayanımı**

IS 1905:1987 yönetmeliğinde M1 sınıfı veya daha iyi harçlar ve M2 sınıfı harçlar için izin verilen çekme gerilmesi değerleri verilmiştir. M3 sınıfı için ayrıca bir açıklama bulunmamaktadır.

- **İzin verilen kesme dayanımı (f_s)**

Yönetmeliğe göre izin verilen kesme dayanımı Denklem (8.32)' den hesaplanır.

$$f_s = 0,1 + \frac{f_d}{6} \quad (8.32)$$

f_d ölü yüklerin neden olduğu basınç gerilmesi olup Denklem (8.33)' e göre hesaplanır.

$$f_d = \frac{W}{l \times t} \quad (8.33)$$

W duvar ağırlığı, l duvar uzunluğu, t ise duvar kalınlığıdır.

Duvarın ağırlığı W, SAP2000 programından alınmıştır (W= 11157,796 N).

İlgili parametre değerleri Denklem (8.33)' te yerine yazıldığı zaman $f_d = 0,00696 \text{ MPa}$ bulunur. İzin verilen kesme dayanımı ise Denklem (8.32)' den $f_s = 0,1 \text{ MPa}$ hesaplanır.

- **Depremden Gelen Kuvveti Hesabı**

IS 1893:2016 deprem yönetmeliğine göre depremden gelen kuvvet Denklem (8.34)' e göre hesaplanır.

$$V_B = A_h \times W \quad (8.34)$$

Duvarın ağırlığı W, SAP2000 programından alınmıştır. Yatay sismik tasarım katsayısı A_h Denklem (8.35)' e göre hesaplanır.

$$A_h = \frac{\frac{z}{2} \times \frac{S_a}{g}}{\frac{R}{I}} \quad (8.35)$$

Farklı zemin tipleri için Tasarım ivme katsayısı $\frac{S_a}{g}$, yaklaşık temel doğal periyodu T_a ' ya bağlı bir katsayıdır. T_a değerini hesaplamak için kullanılacak olan formül Denklem (8.36)' da verilmiştir.

$$T_a = \frac{0,09h}{\sqrt{d}} \quad (8.36)$$

Burada h bina yüksekliği, d ise binanın zemine oturduğu taban genişliğidir. Değerler yerine yazıldığında;

$$T_a = \frac{0,09 \times 6,06}{\sqrt{15,51}} = 0,138 \text{ bulunur.}$$

IS 1893:2016 yönetmeliğine göre $T = T_a$ için $0,10 < T < 0,55$ ise $\frac{S_a}{g} = 2,5$ alınacaktır.

Yukarıda hesaplanan değerler ile Çizelge (8.11)' de verilen değerler Denklem (8.35)' te yerine yazılırsa:

$$A_h = \frac{\frac{0,1}{2} \times 2,5}{\frac{1,5}{1,0}} = 0,0833 \text{ hesaplanır.}$$

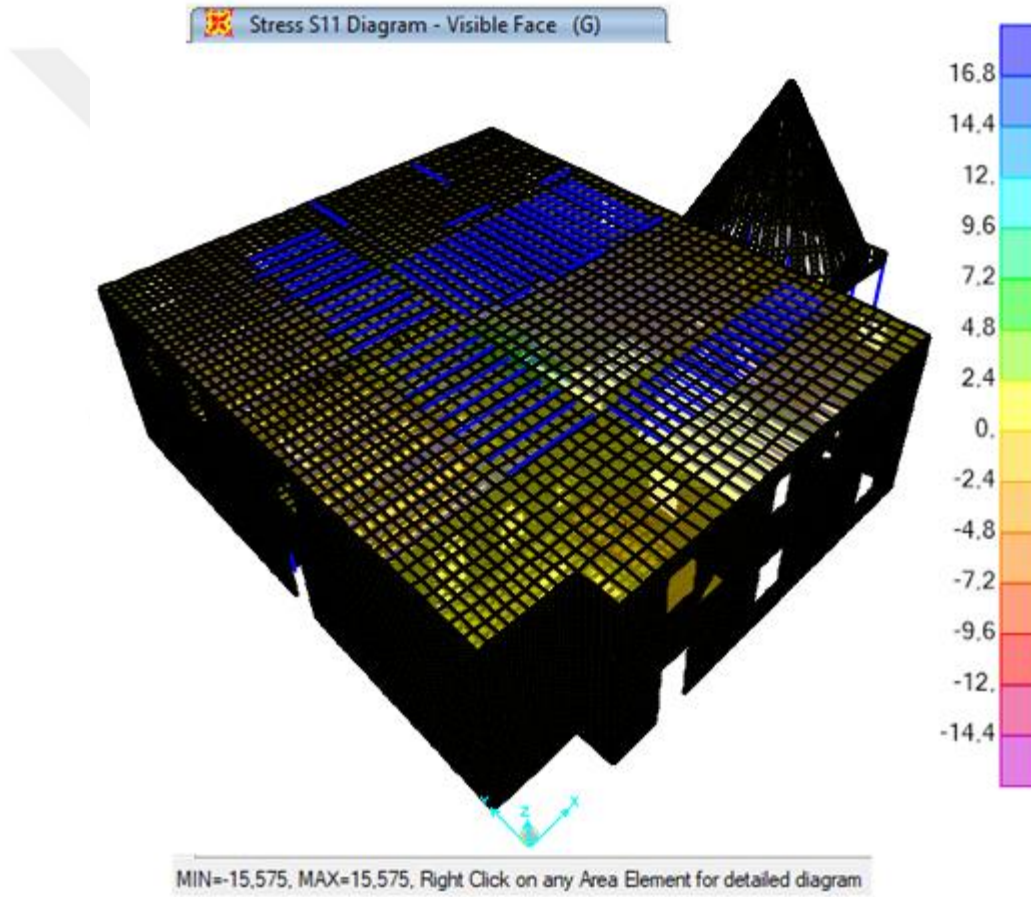
Deprem kuvveti ise:

$$V_B = 0,0833 \times 11157,796 = 929,44 \text{ N} = 94,74 \text{ kgf bulunur.}$$

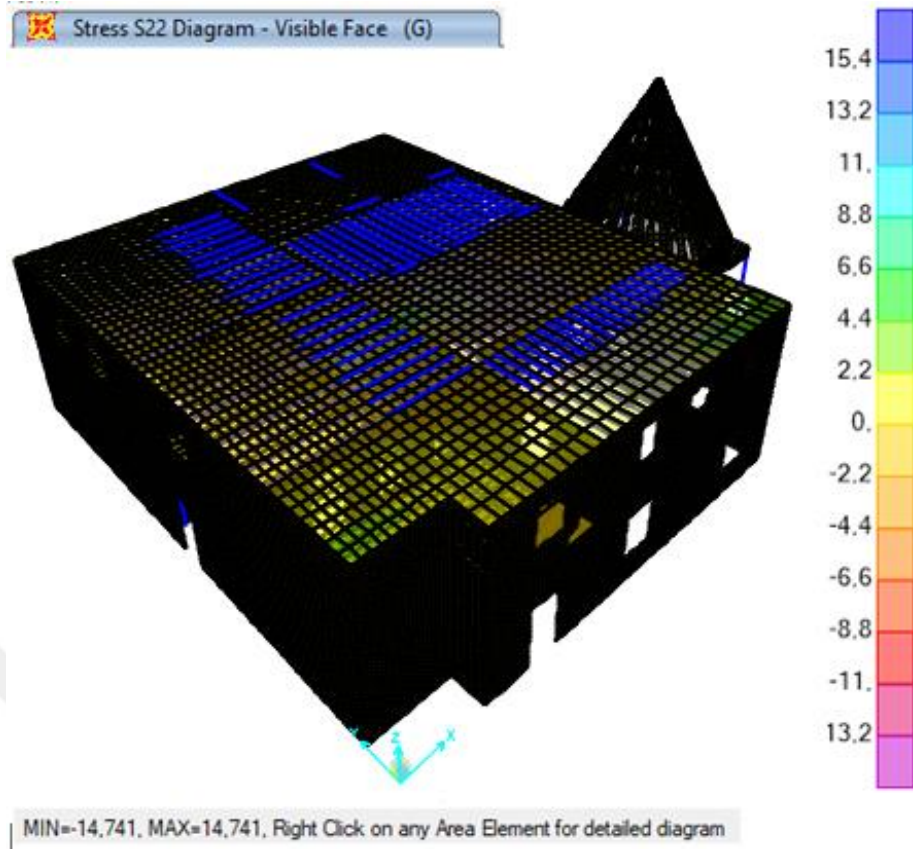
8.5.4. Ölü yükler altında yapının analizi

Her eleman kendi yerel eksenine göre (SAP 2000 programının formatına göre x yönü için S11 ve y yönü için S22 olarak tanımlanan) meydana gelen çekme veya basınç gerilmeleri ile (SAP 2000 programının formatına göre S12 olarak tanımlanan) kesme gerilmeleri yapının dayanımı hakkında en açıklayıcı sonucu vermektedir.

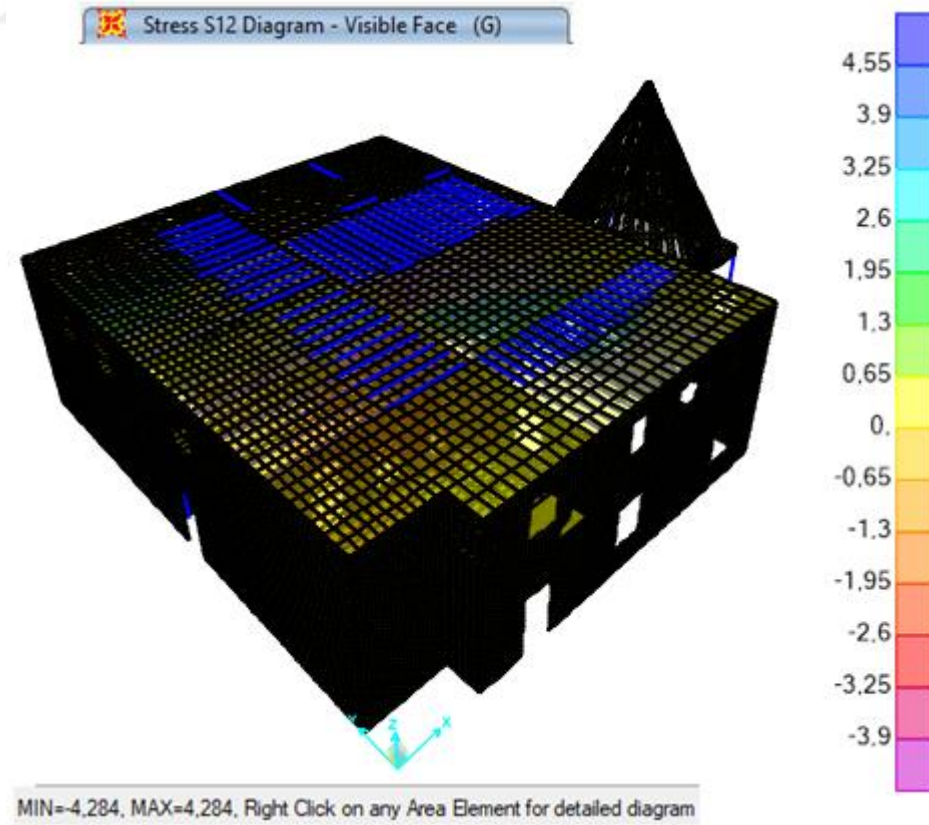
Yapının üç boyutlu sonlu eleman modelinin kendi ağırlığı altında yapılan statik analizi sonucunda yapıdaki muhtemel gerilme dağılımlarına ve şekil değiştirme değerlerine ulaşılmıştır.



Şekil 8. 66. IS 1893:2016' ya göre G yüklemesi S11 grafiği



Şekil 8. 67. IS 1893:2016' ya göre G yüklemesi S22 grafiği

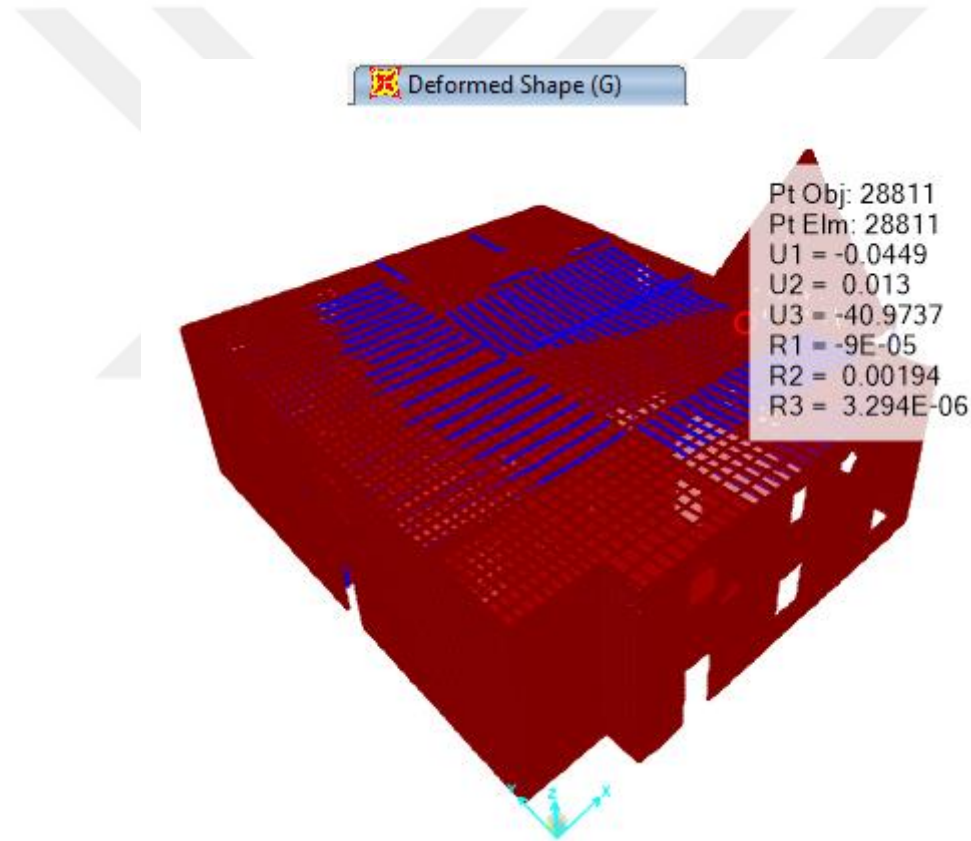


Şekil 8. 68. IS 1893:2016' ya göre G yüklemesi S12 grafiği

Yapının kendi ağırlığı altında yapılan analiz sonucunda elde edilen S11 ve S22 (çekme ve basınç) gerilme değerleri grafiği (Şekil 8.66 ve Şekil 8.67) ile S12 (kesme) kuvveti değerleri grafiği (Şekil 8.68) incelenmiştir. Minimum basınç gerilmeleri S22 grafiğinden 2,2 MPa (Şekil 8.67) olarak tespit edilmiştir. Bu değer; D1-1 duvarı için izin verilen basınç dayanımı (f_c) değeri 1,55 MPa' ın üzerinde çıkmıştır.

S12 grafiğinden belirlenen minimum kesme gerilmesi 0,65 MPa' dır (Şekil 8.68). Bu değer; D1-1 duvarında izin verilen kesme gerilmesi 0,11 MPa değerini aşmaktadır.

G yükü altında, yapıdaki en büyük yer değiştirme düşey doğrultuda yaklaşık 41 mm olmaktadır (Şekil 8.69). Bu analizde $R=1,5$ değeri kullanıldığı için elastik yer değiştirme $41 \text{ mm} \times 1,5 = 61,50 \text{ mm}$ olarak hesaplanmalıdır.



Şekil 8. 69. IS 1893:2006' ya göre G yüklemesi altında oluşan maksimum yer değiştirme (mm)

8.5.5. Modal çözümleme

IS 1893:2016 deprem yönetmeliğine göre uygulanan mod birleştirme yöntemi için hesaplanan etkin kütlelerin toplamının bina toplam kütlelerinin % 90' ından daha az olmaması gerekmektedir. Hesaba katılacak yeterli titreşim mod sayısını belirlemede bu değer göz önüne alınacaktır.

Şeyh Sadreddin Caminin sonlu eleman modelinin SAP 2000 programında modal çözümlemesi yapılmıştır. Çözümleme sonucunda 160 tane mod şekli ve serbest titreşim periyodu elde edilmiştir. Ana kütlelerin Y doğrultusunda yanal yer değiştirme hareketini gösteren 27. modun kütle katılım oranı % 25 ve X doğrultusunda yanal yer değiştirme hareketini gösteren 22. modun kütle katılım oranı ise % 32 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 8.14) .

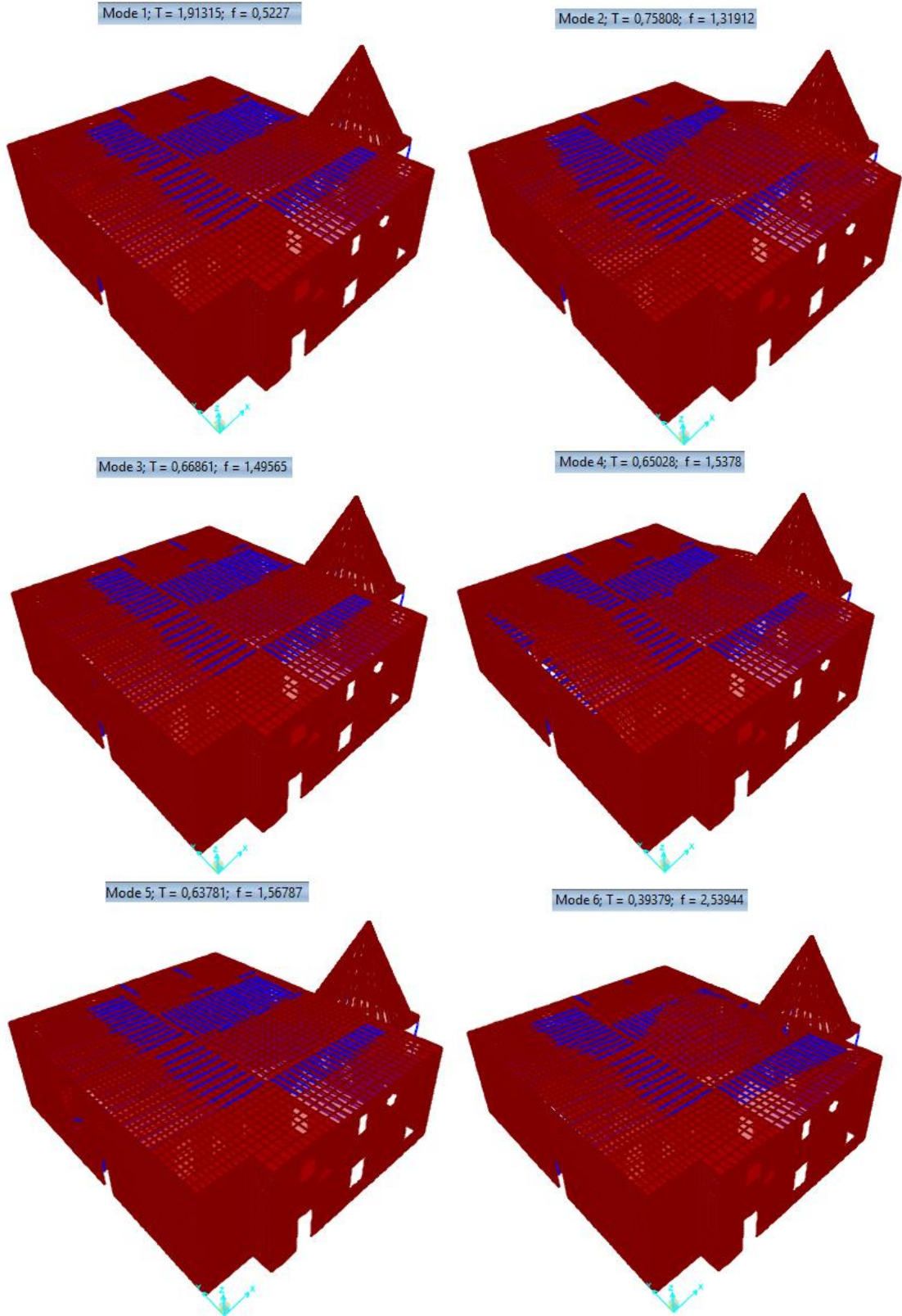
Tanımlanan 160 mod şekli sonucunda etkin kütlelerin toplamının, bina toplam kütlelerinin X yönünde % 86' sına ve Y yönünde %87' sine ulaşmıştır.

Çizelge 8. 14. IS 1893:2016' ya göre İlk 60 modun serbest titreşim periyotları ve kütle katılım oranları

TABLE: Modal Participating Mass Ratios							
OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	SumUX	SumUY
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	1,91315	1,172E-12	0,00203	1,172E-12	0,00203
MODAL	Mode	2	0,758084	9,333E-07	9,327E-08	9,333E-07	0,00203
MODAL	Mode	3	0,668606	1,341E-10	3,748E-10	9,334E-07	0,00203
MODAL	Mode	4	0,650279	0,000001086	4,934E-09	0,000002019	0,00203
MODAL	Mode	5	0,637808	0,002414	6,593E-10	0,002416	0,00203
MODAL	Mode	6	0,393787	0,00001464	0,000001521	0,002431	0,002032
MODAL	Mode	7	0,350179	3,345E-11	1,916E-17	0,002431	0,002032
MODAL	Mode	8	0,336035	0,0000275	3,707E-07	0,002458	0,002032
MODAL	Mode	9	0,310346	1,858E-10	0,00009172	0,002458	0,002124
MODAL	Mode	10	0,296468	0,000003427	0,000004274	0,002462	0,002128
MODAL	Mode	11	0,293191	0,000001451	9,178E-07	0,002463	0,002129
MODAL	Mode	12	0,265481	0,00004274	0,000002991	0,002506	0,002132
MODAL	Mode	13	0,255994	0,00001519	0,000009311	0,002521	0,002141
MODAL	Mode	14	0,243484	0,000003567	1,547E-07	0,002525	0,002142
MODAL	Mode	15	0,230487	0,0001963	2,12E-09	0,002721	0,002142
MODAL	Mode	16	0,228064	0,000004722	0,00002666	0,002726	0,002168
MODAL	Mode	17	0,214313	6,157E-07	0,000003343	0,002726	0,002172
MODAL	Mode	18	0,174768	0,0003833	0,00003632	0,00311	0,002208
MODAL	Mode	19	0,165088	0,000000742	0,0002475	0,00311	0,002455
MODAL	Mode	20	0,163054	0,00000746	0,00007947	0,003118	0,002535
MODAL	Mode	21	0,158016	0,01484	0,0002351	0,01796	0,00277
MODAL	Mode	22	0,154691	0,32	0,004453	0,33	0,007223
MODAL	Mode	23	0,153032	0,07601	0,001894	0,41	0,009118
MODAL	Mode	24	0,149901	0,2	0,005097	0,61	0,01421
MODAL	Mode	25	0,146402	0,01042	0,002963	0,62	0,01718
MODAL	Mode	26	0,142086	0,01734	0,0222	0,64	0,03938
MODAL	Mode	27	0,140663	0,01289	0,25	0,65	0,29
MODAL	Mode	28	0,140503	0,0009174	0,27	0,66	0,56
MODAL	Mode	29	0,137499	0,009759	0,1	0,67	0,66
MODAL	Mode	30	0,136426	0,0002492	0,0002221	0,67	0,66
MODAL	Mode	31	0,135693	1,269E-07	0,000113	0,67	0,66

MODAL	Mode	32	0,134273	0,0001163	0,007484	0,67	0,67
MODAL	Mode	33	0,13196	0,00001567	0,001281	0,67	0,67
MODAL	Mode	34	0,131646	0,0003415	0,004915	0,67	0,68
MODAL	Mode	35	0,126653	0,00005366	0,00005241	0,67	0,68
MODAL	Mode	36	0,122142	0,000206	0,0429	0,67	0,72
MODAL	Mode	37	0,11925	0,0007614	0,0001835	0,67	0,72
MODAL	Mode	38	0,114287	0,00005911	0,00001104	0,67	0,72
MODAL	Mode	39	0,113182	7,26E-13	7,863E-13	0,67	0,72
MODAL	Mode	40	0,112786	0,00003984	0,00001983	0,67	0,72
MODAL	Mode	41	0,110495	7,166E-07	0,00003302	0,67	0,72
MODAL	Mode	42	0,109411	0,00006406	0,0192	0,67	0,74
MODAL	Mode	43	0,108288	1,374E-08	0,0000886	0,67	0,74
MODAL	Mode	44	0,103943	3,402E-08	0,00000552	0,67	0,74
MODAL	Mode	45	0,103865	0,0003306	0,00002164	0,67	0,74
MODAL	Mode	46	0,102544	0,0000071	0,000002935	0,67	0,74
MODAL	Mode	47	0,101672	0,000001093	0,00009114	0,67	0,74
MODAL	Mode	48	0,098567	0,00001217	0,00008573	0,67	0,74
MODAL	Mode	49	0,098275	0,0009753	0,000001403	0,67	0,74
MODAL	Mode	50	0,098269	0,0001034	3,777E-07	0,67	0,74
MODAL	Mode	51	0,098039	0,00000329	2,275E-09	0,67	0,74
MODAL	Mode	52	0,096873	0,002688	0,000005	0,67	0,74
MODAL	Mode	53	0,096046	1,255E-07	9,761E-08	0,67	0,74
MODAL	Mode	54	0,095023	0,0006154	0,0000519	0,67	0,74
MODAL	Mode	55	0,093068	0,00004755	0,00003289	0,67	0,74
MODAL	Mode	56	0,088476	0,0001944	0,00002842	0,67	0,74
MODAL	Mode	57	0,087685	0,00008019	0,00000563	0,67	0,74
MODAL	Mode	58	0,087475	2,314E-11	4,37E-12	0,67	0,74
MODAL	Mode	59	0,082999	0,00002321	0,00009477	0,67	0,74
MODAL	Mode	60	0,082666	2,414E-07	0,0001276	0,67	0,74

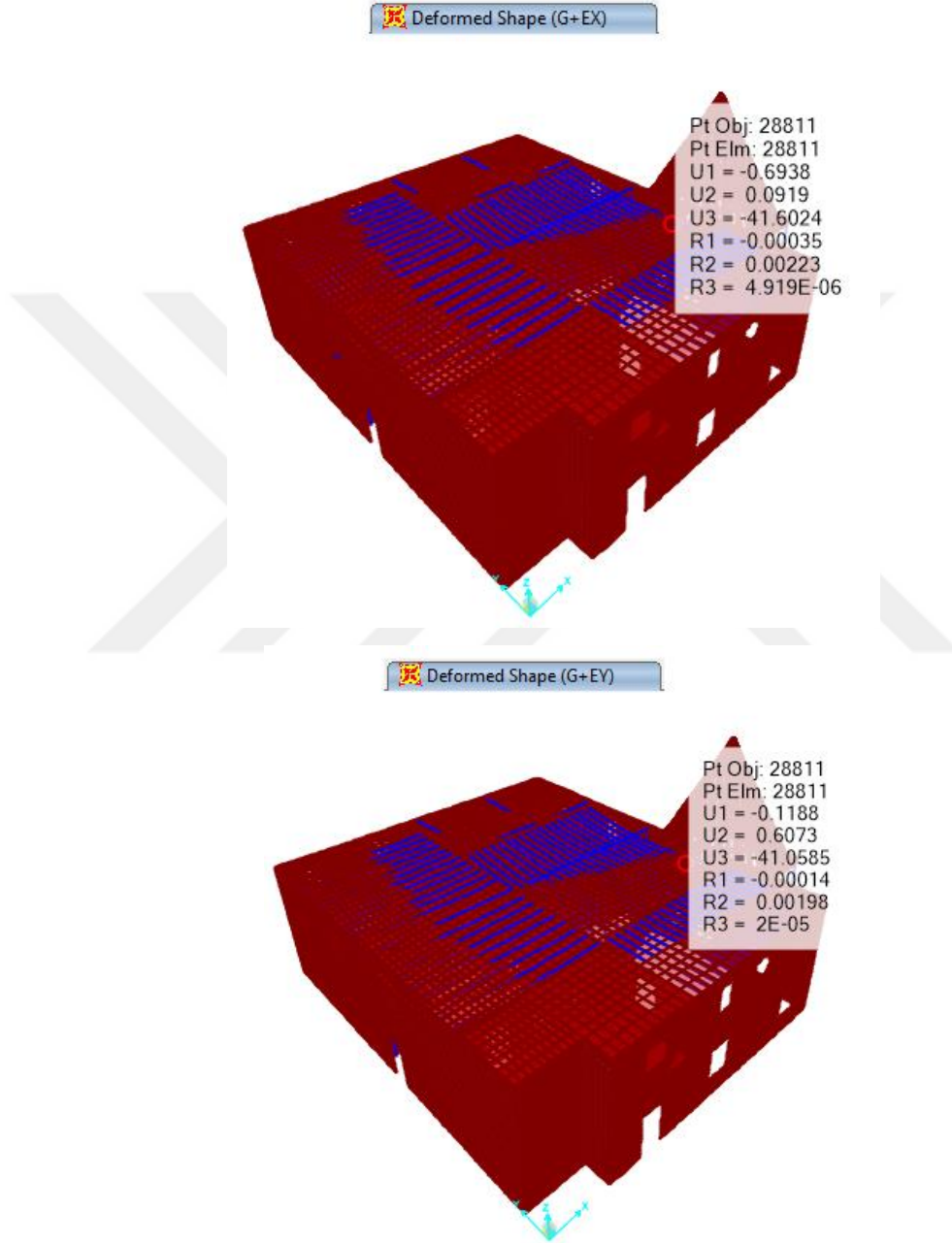
Yapının ilk 6 moduna ait deformasyon şekilleri, periyot ve frekans değerleri Şekil (8.70)' te verilmiştir.



Şekil 8. 70. IS 1893:2016' ya göre Şeyh Sadreddin Caminin ilk 6 moda ait deformasyon hareketleri

8.5.6. G+EX ve G+EY deprem yüklemeleri

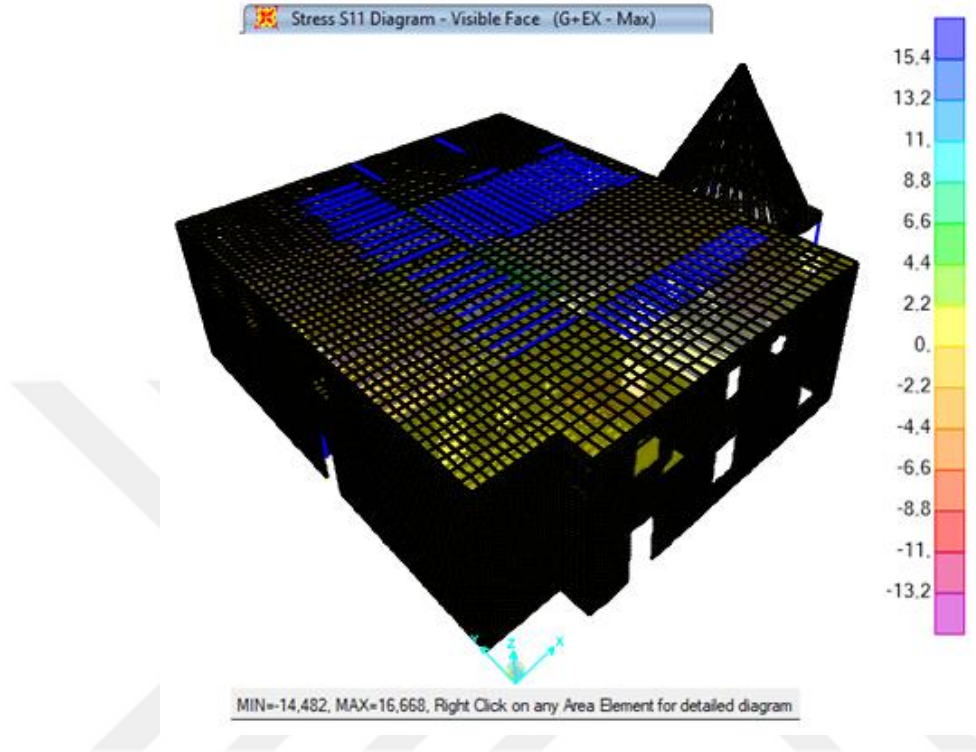
Ölü yükler ile X ve Y doğrultusunda etki eden deprem yüklerinin kombinasyonlarının modal yapısal çözümleme sonucunda yapıda oluşan şekil değiştirmeler Şekil (8.71)' de verilmiştir.



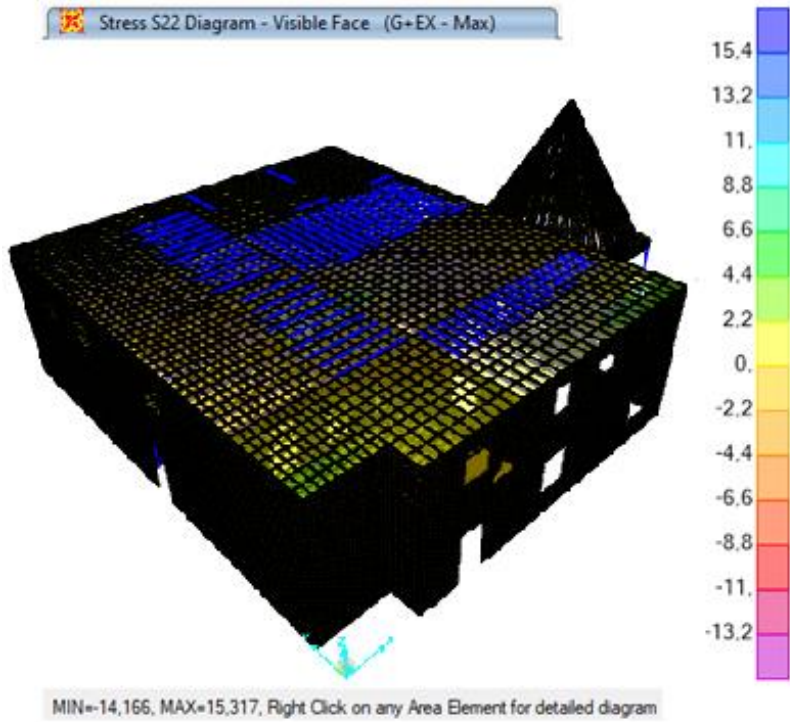
Şekil 8. 71. IS 1893:2016' ya göre Şeyh Sadreddin Konevi Caminin G+EX ve G+EY deprem yüklemeleri altındaki yer değiştirmeleri (mm)

G+EX deprem yüklemesi X yönünde 0,69 mm ve Z yönünde 41,6 mm yanıl ötelenme meydana getirmektedir. G+EY deprem yüklemesi Y yönünde 0,6 mm ve Z yönünde 41,06 mm yanıl ötelenme meydana getirmektedir.

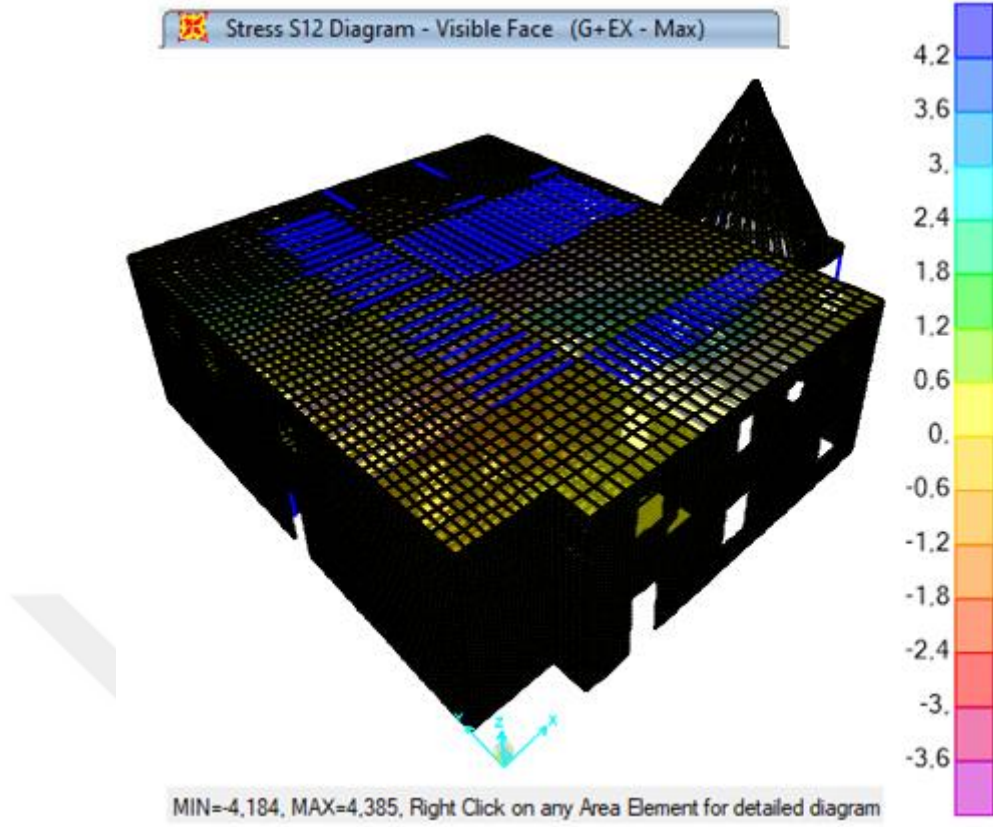
Yapının analizi incelendiğinde en çok zorlanan ve kuvvetlerin en elverişsiz olduğu bölgeler pencere-kapı boşluklarının köşe noktaları, duvarların birleşim bölgeleri olduğu görülmektedir.



Şekil 8. 72. IS 1893:2016' ya göre G+EX yüklemesi S11 gerilme dağılımı



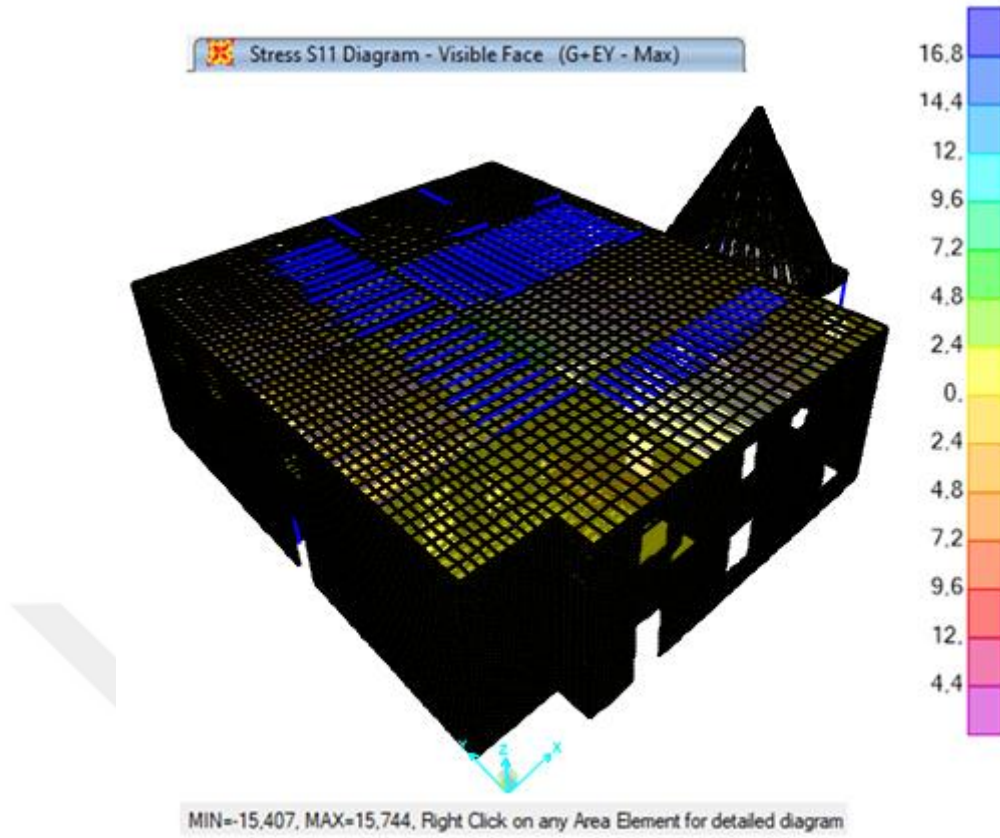
Şekil 8. 73. IS 1893:2016' ya göre G+EX yüklemesi S22 gerilme dağılımı



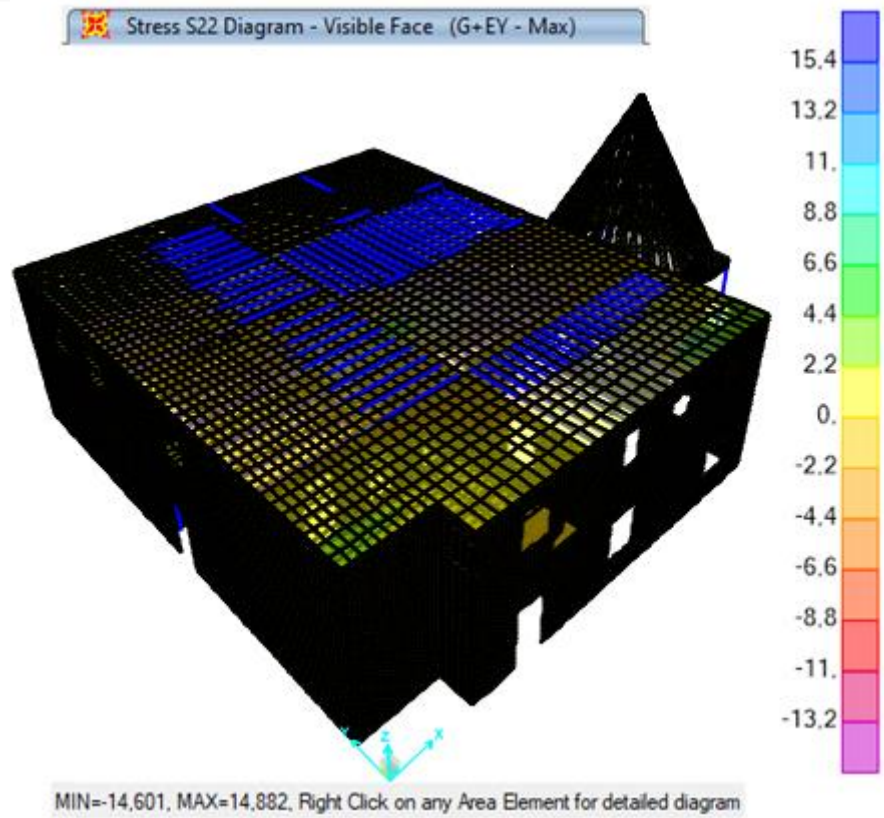
Şekil 8. 74. IS 1893:2016' ya göre G+EX yüklemesi S12 gerilme dağılımı

G+EX deprem yükleme durumunda yapıdaki S11 (Şekil 8.72) ve S22 (Şekil 8.73) kuvvetlerinde oluşan en küçük basınç kuvveti 2,2 MPa olarak hesaplanmıştır. Ele alınan D1-1 duvarı için bu değerler izin verilen basınç dayanımı değerinin üzerindedir.

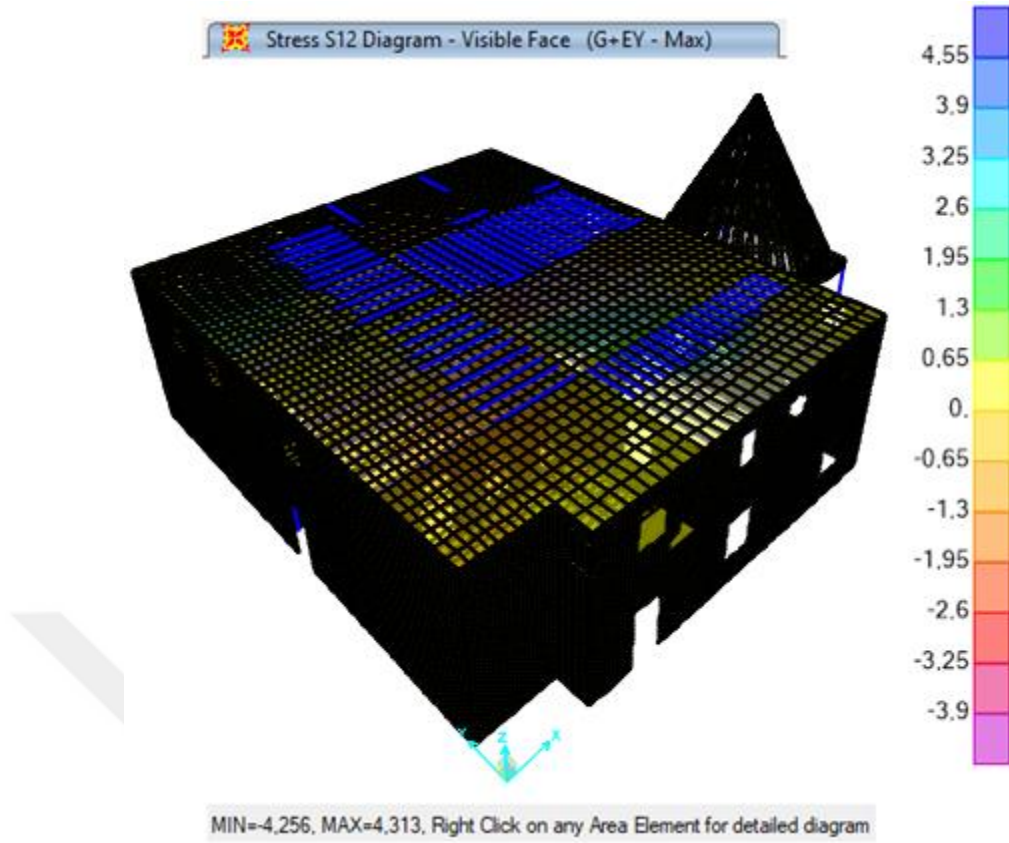
Kesme kuvveti S12 için (Şekil 8.74) hesaplanan minimum değer 0.6 MPa olarak bulunmuştur. D1-1 duvarı için bu değerler izin verilen kesme dayanımı değerinin üzerindedir.



Şekil 8. 75. IS 1893:2016' ya göre G+EY yüklemesi S11 gerilme dağılımı



Şekil 8. 76. IS 1893:2016' ya göre G+EY yüklemesi S22 gerilme dağılımı



Şekil 8. 77. IS 1893:2016' ya göre G+EY yüklemesi S12 gerilme dağılımı

G+EY deprem yükleme durumunda yapıdaki S11 (Şekil 8.75) ve S22 (Şekil 8.76) kuvvetlerinde oluşan en küçük basınç kuvveti 2,2 MPa olarak hesaplanmıştır. Ele alınan D1-1 duvarı için bu değerler izin verilen basınç dayanımı değerinin üzerindedir.

Kesme kuvveti S12 için (Şekil 8.77) hesaplanan max değer 0,65 MPa olarak bulunmuştur. D1-1 duvarı için bu değerler izin verilen kesme dayanımı değerinin üzerindedir.

9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

9.1. Sonuçlar

Bu çalışmada Konya ilinde $x=37,869184$ ve $y=32,482583$ koordinatlarında bulunan tarihi cami olarak kullanılan yığma bir yapının TBDY 2018, Eurocode 8 ve IS 1893:2016 deprem yönetmeliklerine göre analizleri yapılmıştır. Yığma binaların genel kuralları ve hesap kriterleri için Eurocode 6 ile IS 1905:1987 yönetmelikleri de kullanılmıştır.

- **İncelenen Duvarların Nihai Sınır Durumlarının Karşılaştırılması**

TBDY 2018' e göre yapılan hesaplamalar sonucunda Şeyh Sadreddin Konevi Caminin ele alınan D1-1 duvarının düşey yük tasarım dayanımı (N_{Rd}) ve duvar tasarım kesme kuvveti dayanımı (V_{Rd}) değerleri elde edilmiştir. Yapı, TBDY 2018' de verilen yığma duvara düşey doğrultuda etkiyen tasarım kuvvetinin (N_{Ed}) duvar düşey yük tasarım dayanımından (N_{RD}) daha büyük olmaması gerektiği şartını sağlamaktadır. Fakat yığma duvarlarda taşıyıcı yığma duvar tasarım kesme kuvveti dayanımının (V_{Rd}) duvara etkiyen tasarım kesme kuvvetinden (V_{Ed}) daha büyük olması gerektiği şartını sağlamamaktadır.

Sap2000 programı kullanılarak yapı üç boyutlu olarak modellenmiştir. Yapının sonlu elemanlar modelinde tanımlanan kombinasyonların basınç ve çekme değerleri, TBDY 2018' den elde edilen dayanımları aşmamaktadır. Programdan okunan kesme değerleri ise incelenen duvarda düzlem içi devrilme meydana geldiği için ($V_{Rd} = 0$) kesme kuvveti dayanımını aşmaktadır.

İncelenen duvarların, duvar basınç bölgesine göre hesaplamalarında düzlem içi durumları, tasarım kesme kuvveti dayanımları (V_{RD}), tasarım kesme kuvvetleri (V_{Ed}) ve TBDY 2018' de verilen şartı sağlayıp sağlamadıkları Çizelge (9.1)' de verilmiştir. 16 adet duvar için yapılan hesaplamalar sonucunda sadece iki tanesinin (D1-5 ve D2-6) sınır şartını sağladığı görülmüştür.

Çizelge (9.2)' de hesaplamaları yapılan duvarların düşey yük tasarım dayanımı (N_{Rd}), düşey doğrultuda etkiyen tasarım kuvvetleri (N_{Ed}) ve TBDY 2018' de verilen şartı sağlayıp sağlamadıkları verilmiştir. İncelenen 16 adet duvar için yapılan hesaplamalar sonucunda duvarlarda sınır şartının sağlandığı görülmüştür.

Çizelge 9. 1. TBDY 2018' e göre duvarların düzlem içi durumları ve tasarım kesme kuvveti dayanımları

İNCELENEN DUVARLAR (TBDY 2018)											
DUVAR	UZUNLUK (m)	KALINLIK (m)	YÜKSEKLİK (m)	MED (kgf/m)	VED (kgf)	e	lc	DURUM	VRD (kgf)	VED (kgf)	DURUM
D1-1	1,98	0,81	3,35	397,0131	237,023	1,675	0	Düzlem içi devrilme	0	237,023	Sağlamıyor
D1-2	2,726	0,81	3,35	652,195	389,37	1,675	0	Düzlem içi devrilme	0	389,37	Sağlamıyor
D1-3	2,656	1,26	3,35	1013,25	604,9256	1,675	0	Düzlem içi devrilme	0	604,9256	Sağlamıyor
D1-4	2,523	1,26	3,35	1000,1575	597,109	1,675	0	Düzlem içi devrilme	0	597,109	Sağlamıyor
D1-5	8,87	0,66	3,35	1911,2421	1141,04	1,675	8,28		37323,3	1141,04	Sağlıyor
D1-6	2,002	0,68	3,35	454,356	271,257	1,675	0	Düzlem içi devrilme	0	271,257	Sağlamıyor
D1-7	2,891	0,86	3,35	759,634	453,51	1,675	0	Düzlem içi devrilme	0	453,51	Sağlamıyor
D1-8	1,703	0,21	3,35	119,62	71,415	1,675	0	Düzlem içi devrilme	0	71,415	Sağlamıyor
D2-1	1,626	0,81	2,71	242,161	178,72	1,355	0	Düzlem içi devrilme	0	178,72	Sağlamıyor
D2-2	1,005	0,24	2,71	52,635	38,845	1,355	0	Düzlem içi devrilme	0	38,845	Sağlamıyor
D2-3	2,126	0,58	2,71	236,063	174,216	1,355	0	Düzlem içi devrilme	0	174,216	Sağlamıyor
D2-4	2,523	1,21	2,71	605,07	446,546	1,355	0	Düzlem içi devrilme	0		Sağlamıyor
D2-5	1,598	0,74	2,71	292,294	215,715	1,355	0	Düzlem içi devrilme	0	215,715	Sağlamıyor
D2-6	3,468	0,87	2,71	574,378	423,896	1,355	1,137		61329,78	423,896	Sağlıyor
D2-7	1,387	0,87	2,71	228,892	168,924	1,355	0	Düzlem içi devrilme	0	168,924	Sağlamıyor
D2-8	1,834	0,21	2,71	77,75	57,38	1,355	0	Düzlem içi devrilme	0	57,38	Sağlamıyor

Çizelge 9. 2. TBDY 2018' e göre duvarların düşey yük tasarım dayanımları

İNCELENEN DUVARLAR (TBDY 2018)			
DUVAR	NRD (N)	NED (N)	DURUM
D1-1	5614000	102713,31	Sağlıyor
D1-2	7735000	168732,78	Sağlıyor
D1-3	11712960	262232,8	Sağlıyor
D1-4	11126430	258844,3	Sağlıyor
D1-5	14342790	494636,23	Sağlıyor
D1-6	4764760	117588,97	Sağlıyor
D1-7	8701910	196595,92	Sağlıyor
D1-8	876193,5	30958,191	Sağlıyor
D2-1	4609710	77472,947	Sağlıyor
D2-2	590940	16839,39	Sağlıyor
D2-3	3021046	75522,24	Sağlıyor
D2-4	10684905	193576,028	Sağlıyor
D2-5	4138820	93511,656	Sağlıyor
D2-6	10560060	183757,06	Sağlıyor
D2-7	4223415	73227,973	Sağlıyor
D2-8	943593	24874,145	Sağlıyor

EN 1996' ya göre yapılan hesaplamalar sonucunda Şeyh Sadreddin Konevi Caminin ele alınan D1-1 duvarının düşey yük tasarım dayanımı (N_{Rd}) ve duvar tasarım kesme kuvveti dayanımı (V_{Rd}) değerleri elde edilmiştir. Yapı, EN 1996' da verilen yığma duvara düşey doğrultuda etkiyen tasarım kuvvetinin (N_{Ed}) duvar düşey yük tasarım dayanımından (N_{RD}) daha büyük olmaması gerektiği şartını sağlamaktadır. Fakat yığma duvarlarda taşıyıcı yığma duvar tasarım kesme kuvveti dayanımının (V_{Rd}) duvara etkiyen tasarım kesme kuvvetinden (V_{Ed}) daha büyük olması gerektiği şartını sağlamamaktadır.

Yapının sonlu elemanlar modelinde tanımlanan kombinasyonların basınç ve çekme değerleri EN 1998 deprem yönetmeliğinden elde edilen dayanımları aşmamaktadır. Programdan okunan kesme değerleri ise incelenen duvarda düzlem içi devrilme meydana geldiği için ($V_{Rd} = 0$) kesme kuvveti dayanımını aşmaktadır.

İncelenen duvarların duvar basınç bölgesine göre hesaplamalarında düzlem içi durumları, tasarım kesme kuvveti dayanımları (V_{RD}), tasarım kesme kuvvetleri (V_{Ed}) ve EN 1998 – EN 1996 yönetmeliklerinde verilen şartı sağlayıp sağlamadıkları Çizelge (9.3)' te verilmiştir. 16 adet duvar için yapılan hesaplamalar sonucunda sadece iki tanesinin (D1-5 ve D2-6) sınır şartını sağladığı görülmüştür.

Çizelge (9.4)' te hesaplamaları yapılan duvarların düşey yük tasarım dayanımı (N_{Rd}), düşey doğrultuda etkiyen tasarım kuvvetleri (N_{Ed}) ve EN 1996 yönetmeliğindeki sınır şartını sağlayıp sağlamadıkları verilmiştir. İncelenen 16 adet duvar için yapılan hesaplamalar sonucunda duvarlarda sınır şartının sağlandığı görülmüştür.

Çizelge 9. 3. EN 1998 - EN 1996' ya göre duvarların düzlem içi durumları ve tasarım kesme kuvveti dayanımları

İNCELENEN DUVARLAR (EN 1998 - EN 1996)											
DUVAR	UZUNLUK (m)	KALINLIK (m)	YÜKSEKLİK (m)	MED (kgfm)	VED (kgf)	e	lc	DURUM	VRD (kgf)	VED (kgf)	DURUM
D1-1	1,98	0,81	3,35	607,25	362,54	1,675	0	Düzlem içi devrilme	0	362,54	Sağlamıyor
D1-2	2,726	0,81	3,35	975,94	582,65	1,675	0	Düzlem içi devrilme	0	582,65	Sağlamıyor
D1-3	2,656	1,26	3,35	1517,19	905,78	1,675	0	Düzlem içi devrilme	0	905,78	Sağlamıyor
D1-4	2,523	1,26	3,35	1531,51	914,33	1,675	0	Düzlem içi devrilme	0	914,33	Sağlamıyor
D1-5	8,87	0,66	3,35	2744,182	1638,32	1,675	8,28		37266,76	1638,32	Sağlıyor
D1-6	2,002	0,68	3,35	598,44	357,28	1,675	0	Düzlem içi devrilme	0	357,28	Sağlamıyor
D1-7	2,891	0,86	3,35	1112,37	664,096	1,675	0	Düzlem içi devrilme	0	664,096	Sağlamıyor
D1-8	1,703	0,21	3,35	213,21	127,289	1,675	0	Düzlem içi devrilme	0	127,289	Sağlamıyor
D2-1	1,626	0,81	2,71	347,7	256,6	1,355	0	Düzlem içi devrilme	0	256,6	Sağlamıyor
D2-2	1,005	0,24	2,71	62,484	46,11	1,355	0	Düzlem içi devrilme	0	46,11	Sağlamıyor
D2-3	2,126	0,58	2,71	339,46	250,524	1,355	0	Düzlem içi devrilme	0	250,524	Sağlamıyor
D2-4	2,523	1,21	2,71	904,913	667,83	1,355	0	Düzlem içi devrilme	0	667,83	Sağlamıyor
D2-5	1,598	0,74	2,71	396,105	292,33	1,355	0	Düzlem içi devrilme	0	292,33	Sağlamıyor
D2-6	3,468	0,87	2,71	824,7	608,634	1,355	1,137		61527,618	608,634	Sağlıyor
D2-7	1,387	0,87	2,71	309,262	228,238	1,355	0	Düzlem içi devrilme	0	228,238	Sağlamıyor
D2-8	1,834	0,21	2,71	147,6	108,93	1,355	0	Düzlem içi devrilme	0	108,93	Sağlamıyor

Çizelge 9. 4. EN 1996' ya göre duvarların düşey yük tasarım dayanımları

İNCELENEN DUVARLAR (EN 1996)			
DUVAR	NRD (N)	NED (N)	DURUM
D1-1	4099208,553	109420,6	Sağlıyor
D1-2	5723989	175911,892	Sağlıyor
D1-3	8594591,7	273472,2	Sağlıyor
D1-4	8260500	276053,25	Sağlıyor
D1-5	7221142,7	494636,23	Sağlıyor
D1-6	3452657,7	107869,12	Sağlıyor
D1-7	6445225	200502,14	Sağlıyor
D1-8	752317,88	38430,924	Sağlıyor
D2-1	3422325	77472,95	Sağlıyor
D2-2	624005,9	13922,476	Sağlıyor
D2-3	3194343	75637,725	Sağlıyor
D2-4	7931833	201630,03	Sağlıyor
D2-5	3072098	88259,09	Sağlıyor
D2-6	7809841	183757,06	Sağlıyor
D2-7	3137045	68908,897	Sağlıyor
D2-8	779531,82	32887,725	Sağlıyor

IS 1905:1987' ye göre yapılan hesaplamalar sonucunda Şeyh Sadreddin Konevi Caminin ele alınan D1-1 duvarı için IS 1905:1987' de yer alan izin verilen basınç gerilmesi dayanımı (f_c) ile izin verilen kesme gerilmesi dayanımı (f_s) değerleri elde edilmiştir. SAP2000 programından alınan S11, S22 ve S12 grafik değerleri ile yönetmeliğe göre hesaplanan gerilme değerleri karşılaştırılmıştır. İzin verilen basınç ile kesme gerilmeleri değerleri çok küçüktür. D1-1 duvarı için izin verilen gerilme şartları aşılmaktadır.

İncelenen duvarların izin verilen basınç gerilmesi ile izin verilen kesme gerilmesi dayanımları Çizelge (9.5)' te verilmiştir. SAP2000 programından alınan S11, S22 ve S12 grafiklerinden okunan değerler Çizelge (9.5)' te verilen değerlerin çok üzerinde olup incelenen duvarların gerilme değerlerini aşmaktadır.

Çizelge 9. 5. IS 1905:1987 yönetmeliğine göre izin verilen basınç ve kesme gerilmesi dayanımları

İNCELENEN DUVARLAR (IS 1905:1987)		
DUVAR	f_c (MPa)	f_s (MPa)
D1-1	1,55	0,11
D1-2	1,55	0,113
D1-3	1,55	0,114
D1-4	1,55	0,114
D1-5	1,55	0,114
D1-6	1,55	0,113
D1-7	1,55	0,113
D1-8	1,47	0,114
D2-1	1,55	0,11
D2-2	1,55	0,11
D2-3	1,55	0,11
D2-4	1,55	0,111
D2-5	1,55	0,113
D2-6	1,55	0,11
D2-7	1,55	0,11
D2-8	1,47	0,111

Şeyh Sadreddin Konevi Caminin TBDY 2018 ve Eurocode 8 yönetmeliği gereğince yapılan analizlerinden elde edilen verilere göre incelenen duvarların düşey yük tasarım dayanımları TBDY 2018 ve Avrupa yönetmeliğinde yığma yapılar için kullanılan Eurocode 6 yönetmeliğine göre aşılmamakta verilen sınır şartı sağlanmaktadır. Fakat her iki yönetmelik içinde iki duvar hariç (D1-5 ve D2-6) incelenen diğer duvarlarda tasarım kesme kuvveti dayanımları aşılmakta, verilen sınır şartı sağlanmamaktadır.

IS 1905:1987 yönetmeliğine göre yapılan hesap yöntemi ise TBDY 2018 ile EN 1996 yönetmeliklerindeki hesap yöntemlerinden farklıdır. IS 1905:1987 yönetmeliğinde kuvvet dayanımları yerine gerilme dayanımları göz önüne alınmıştır. Bundan dolayı üç yönetmeliğin kıyaslanabilmesi için verilen basınç gerilmesi ile izin verilen kesme gerilmesi dayanımları incelenen duvarların alanları ile çarpılarak kuvvet değerleri elde edilmiştir. TBDY 2018, EN 1996 ve IS 1905:1987 yönetmeliklerine göre hesaplanan basınç ile kesme kuvvetlerinin değerleri Çizelge (9.6) ile Çizelge (9.7)' de verilmiştir.

Çizelge 9. 6. Yönetmeliklere göre hesaplanan basınç kuvveti dayanımları

İNCELENEN DUVARLAR	BASINÇ KUVVETİ DAYANIMLARI (N)		
	YÖNETMELİKLER		
	TBDY 2018	EN 1996	IS 1905:1987
D1-1	55073340	40213235,9	2485890
D1-2	75880350	56152332,09	3422493
D1-3	114904137,6	84312944,58	5187168
D1-4	109150278,3	81035505	4927419
D1-5	201003957	70839409,89	9074010
D1-6	46742295,6	33870572,04	2110108
D1-7	85365737,1	63227657,25	3853703
D1-8	8595458,235	7380238,403	526610,175
D2-1	45221255,1	33573008,25	2041443
D2-2	5797121,4	6121497,879	373860
D2-3	29636461,26	31336504,83	1911274
D2-4	104818918,1	77811281,73	4731886,5
D2-5	40601824,2	30137281,38	1832906
D2-6	103594188,6	76614540,21	4676598
D2-7	41431701,15	30774411,45	1870369,5
D2-8	9256647,33	7647207,154	567118,65

Çizelge 9. 7. Yönetmeliklere göre hesaplanan kesme kuvveti dayanımları

İNCELENEN DUVARLAR	KESME KUVVETİ DAYANIMLARI (N)		
	YÖNETMELİKLER		
	TBDY 2018	EN 1996	IS 1905:1987
D1-1	0	0	177331,68
D1-2	0	0	248738,34
D1-3	0	0	380252,88
D1-4	0	0	362216,31
D1-5	366141,573	365586,9156	667886,13
D1-6	0	0	153960,77
D1-7	0	0	282129,9393
D1-8	0	0	40940,17518
D2-1	0	0	145341,9
D2-2	0	0	26370,1851
D2-3	0	0	136307,885
D2-4	0	0	338712,21
D2-5	0	0	133974,16
D2-6	601645,1418	603585,9326	334836,195
D2-7	0	0	132735,3
D2-8	0	0	42908,24235

Yönetmeliklere göre hesaplanan basınç kuvveti dayanımları (Çizelge 9.6) incelendiğinde TBDY 2018 ile EN 1996 yönetmelikleri arasında çok fark olmadığı ancak IS 1905:1987 yönetmeliğinden elde edilen değerlerin diğer iki yönetmeliğe göre çok küçük olduğu görülmüştür.

Kesme kuvveti dayanımları Çizelge (9.7) incelendiğinde ise TBDY 2018 ile EN 1996 yönetmeliklerinde düzlem içi devrilme meydana geldiği için kesme kuvveti dayanımları sıfırdır (D1-5 duvarı ile D2-6 duvarı hariç). IS 1905:1987 düzlem içi devrilme kontrolü yapılmadığı için Çizelge (9.7)' de verilen değerler elde edilmiştir.

Yapılan hesaplamalar sonucunda TBDY 2018'in deprem etkisi altında yığma bina taşıyıcı sistemlerinin tasarımı için getirilen hesap yöntemleri ile EN 1996 donatılı ve donatısız yığma yapılar için genel kurallarda uygulanan hesap yöntemleri benzerlik göstermektedir. Örneğin TBDY 2018 yönetmeliğinde duvarın basınca çalışan kısmının boyunu hesaplamak için bir açıklama mevcut değildir. Bu yüzden Avrupa yönetmeliğinden faydalanılmıştır. Fakat EN 1996 yönetmeliğinde daha kapsamlı hesaplamalar uygulandığı görülmüştür. Yönetmelik EN 1996-3 kısmında hesapta kullanılacak formüller, verilen şartlara uygun olması durumunda basitleştirilmiş şekilde düzenlenmiştir. IS 1905:198 yönetmeliğinde ise tamamen farklı hesap yöntemi (gerilme analizi) kullanılmaktadır.

Yapı incelendiğinde ise pencere ve kapı boşluklarında büyük ve riskli çatlaklara rastlanmamıştır. Bu durum, yapının hala stabilitesini koruduğu yönünde yorumlanabilir.

- **Mod Birleştirme Yönteminin Karşılaştırılması**

Depreme dayanıklı yapı tasarımı çerçevesinde TBDY 2018'e göre uygulanan mod birleştirme yöntemi için hesaplanan etkin kütlelerin toplamının bina toplam kütlelerinin % 95' inden daha az olmaması gerekmektedir. EN 1998 ile IS 1893:2016 deprem yönetmeliklerinde ise bu değer % 90 olarak verilmiştir.

Çizelge (9.8) ile Çizelge (9.9)' da yapının TBDY 2018, EN 1998 ve IS 1893:2016 yönetmeliklerine göre kütle katılım oranları ile etkin kütlelerin toplamının bina toplam kütlelerine oranı verilmiştir. Yapıda 160 mod tanımlanmasına rağmen deprem yönetmeliklerinde etkin kütlelerin toplamının bina toplam kütlelerine oranları için verilen değerlere ulaşamadığı görülmüştür (Çizelge 9.9). Fakat IS 1893:2016 deprem yönetmeliğine göre yapılan hesaplamalardan en yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 9. 8. TBDY 2018, EN 1998 ve IS 1893:2016 için kütle katılım oranları

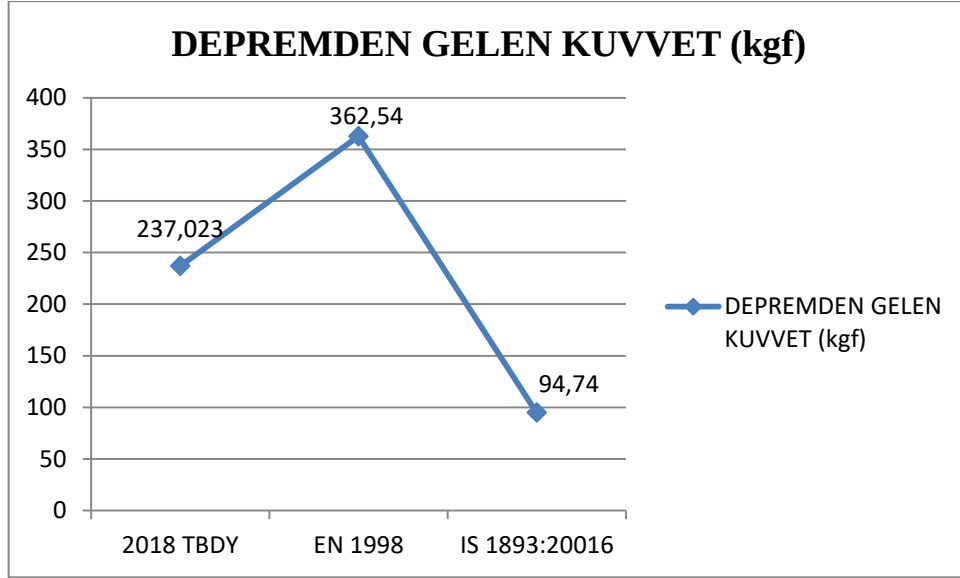
	KÜTLE KATILIM ORANLARI	
	X YÖNÜ	Y YÖNÜ
TBDY 2018	0,66 (MODE 71)	0,55 (MODE 84)
EN 1998	0,63 (MODE 76)	0,64 (MODE 93)
IS 1893:2016	0,32 (MODE 22)	0,25 (MODE 27)

Çizelge 9. 9. TBDY 2018, EN 1998 ve IS 1893:2016 yönetmeliklerine göre kütle katılım oranları ile etkin kütlelerin toplamının bina toplam kütlelerine oranı (%)

	ETKİN KÜTLELERİN TOPLAMININ BİNA TOPLAM KÜTLESİNE ORANI (%)	
	X YÖNÜ	Y YÖNÜ
TBDY 2018	% 74	% 77
EN 1998	% 74	% 78
IS 1893:2016	% 86	% 87

- Deprem Kuvvetlerinin Karşılaştırılması**

D1-1 duvarına etkiyen tasarım kesme kuvvetleri depremde gelen kuvvet göz önünde bulundurularak hesaplanmıştır. TBDY 2018' e göre deprem kuvveti 237,023 kgf olarak EN 1998 yönetmeliğine göre ise 362,54 kgf olarak hesaplanmıştır. IS 1893:2016 yönetmeliği ile de kıyaslamaların yapılabilmesi için; bu yönetmelik için de ayrıca deprem kuvveti hesabı yapılmıştır. IS 1893:2016 yönetmeliğine göre deprem kuvveti 94,74 kgf olarak hesaplanmıştır. Avrupa yönetmeliği ile Hindistan yönetmeliğinde yığma yapılar için davranış faktörleri 1,5 alınırken Türkiye yönetmeliğinde taşıyıcı sistem davranış katsayı 2,5 alınmaktadır. EN 1998 yönetmeliğinde bu değer TBDY 2018' e göre daha küçük olduğu için deprem kuvvetlerinde daha büyük sonuçlar elde edilmiştir (Şekil 9.1). Ancak Avrupa yönetmeliği ile Hindistan yönetmeliğinde davranış faktörlerinin değerleri aynı olmasına rağmen Hindistan yönetmeliğinde yatay sismik tasarım katsayısı A_h , çok küçük değer almaktadır. Bundan dolayı deprem kuvveti değeri de çok küçük bir değer bulunmuştur.



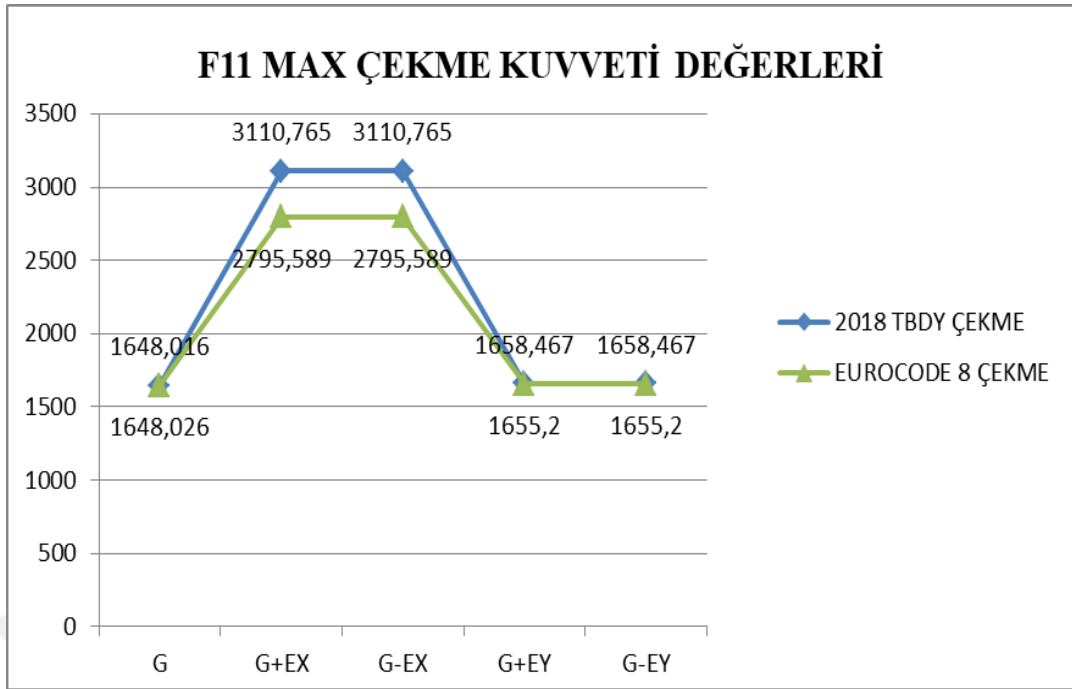
Şekil 9. 1. Yönetmeliklere göre depremden gelen kuvvet değerleri (kgf)

• SAP2000 Programında Tanımlanan Kombinasyonların Grafik Karşılaştırması

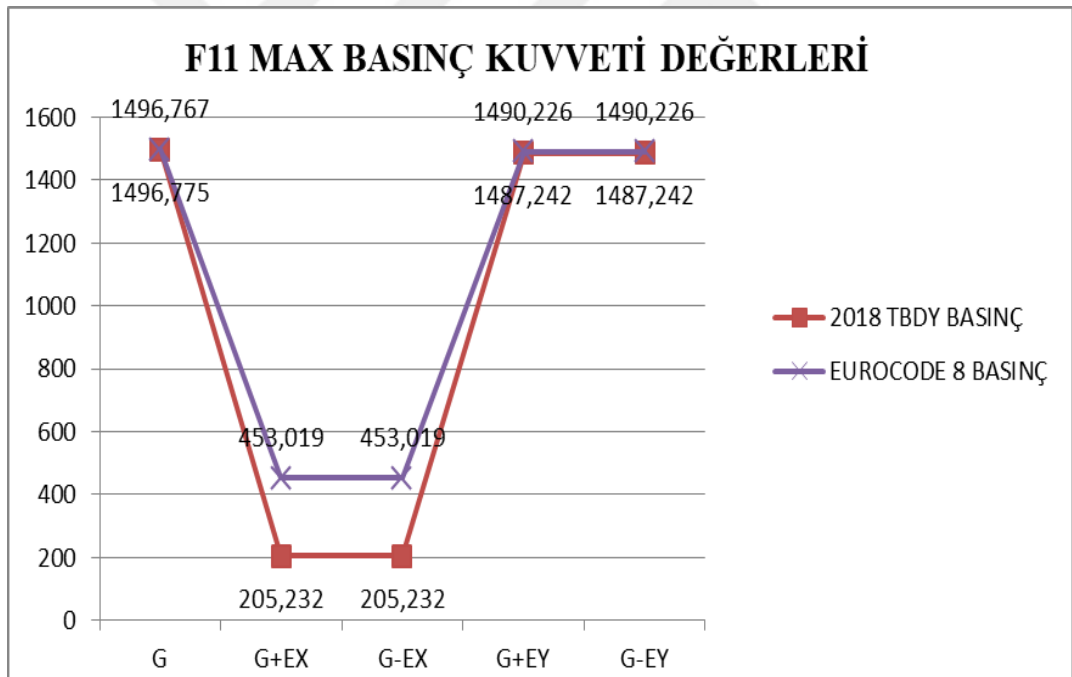
Yapının sonlu elemanlar modelinde EN 1998 ve TBDY 2018 için tanımlanan kombinasyonların ayrı ayrı F11, F22 ve F12 kuvvet grafikleri elde edilmiştir. Hesaplamalarda ele alınan D1-1 duvarı için F11 max çekme grafiği (Şekil 9.2), F11 max basınç grafiği (Şekil 9.3), F22 max çekme grafiği (Şekil 9.4), F22 max basınç grafiği (Şekil 9.5) ve F12 max kesme grafiği (Şekil 9.6) incelendiğinde EN 1998 ve TBDY 2018' e göre elde edilen çözümler arasında büyük farklar ortaya çıkmadığı görülmüştür. Diğer kombinasyonlara göre kıyaslandığı zaman G+EX ve G-EX kombinasyonlarından elde edilen sonuçlar arasındaki fark biraz daha fazladır.

IS 1893:2016 yönetmeliğinde izin verilen dayanımlar gerilme olarak hesaplandığı için SAP2000 programında S11, S22 ve S12 gerilme grafikleri elde edilmiştir. Bu yüzden diğer yönetmelikler ile kıyaslaması yapılmamıştır.

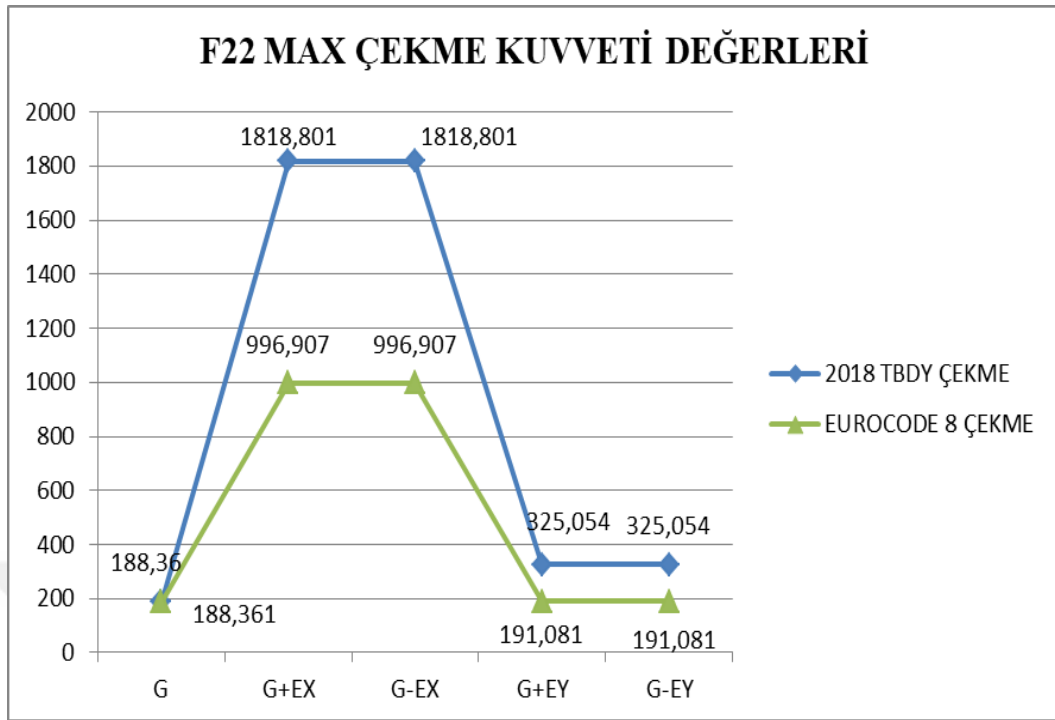
Sonuç olarak 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği hazırlanırken diğer ülkelerin yönetmeliklerine nazaran Avrupa yönetmeliğinden daha fazla esinlenilmiştir ve hesaplamalarda izlenilecek yollar benzerlik göstermektedir. Bundan dolayı iki yönetmelik arasında çok büyük farklar meydana gelmemiştir.



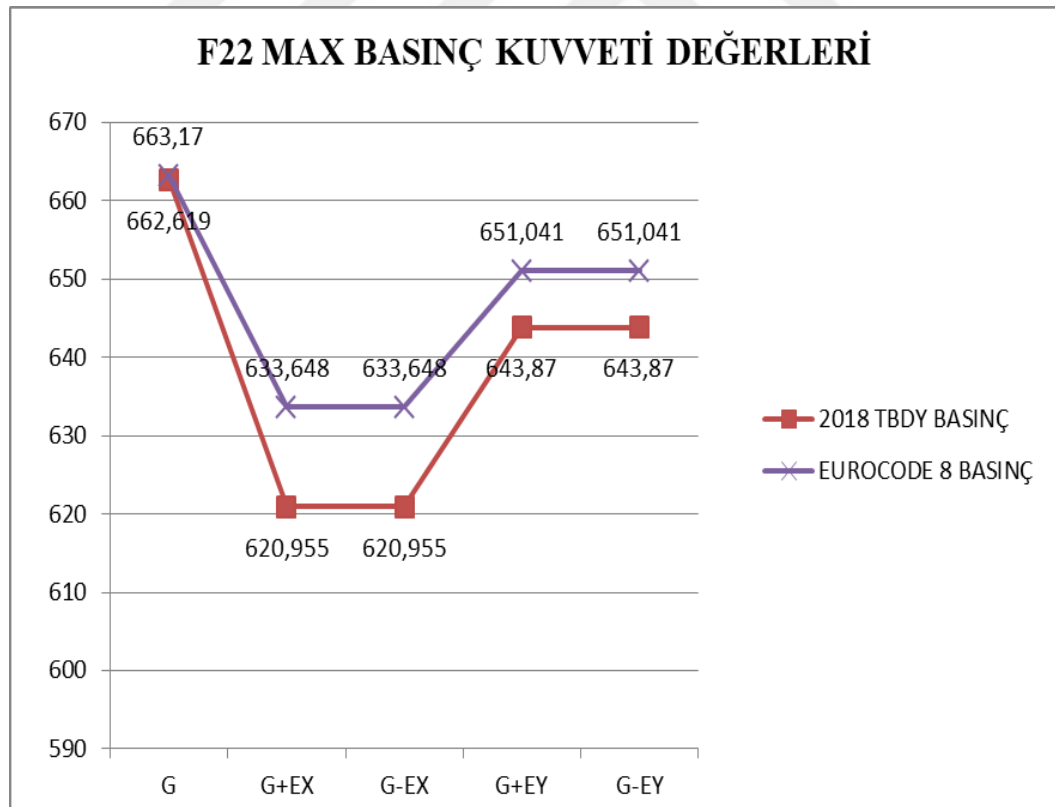
Şekil 9. 2. F11 max çekme kuvveti değerleri (N)



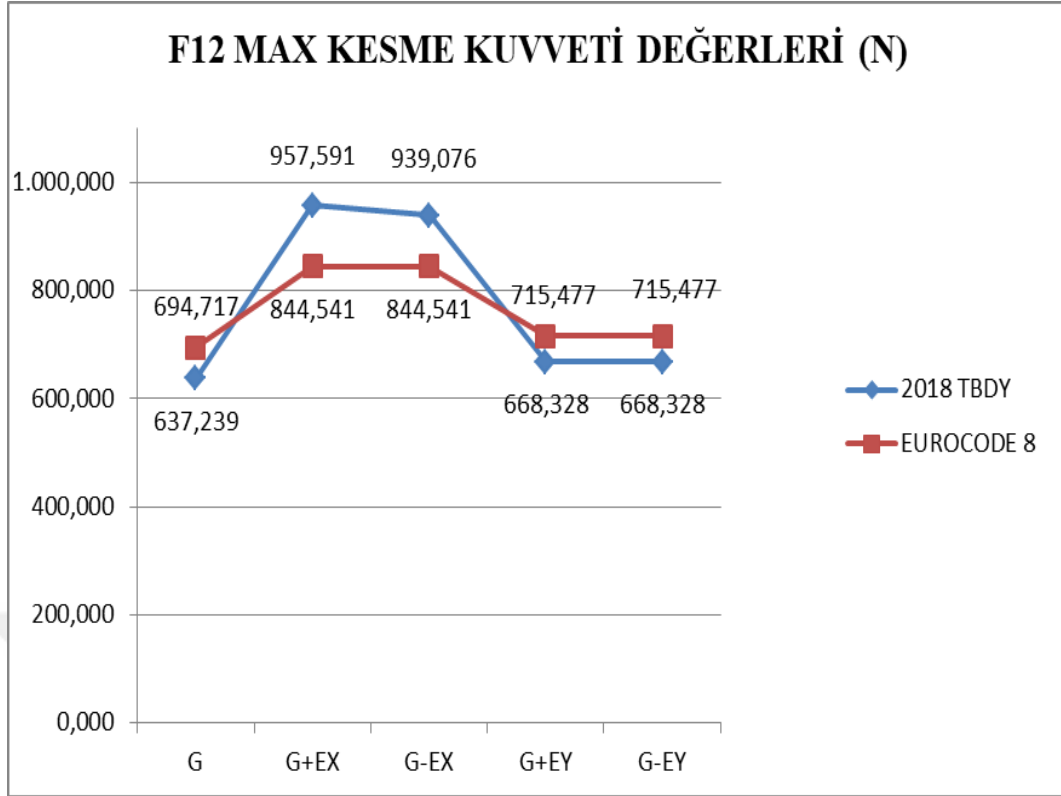
Şekil 9. 3. F11 max basınç kuvveti değerleri (N)



Şekil 9. 4. F22 max çekme kuvveti değerleri (N)



Şekil 9. 5. F22 max basınç kuvveti değerleri (N)



Şekil 9. 6. F12 max kesme kuvveti değerleri (N)

Yapılan çalışmanın sonuçları kısaca aşağıda özetlenmiştir.

- İncelenen duvarların nihai sınır durumları karşılaştırıldığında TBDY 2018 ile Eurocode 8' in yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. Düşey yük tasarım dayanımlarının sağlandığı, iki duvar dışında tasarım kesme kuvveti sınır şartlarının sağlamadığı görülmüştür.
- Mod birleştirme yönteminin karşılaştırılmasında TBDY 2018 ve Eurocode 8' in etkin kütlelerinin toplamının bina toplam kütleline oranının %90'ın altında kaldığı, Hindistan yönetmeliğinde ise bu değere çok yaklaştığı görülmüştür.
- Deprem kuvvetlerinin karşılaştırılması yapıldığında 362,54 kgf ile en büyük deprem kuvvetinin Eurocode 8' de oluştuğu görülmüştür. TBDY 2018' de deprem kuvveti 237,023 kgf olarak hesaplanmıştır. En az deprem kuvveti ise 94,74 kgf ile Hindistan yönetmeliğinde oluşmuştur.
- Max çekme ve basınç kuvvetleri açısından yapılan karşılaştırmada Eurocode 8 ile TBDY 2018 arasında G+EX ve G-EX kombinasyonlarında farkın fazla olduğu, diğer kombinasyonlarda sonuçların yakın olduğu görülmüştür. (En büyük çekme kuvveti F11 grafiğinde 3110,765 N ve en büyük basınç kuvveti F11 grafiğinde 1496,767 N' dur.)

- Her üç yönetmelikte de hem ölü yük kontrolünde hem de kombinasyonlara göre yapılan deplasman kontrolünde en fazla deplasman üst döşemede (çatı) meydana gelmiştir.
- TBDY 2018 ve Eurocode 8 yönetmeliklerinde hesaplarda taşıma gücüne göre kontrol yapılmaktadır. Hindistan yönetmeliğinde ise gerilmeye göre kontroller yapılmaktadır. En önemli farklardan birisi budur.
- TBDY 2018 ve Eurocode 8 yönetmeliğine göre yapılan hesaplar birbirine yakındır.
- Eurocode 8 ve Hindistan yönetmeliğinde davranış faktörü katsayısı 1,5 iken; TBDY 2018’ de taşıyıcı sistem davranış katsayısı 2,5 olmaktadır.
- Taşıyıcı duvarların basınç dayanımı değeri, TBDY 2018’ de malzeme birim basınç dayanımı ile harç basınç dayanımına bağlı olan tablodan alınmıştır. Eurocode 6 ile Hindistan yönetmeliğinde ise verilen formüle göre manuel olarak hesaplanmıştır. Formüller birbirine benzer olup Eurocode 6’ da malzeme birim basınç dayanımı kullanılırken, Hindistan yönetmeliğinde malzeme temel basınç dayanımı kullanılmıştır.
- TBDY 2018 ile Eurocode 6’ ya göre hesaplanan duvar düşey yük tasarım dayanımı (N_{Rd}) formülünde her iki yönetmelikte de duvarın narinlik oranına bağlı kapasite azaltma faktörü kullanılmıştır. TBDY 2018’ de bu değer narinliğe bağlı sınır değerlere göre yönetmelik tarafından verilirken, Eurocode 6’ da yine narinliğe bağlı formül olarak verilmiştir ve manuel olarak hesaplanmaktadır.
- TBDY 2018’ de yapının bulunduğu koordinatlar Türkiye deprem tehlike haritasında girilerek deprem parametreleri belirlenmektedir. Diğer yönetmeliklerde deprem parametreleri konu ile ilgili bölümlerden manuel olarak hesaplanmıştır.
- Hindistan yönetmeliğinde çekme ve basınç kuvvetlerinin hesabı diğer yönetmeliklere göre farklılık göstermektedir.
- Her üç yönetmelikte de tarihi yapılar ile ilgili ayrı bir bölüm veya ek bir kısım bulunmamaktadır.

9.2. Öneriler

Konya ilimizde bulunan Tarihi Şeyh Sadreddin Konevi Cami yüzyıllardır tarihi değerlerimizi, mirasımızı geçiren onarım çalışmalarıyla beraber günümüze kadar ulaştırmayı başarmıştır. Geçmişimizi yansıtan bu değerleri korumalı ve nesilden nesile aktarılmasını sağlamalıyız.

Yapılan bu tez çalışmasında tarihi mirasımızı korumada ülkemizin yürürlükte olan deprem yönetmeliği TBDY 2018, Avrupa deprem yönetmeliği EN 1998 ile Hindistan deprem yönetmeliği IS 1893:2016 incelenmiştir. Üç yönetmelikte de kullanılan hesap yöntemleri ve uyulması gereken kurallar incelendiğinde TBDY 2018 ile EN 1998 yönetmeliği arasında benzerlikler olduğu görülmektedir. IS 1893:2016 yönetmeliğinde ise farklı hesap yöntemleri kullanılmaktadır.

TBDY 2018' den önce yürürlükte olan Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007 (DBYBHY 2007) ile Hindistan yönetmeliği IS 1893:2016 hesap yöntemleri daha benzerdir. Fakat yeni yönetmelikle birlikte getirilen kurallar ile hesap yöntemleri daha gerçekçi ve kapsamlı olduğu için Hindistan yönetmeliğinden oldukça farklıdır.

TBDY 2018 hazırlanırken, Avrupa Yönetmeliği diğer yönetmeliklere göre daha çok göz önünde bulundurulmuştur. Fakat Avrupa yönetmeliğinin hesap adımları biraz daha kapsamlı ve karmaşıktır.

TBDY 2018 ve Avrupa yönetmeliğinde (EN 1996) yığma binalar için ayrılan bölümler incelendiği zaman yığma binaların günümüzde ve gelecekteki kullanım biçimleri daha fazla ön planda tutulduğu görülmüştür. Ayrıca ele alınan her üç yönetmelikte de tarihi yapılar ile ilgili ayrıca bir bölüm mevcut değildir. Özellikle 2018 Deprem Yönetmeliğimiz, bir önceki 2007 Deprem Yönetmeliğimiz ile kıyaslandığı zaman yeni yığma bina türlerinin eklendiğini, eskiye nazaran daha fazla katlı yığma binaların yapılabileceği olanağı getirildiği görülmüştür. Eski yığma binalar ile ilgili ayrı bir bölüm, farklı bir alt başlık bulunmamaktadır.

Tarihi yapılar ile ilgili yapılan çalışmalarda deprem yönetmeliğimizde ayrıca bir bölüm mevcut olmadığı için konu ile ilgili hesaplamalar yapılırken bazı kabullerin yapılması zorunluluğu ile karşılaşılmaktadır. Ülkemizde tarihi yapılardan numune örneği alıp deneye tabi tutma imkânı bulunmadığı için yapılan çalışmalar ile hesaplamalarda kullanılan parametrelerin değerleri, deprem yönetmeliğimizin ilgili

bölümündeki kısıtlı kurallara, yapılan kabullere ve uluslararası literatürde önerilen bağıntılara dayanmaktadır. Bu konuda ülkemizin ivedilikle çalışmalar yapması, deprem yönetmeliğimize tarihi yapıların hesap yöntemleri ile ilgili ek bir alt başlık veya ayrı bir yönetmeliğin oluşturulması gerekmektedir.

TBDY 2018' de kesme kuvveti dayanımı hesabı yapılırken duvarda düzlem içi devrilme olup olmadığı ile ilgili kontrol bulunmamaktadır. Bunun, yönetmelik revize edilerek eklenmesi uygun olacaktır.

TBDY 2018' e göre yapılan hesaplamalardan elde edilen sonuçlara göre incelenen duvarların 14 tanesinde düzlem içi devrilme meydana gelmiştir. Böylelikle yönetmelikte verilen kesme kuvveti dayanımının kesme kuvvetinden büyük olması şartı sağlanmamaktadır. Bu duvarlarda tekniğine uygun olarak onarım ve güçlendirme yapılabilir.

Tarihi yapılardan numune alınması zor ve çok uygun olmayacağı için tahribatsız yöntemlerle dayanım belirlenmesi konusunda çalışmalar arttırılmalıdır.

Ayrıca kilise vb. farklı bir tarihi yapının incelenmesi yapılabilir. Dünyadaki değişik ülkelerdeki yönetmeliklerde yapılan çalışmaya ilave olarak incelenebilir.

KAYNAKLAR

- Adhikari, R. Jha, P. Gautam, D. and Fabbrocino, G., 2019, Seismic Strengthening of the Bagh Durbar Heritage Building in Kathmandu Following The Gorkha Earthquake Sequence, *Buildings Journal*, 9 (5), 128.
- AFAD, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, [online], <https://www.afad.gov.tr/turkiye-bina-deprem-yonetmeliği>, [Ziyaret Tarihi: 29 Ocak 2021].
- Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Türkiye Deprem Tehlike Haritaları, <https://tdth.afad.gov.tr>, [Ziyaret Tarihi: 11 Ocak 2021].
- Aköz, A. H. (2008), “Deprem Etkisi Altındaki Tarihi Yığma Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Alpaslan, E. (2019), “Tarihi Yığma Köprü Hasarlarının Analitik Model ve Deneysel Yöntemlerle Belirlenmesi”, Doktora Tezi, *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Samsun.
- Amman, B. (2012). “Tarihi Yapıların Hasar Onarım Tespiti ve Restorasyon Çalışmaları”, Yüksek Lisans Tezi, *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Manisa.
- Anonim, 2017, Kemer Nedir ve Çeşitleri Nelerdir, [online], <https://okuryazarim.com/kemer-nedir-cesitleri-nelerdir/> [Ziyaret Tarihi: 10 Ağustos 2019].
- Anonim, 2017, The risk of earthquakes in Europe, [online], https://www.reddit.com/r/europe/comments/6on81d/the_risk_of_earthquakes_in_europe/ [Ziyaret Tarihi: 25 Haziran 2021].
- Anonim, 2020a, Kilisenin Bölümleri, [online], Türkiye, <https://okuryazarim.com/kilisenin-bolumleri/> [Ziyaret Tarihi: 25 Eylül 2021].
- Anonim, 2020b, Kilise Plan Tipleri, [online], Türkiye, <https://okuryazarim.com/kilise-plan-tipleri/> [Ziyaret Tarihi: 26 Eylül 2021].
- Anonim, 2021, Kilise sözlük anlamı nedir, [online], Türkiye, <https://www.forumduasi.com/251243-kilise-nedir-sozluk-anlami.html> [Ziyaret Tarihi: 10 Ağustos 2019].
- Araújo, A. F. Lourenço, P. B. Oliveira D. V. and Leite, J. C., 2017, Post-earthquake seismic analysis of St James church, New Zealand [online], Universidade do Minho, <http://hdl.handle.net/1822/21489> [Ziyaret Tarihi: 29 Ocak 2020].
- ASCE 7-16, Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures, American Society of Civil Engineers, 2017.

- Aşık, F. M. (2018), “Tarihi Yapılarda Taşıyıcı Sistem Özellikleri, Hasarlar İçin Onarım ve Güçlendirme Teknikleri, Zenburi Mescidi'nin Model Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- Aydın, M., Kilise, [online], Türkiye, <https://islamansiklopedisi.org.tr/kilise> [Ziyaret Tarihi: 29 Eylül 2021].
- Aytekin, İ. (2006), “Donatısız ve Sarılmış Yığma Yapıların Deprem Davranışlarının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya.
- Batar, T. (2007), “İstanbul Ermeni Kiliseleri Üzerine Bir Araştırma ve Narlıkapı Surp Hovhannes Ermeni Kilisesi (Eski Narlıkapı Ermeni Hastanesi) ”, *Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Bayraktar, A., 2006, Tarihi Yapıların Analitik İncelenmesi ve Sismik Güçlendirme Metodları, *Beta Basım Yayım Dağıtım*, İstanbul.
- Bilgin, H., 2005, Mimar Sinan Yapılarında Kubbeli Örtü Sistemlerinin Yapısal Analizi, *S.Ü. Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 119-128.
- Can, H. ve Ünay, A.İ., 2011, Tarihi Yapıların Deprem Davranışını Belirlemek İçin Sayısal Analiz Yöntemleri, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 27 (1), 211-217.
- Casapulla, C. Ceroni, F. Rainieri, C. Argiento, L.U. Arcamone, P. and Fabbrocino, G., 2019, Structural Assessment Of Santa Maria Maddalena Church In Ischia Island (Italy) By Experimental Modal Analysis Under Operational Conditions, 7. *ECCOMAS Yapısal Dinamikler ve Deprem Mühendisliğinde Hesaplama Yöntemleri Tematik Konferansı*, Yunanistan.
- Celep, Z., 2015. Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, *Beta Dağıtım*, İstanbul
- Chamaky, R. Y. (2014), “Tarihi Yığma Yapıların Deprem Analizi ve Uygun Güçlendirme Teknikleri”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Clementi, F. Quagliarini, E. Monni, F. Giordano, E. and Lenci, S., 2017, Cultural Heritage and Earthquake: The Case Study of “Santa Maria Della Carità” in Ascoli Piceno, *The Open Civil Engineering Journal*, 11, 1079-1105.
- Çelikağ, M., 2018, Eurocodes Standartları El Kitabı, *Kıbrıs Türk Mühendis ve Mimar Odalar Birliği*, 10-50.
- Çal, G. (2015), “Ortaköy Büyük Mecidiye Camii'nin Deprem Etkisi Altında Yapısal Davranışının Değerlendirilmesi” Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul

- Çamlıbel, N., 2000, Yapıların Taşıma Gücünün İyileştirilmesi, *Birsan Yayınevi*, İstanbul.
- Çavdar, Ö., ve Yolcu, A., 2018, Mevcut Bir Okul Binasının Türk Bina Deprem Yönetmeliği 2018'e Göre Yapısal Düzensizliklerinin İncelenmesi, *Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8 (2), 153-164.
- Döndüren, M. S. Şişik, Ö. ve Demiröz, A., 2017, Tarihi Yapılarda Görülen Hasar Türleri, *Selçuk Üniversitesi Sosyal ve Teknik Araştırmalar Dergisi*, 13, 45-58.
- Ercan, E. (2010), “Tarihi Yığma Yapıların Güvenliklerinin Analitik Ve Deneysel Yöntemlerle Belirlenmesi”, Doktora Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir.
- Erköseoğlu, G. (2012), “Kültürel Mirasın Depremden Korunması ve Turizme Kazandırılması Amacı İle Uygulanabilecek Güçlendirme Teknikleri”, Uzmanlık Tezi, *T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı Yatırım ve İşletmeler Genel Müdürlüğü*, Ankara.
- Eurocode 6, Design of masonry structures - Part 1: General rules for reinforced and unreinforced masonry structures, European Committee for Standardization; Brussels, Belgium, 2005.
- Eurocode 6, Design of masonry structures - Part 3: Simplified calculation methods for unreinforced masonry structures, European Committee for Standardization; Brussels, Belgium, 2005.
- Eurocode 8, Design of structures for earthquake resistance – Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings, European Committee for Standardization; Brussels, Belgium, 2004.
- Hasol, D., 1975, Ansiklopedik Mimarlık Sözlüğü, *Yapı - Endüstri Merkezi Yayınları*, İstanbul, 32.
- IS 1893 (Part 1), General Provisions and Buildings, Criteria for Earthquake Resistant Design of Structures, Bureau Of Indian Standards, New Delhi, 2016.
- IS 1905:1987, Code of Practice for Structural use of Unreinforced Masonry, Bureau Of Indian Standards, New Delhi, 2005.
- Kara, H. G. (2009), “Tarihi Yığma Yapıların Taşıyıcı Sistemleri, Güvenliğinin İncelenmesi, Onarımı Ve Güçlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Keskin, E. ve Bozdoğan K. B., 2018, 2007 ve 2018 Deprem Yönetmeliklerinin Kırklareli İli Özelinde Değerlendirilmesi, *Kırklareli University Journal of Engineering and Science*, 4 (1), 74-90.

- Kuran, F., 2015, Yeni Deprem Yönetmeliğinde Yığma Bina Tasarımı Ve Deprem Güvenliği Değerlendirmesi İçin Öneriler, 3. *Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, İzmir.
- Mahrebel, H. A. (2006), “Tarihi Yapılarda Taşıyıcı Sistem Özellikleri, Hasarlar, Onarım ve Güçlendirme Teknikleri”, Yüksek lisans tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Mangia, L. Ghisaasi, B. Sayın, E. Onat, O. and Lourenço, P. B., 2016, Pushover Analysis of Historical Elti Hatun Mosque [online], Universidade do Minho, <http://hdl.handle.net/1822/43624> [Ziyaret Tarihi: 30 Ocak 2020].
- Mısır, İ. S. Kuran, F. Tuna, E. Aldemir, Ö. Fırat, S., 2019, Donatısız Yığma Bina Örneklerinin 2019 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine Göre Tasarımı Ve Mevcut Bina Değerlendirmesi, 5. *International Conference on Earthquake Engineering and Seismology (5ICEES)*, Ankara.
- Namlı, M. (2001), “Tarihi Yapıların Temel Sistemleri ve Temel Takviyesi Yöntemleri”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Nemutlu, Ö. F. (2019), “2007-2018 Türk Deprem Yönetmeliklerinin ve Amerikan Deprem Yönetmeliğinin Deprem Hesapları Açısından Karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- NTC 2018, Nuove Norme Sismiche Per Il Calcolo Strutturale, Ministero Delle Infrastrutture E Dei Trasporti, Roma, 2018.
- NZS 1170.5:2004, Part 5: Earthquake actions, Structural design actions, Standards New Zealand, Wellington, 2017.
- Onescu, I. Onescu, E. and Mosoarca, M., 2019, The Impact of The Cultural Value on The Seismic Vulnerability of A Historical Building, *IOP Konferans Serisi: Malzeme Bilimi ve Mühendisliği*, 603, 042033.
- Özkul, M. (2016), “Tarihi Bir Yapının Deneysel Modal Analiz İle Yapısal Güvenliğinin Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir.
- Pergel, Ş., (2013), “Tarihsel Yapılarda Onarım-Güçlendirme Çalışmaları ve Amasya Taşhan Örneği”, Yüksek Lisans Tezi, *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Samsun.
- Prasad, A. Pallav, K. and Singh, D. K., 2019, Seismic Behaviour of 17th Century Khuro Tomb due to Site-Specific Ground Motion, *The Open Civil Engineering Journal*, 13, 26-41.
- Rouhi, J. Cacace, D. Corlito, V. Zizi, M. and Matteis G., 2019, Literature Review on The Structural Preservation of Arches and Vaults in Masonry Churches, *The Academic Research Community Publication*, İtalya.

- Sağır, G. (2000), “Kayseri İl Merkezindeki Surp Krikor Lusavoriç ve Surp Asvadzadin Ermeni Kiliseleri”, Yüksek Lisans Tezi, *Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Ankara.
- SAP2000 V20.2.0, Integrated Finite Elements Analysis and Design of Structures. Computers and Structures, Inc, Berkeley, CA, 2017.
- Sayın, E. (2009), “Yığma Yapıların Lineer Olmayan Statik ve Dinamik Analizi”, Doktora tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ.
- 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, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı-Deprem Dairesi Başkanlığı; Ankara, 2018.
- T.C. Vakıflar Genel Müdürlüğü Konya Bölge Müdürlüğü, Sadrettin Konevi Külliyesi, Konya.
- Tetik, T. (2015), “Tarihi Yığma Yapıların Deprem Performansı ve Güçlendirme Teknikleri”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Deprem Mühendisliği ve Afet Yönetimi Enstitüsü*, İstanbul.
- Trad, A. Sobhie, T. Ghanem, H. and Temsah Y., 2019, Seismic Assessment and Rehabilitation of A Historical Masonry Mosque, *Uluslararası Mühendislik Riski Konferansı*, Les Ulis, 6.
- Türker, B. (2010), “Tarihi Yığma Yapıların Yapısal Davranışının Araştırılması”, Yüksek lisans tezi, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Uğurlu, M. A. (2019), “Dört Ayaklı Minarenin Analitik Modeli ve Yapısal Hasarlarının İncelenmesi”, Doktora Tezi, *Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Diyarbakır.
- Uğuz, S. (2016), “Tarihi Yığma Bir Bina’nın Deprem Güvenlik Analizi: Tarihi Konya-Gazi Lisesi (Darü’l Muallim) Örneği”, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- Uzun, M. and Korkmaz, H. H., 2019, Deprem Bölgesindeki Bazı Ülkelerde Eşdeğer Deprem Yüğü Metodunun Karşılaştırılması, *Selçuk Üniversitesi Mühendislik Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7, 189-212.
- Ünay, A., İ., 2002, Tarihi Yapıların Depreme Dayanımı, *ODTÜ Mimarlık Fakültesi Yayınları*, Ankara.
- Yavuz, U. C., 2012, Tarihi Yapılarda Statik Güçlendirme Teknikleri, *Kültür ve Turizm Bakanlığı Kültür Varlıkları ve Müzeler Genel Müdürlüğü*, Ankara.

Yergün, U. (2002), “Batılılaşma Dönemi Mîmarisinde Yapım Teknolojisindeki Değişim ve Gelişim”, Doktora Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

