

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BURSA ULU CAMİİ VE YEŞİL CAMİİ’NİN DİNAMİK DAVRANIŞLARININ
DEĞERLENDİRİLMESİ**

ÖZGE MUTLU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YAPI PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. ABDURRAHMAN ŞAHİN**

İSTANBUL, 2015

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BURSA ULU CAMİİ VE YEŞİL CAMİİ’NİN DİNAMİK DAVRANIŞLARININ
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Özge MUTLU tarafından hazırlanan tez çalışması 26.11.2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Abdurrahman ŞAHİN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Abdurrahman ŞAHİN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Barış SEVİM
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Kadir GÜLER
İstanbul Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Tezime başlamamda ve çalışmamın her aşamasında bilgi, deneyim, tecrübe ve hoşgörüsüyle her zaman yanımda olan ve yol gösteren değerli danışman hocam Doç. Dr. Abdurrahman ŞAHİN'e, Bursa Ulu Camii ve Yeşil Camii röleve projelerini elde etmemi sağlayan ve her türlü konuda bizzat kendisi ilgilenen Bursa Vakıflar Bölge Müdürlüğü Sanat Eserleri ve Yapı İşleri Şube Müdürü Sayın Nursel KAYA'ya, hayatım boyunca bana sağladıkları maddi, manevi destekleri için aileme teşekkür ederim.

Ekim, 2015

Özge MUTLU

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vi
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT.....	xiv
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı.....	6
1.3 Hipotez.....	7
BÖLÜM 2	
TARİHİ YIĞMA YAPILAR	8
2.1 Yığma Yapı Sistemleri.....	8
2.1.1 Yığma Yapı Taşıyıcı Sistemlerinin Tasarım İlkeleri	8
2.1.2 Yığma Yapı Davranışı.....	10
2.2 Tarihi Yapılarda Kullanılan Sistem Elemanları	15
2.2.1 Temeller.....	15
2.2.2 Döşemeler.....	16
2.2.3 Duvarlar	16
2.2.4 Sütunlar Ve Ayaklar	17
2.2.5 Kemerler	18
2.2.6 Tonoz	20
2.2.7 Kubbeler	20
2.2.7.1 Tonoz Bingi (Tromp).....	22
2.2.7.2 Küresel Bingi (Pendantif).....	22
2.2.7.3 Türk Üçgeni	22
2.2.7.4 Mukarnas	23
2.2.8 Diğer Elemanlar	23
2.2.8.1 Çörtenler	23
2.2.8.2 Söve, Lento, Denizlik ve Eşikler	24
2.2.8.3 Silmeler	25

2.2.9	Minare Detayı	25
2.3	Modelleme İlkeleri Ve İdealeştirmeler	27
BÖLÜM 3		
BURSA ULU CAMİİ VE YEŞİL CAMİİ.....		30
3.1	Bursa'nın Sismik Özellikleri	30
3.2	Bursa Ulu Camii.....	32
3.2.1	Tarihçe	32
3.2.2	Coğrafi Konumu	35
3.2.3	Mimari Özellikleri ve Röleve Görüntüleri	36
3.2.3.1	Kubbeleri	41
3.2.3.2	Duvarları.....	44
3.2.3.3	Minareleri.....	45
3.2.3.4	Kapıları	47
3.2.3.5	Pencereleri ve Aydınlatılması.....	47
3.3	Bursa Yeşil Camii.....	48
3.3.1	Tarihçesi.....	48
3.3.2	Mevcut Durum ve Yapısal Özellikleri.....	49
BÖLÜM 4		
YAPISAL MODELLEME VE ANALİZ		54
4.1	Yapıların Sonlu Elemanlar Modeli.....	54
4.2	Analiz Yöntemleri.....	56
4.2.1	Dinamik Analiz	56
4.2.1.1	Modal Analiz.....	57
4.2.1.2	Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi	58
4.3	Ulu Camii Modeli	59
4.3.1	Modal Analiz	66
4.3.2	Deprem Analizi	72
4.4	Doğu Minare Model Ve Analizi	87
4.4.1	Modal Analiz	88
4.4.2	Deprem Analizi	91
4.5	Batı Minare Model Ve Analizi	94
4.5.1	Modal Analiz	96
4.5.2	Deprem Analizi	98
4.6	Doğu Minare ve Batı Minarenin Deprem Etkisi Altındaki Yer Değiştirmeleri.....	102
4.7	Yeşil Camii Modeli.....	105
4.7.1	Modal Analizi	108
BÖLÜM 5		
SONUÇLAR.....		113
KAYNAKLAR		116
ÖZGEÇMİŞ		120

SİMGE LİSTESİ

σ	Düşey gerilme
σ_{em}	Düşey emniyet gerilmesi
E	Elastisite modülü
f	Frekans
T	Periyot
ω	Açısal hız
M	Kütle matrisi
K	Rijitlik Matrisi
φ	Modal vektör

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2. 1 Planda bina düzenlenmesinde genel ilkeler [12].....	9
Şekil 2. 2 Planda taşıyıcı duvarların düzenlenmesi [12].....	9
Şekil 2. 3 Düşeyde Bina Düzenlemesi [12]	10
Şekil 2. 4 Karma Yapı Sistemleri [12].....	10
Şekil 2. 5 Basınç yükleri altında kırılma mekanizması [4]	11
Şekil 2. 6 Yığma yapı elemanının yatay yükler altında göstermiş olduğu deformasyon ve basınç çizgisinin konumu [4]	12
Şekil 2. 7 Kayma kırılmasının mekanizması [4]	12
Şekil 2. 8 Basamak şeklinde diyagonal kırılmanın oluşumu [4]	13
Şekil 2. 9 Deprem yer hareketi süresince yığma binada oluşan salınımlar [4]	13
Şekil 2. 10 Serbest yapısal bir duvarın çökme mekanizması [4]	14
Şekil 2. 11 Yığma bir yapının çökme mekanizması [4]	14
Şekil 2. 12 Depreme maruz kalan yığma bir yapıda idealleştirilmiş kuvvet-gerilme durumu [4]	14
Şekil 2. 13 Duvarların mesnetlenme şekilleri [4]	16
Şekil 2. 14 Kemer Detayı	18
Şekil 2. 15 Kemer Çeşitleri	19
Şekil 2. 16 Tonoç Çeşitleri [27].....	20
Şekil 2. 17 Kubbede Çekme ve Basınç Bölgeleri [28]	21
Şekil 2. 18 Kubbelerde Yük Taşıma Mekanizması [28].....	21
Şekil 2. 19 Pandantif Detayı [29].....	22
Şekil 2. 20 Mukarnas (Ulu Camii Doğu Minare).....	23
Şekil 2. 21 Çörten Örnekleri [27].....	24
Şekil 2. 22 Taş pencere açıklığını çevreleyen elemanlar	24
Şekil 2. 23 Silme profilleri ve silme örnekleri [27]	25
Şekil 2. 24 Minare Detayı (Bursa Ulu Camii Doğu Minaresi).....	27
Şekil 2. 25 Yığma Yapı Modelleme Yöntemleri [1].....	29
Şekil 3. 1 Bursa deprem haritası [31]	31
Şekil 3. 2 Bursa Ulu Camii [34]	33
Şekil 3. 3 Bursa Ulu Camii Şadırvanı [34]	34
Şekil 3. 4 Ulu Camii Minberi [35]	35
Şekil 3. 5 Bursa hanlar bölgesi [36]	35
Şekil 3. 6 Bursa Ulu Camii Röleve Görüntüsü [38]	36

Şekil 3. 7 Bursa Ulu Camii Röleve Görüntüsü [38]	37
Şekil 3. 8 Bursa Ulu Camii Röleve Görüntüsü [38]	37
Şekil 3. 9 Bursa Ulu Camii Röleve Görüntüsü [38]	38
Şekil 3. 10 Kuzey Cephesi Röleve Görüntüsü [38]	38
Şekil 3. 11 Güney Cephesi Röleve Görüntüsü [38]	39
Şekil 3. 12 Batı Cephesi Röleve Görüntüsü [38]	39
Şekil 3. 13 Doğu Cephesi Röleve Görüntüsü [38]	40
Şekil 3. 14 Doğu Minare Planı [38] Şekil 3. 15 Batı Minare Planı [38]	40
Şekil 3. 16 Doğu ve Batı Minare Cephe ve Kesit Görüntüleri [38]	41
Şekil 3. 17 Ulu Camii İç Görüntüsü [39]	41
Şekil 3. 18 Ulu Camii kubbeleri [34]	42
Şekil 3. 19 Ulu Camii kubbeleri	42
Şekil 3. 20 Ulu Camii'nin 1855 depreminde gördüğü hasar [40]	43
Şekil 3. 21 Ulu Camii Orta Kubbe	43
Şekil 3. 22 Ulu Camii'nin beyaz sıvalı görüntüsü [41]	44
Şekil 3. 23 Ulu Camii Minare Görüntüsü	45
Şekil 3. 24 Ulu Camii Batı ve Doğu Minareleri	46
Şekil 3. 25 Batı Minare Merdivenleri	46
Şekil 3. 26 Bursa Yeşil Camii ve Yeşil Türbe görüntüsü [42]	48
Şekil 3. 27 Bursa Yeşil Camii [41]	48
Şekil 3. 28 Bursa Yeşil Camii [43]	49
Şekil 3. 29 Bursa Yeşil Camii'nin kuzey ve güney cephesi röleve görüntüleri [44]	50
Şekil 3. 30 Bursa Yeşil Camii batı ve doğu cephesi röleve görüntüleri [44]	50
Şekil 3. 31 Yeşil Camii Planının Röleve Görüntüsü [44]	51
Şekil 3. 32 Bursa Yeşil Camii Orta Kubbe [45]	51
Şekil 3. 33 Bursa Yeşil Camii Bursa Kemeri [45]	52
Şekil 3. 34 Yeşil Camii Minareleri [45]	53
Şekil 4. 1 Katı (solid) eleman işaret ve yönleri [46]	55
Şekil 4. 2 Kabuk (shell) eleman işaret ve yönleri [46]	55
Şekil 4. 3 Global koordinatlar ve gerilmeler [46]	55
Şekil 4. 4 a) S22 düşey gerilmesi b) S21 kayma gerilmesi [46]	56
Şekil 4. 5 1999 Kocaeli depreminin Bursa Tofaş istasyonunun doğu-batı yönü deprem kaydı	58
Şekil 4. 6 1999 Kocaeli depreminin Bursa Tofaş istasyonundan alınan kuzey-güney yönü deprem kaydı	59
Şekil 4. 7 Ulu Camii model resimleri-1	60
Şekil 4. 8 Ulu Camii model resimleri -2	61
Şekil 4. 9 Ulu Camii model resimleri -3	61
Şekil 4. 10 Ulu Camii model resimleri -4	62
Şekil 4. 11 Ulu Camii model resimleri -5	62
Şekil 4. 12 Ulu Camii model resimleri -6	63
Şekil 4. 13 Ulu Camii model resimleri -7	63
Şekil 4. 14 Ulu Camii model resimleri -8	64
Şekil 4. 15 Ulu Camii model resimleri -9	64
Şekil 4. 16 Ulu Camii model resimleri -10	65
Şekil 4. 17 Ulu Camii model resimleri -11	65

Şekil 4. 18 Mod 1, $T=0,24027$, $F=4,16202$, y yönünde ötelenme	68
Şekil 4. 19 Mod 2, $T=0,21456$, $F=4,66077$, x yönünde ötelenme	69
Şekil 4. 20 Mod 3, $T=0,15947$, $F=6,27065$, burulma	70
Şekil 4. 21 Mod 5, $T=0,13495$, $F=7,4101$, burulma	70
Şekil 4. 22 Mod 6, $T=0,11371$, $F=8,79415$, y yönünde ötelenme	71
Şekil 4. 23 Mod 10, $T=0,09663$, $F=10,3492$, x yönünde ötelenme	71
Şekil 4. 24 G + Ex yüklemesi S11 (X doğrultusu) maksimum gerilme dağılımı (MPa) ...	72
Şekil 4. 25 G + Ex yüklemesi S22 (Y doğrultusu) maksimum gerilme dağılımı (MPa)....	73
Şekil 4. 26 G + Ex yüklemesi S33 (Z doğrultusu) maksimum gerilme dağılımı (MPa)....	74
Şekil 4. 27 G + Ex yüklemesi S12 maksimum gerilme dağılımı (MPa)	75
Şekil 4. 28 G + Ex yüklemesi S13 maksimum gerilme dağılımı (MPa)	75
Şekil 4. 29 G + Ex yüklemesi S23 maksimum gerilme dağılımı (MPa)	76
Şekil 4. 30 G + Ey yüklemesi S11(X doğrultusu) maksimum gerilme dağılımı (MPa)....	77
Şekil 4. 31 G + Ey yüklemesi S22(Y doğrultusu) maksimum gerilme dağılımı (MPa) ...	78
Şekil 4. 32 G + Ey yüklemesi S33 (Z doğrultusu) maksimum gerilme dağılımı (MPa) ...	79
Şekil 4. 33 G + Ey yüklemesi S12 maksimum gerilme dağılımı (MPa)	80
Şekil 4. 34 G + Ey yüklemesi S13 maksimum gerilme dağılımı (MPa)	80
Şekil 4. 35 G + Ey yüklemesi S23 maksimum gerilme dağılımı (MPa)	81
Şekil 4. 36 G + Ex yüklemesi için S11 maksimum gerilme dağılımları (MPa).....	82
Şekil 4. 37 G + Ex yüklemesi için S12 maksimum gerilme dağılımları (MPa).....	82
Şekil 4. 38 G + Ex yüklemesi için S22 maksimum gerilme dağılımları (MPa).....	83
Şekil 4. 39 G + Ey yüklemesi için S11 maksimum gerilme dağılımları (MPa)	83
Şekil 4. 40 G + Ey yüklemesi için S12 maksimum gerilme dağılımları (MPa).....	84
Şekil 4. 41 G + Ey yüklemesi için S22 maksimum gerilme dağılımları (MPa).....	84
Şekil 4. 42 Kubbe tepe nokta numaraları.....	85
Şekil 4. 43 Bursa Ulu Camii doğu minare Sap2000 model görüntüleri-1	87
Şekil 4. 44 Bursa Ulu Camii doğu minare Sap2000 model görüntüleri-2.....	88
Şekil 4. 45 Doğu minare mod şekilleri.....	90
Şekil 4.46 G + Ex yüklemesi için S11 (X doğrultusu) maksimum gerilme dağılımı (MPa)	91
Şekil 4. 47 G + Ex yüklemesi için S22 (Y doğrultusu) maksimum gerilme dağılımı (MPa)	91
Şekil 4. 48 G + Ex yüklemesi S33 (Z doğrultusu) maksimum gerilme dağılımı (MPa)....	92
Şekil 4. 49 G + Ey yüklemesi S11 (X doğrultusu) maksimum gerilme dağılımı (MPa) ...	92
Şekil 4. 50 G + Ey yüklemesi S22 (Y doğrultusu) maksimum gerilme dağılımı (MPa) ...	93
Şekil 4. 51 G + Ey yüklemesi S33 (Z doğrultusu) maksimum gerilme dağılımı (MPa) ...	93
Şekil 4. 52 Ulu Camii batı minare Sap2000 modeli görüntüleri (külâh ve şerefe detayı)94	
Şekil 4. 53 Ulu Camii batı minare Sap2000 model görüntüleri	95
Şekil 4. 54 Ulu Camii batı minare Sap2000 modeli görüntüsü (merdiven detayı).....	95
Şekil 4. 55 Bursa Ulu Camii batı minaresinin etkin mod şekilleri.....	97
Şekil 4. 56 G + Ex yüklemesi için S11 (X doğrultusu) maksimum gerilme dağılımı (MPa)	98
Şekil 4. 57 G + Ex yüklemesi için S12 maksimum gerilme dağılımı (MPa)	98
Şekil 4. 58 G + Ex yüklemesi için S22 (Y doğrultusu) maksimum gerilme dağılımı (MPa)	99

Şekil 4. 59 G + Ex yüklemesi için S33 (Z doğrultusu) maksimum gerilme dağılımı (MPa)	99
Şekil 4. 60 G + Ey yüklemesi için S11 (X doğrultusu) maksimum gerilme dağılımı (MPa)	100
Şekil 4. 61 G + Ey yüklemesi için S12 maksimum gerilme dağılımı (MPa)	100
Şekil 4. 62 G + Ey yüklemesi için S22 (Y doğrultusu) maksimum gerilme dağılımı (MPa)	101
Şekil 4. 63 G + Ey yüklemesi için S33 (Z doğrultusu) maksimum gerilme dağılımı (MPa)	101
Şekil 4. 64 Doğu minare ve batı minarenin örnek olarak alınan şerefe ve tepe düğüm noktaları	102
Şekil 4. 65 26923 nolu düğüm noktasının doğu-batı deprem yönünde x doğrultusunda meydana gelen yer değiştirme grafiği (doğu minare)	103
Şekil 4. 66 56915 nolu düğüm noktasının doğu-batı deprem yönünde x doğrultusunda meydana gelen yer değiştirme grafiği (batı minare)	103
Şekil 4. 67 24366 nolu düğüm noktasının doğu-batı deprem bileşeninin x doğrultusunda meydana gelen yer değiştirme grafiği (doğu minare)	103
Şekil 4. 68 53307 nolu düğüm noktasının doğu-batı deprem bileşeninin x doğrultusunda meydana gelen yer değiştirme grafiği (batı minare)	103
Şekil 4. 69 26923 nolu düğüm noktasının kuzey-güney deprem yönünde y doğrultusunda meydana gelen yer değiştirme grafiği (doğu minare)	104
Şekil 4. 70 56915 nolu düğüm noktasının kuzey-güney deprem yönünde y doğrultusunda meydana gelen yer değiştirme grafiği (batı minare)	104
Şekil 4. 71 24366 nolu düğüm noktasının kuzey-güney deprem yönünde y doğrultusunda meydana gelen yer değiştirme grafiği (doğu minare)	104
Şekil 4. 72 53307 nolu düğüm noktasının kuzey-güney deprem yönünde y doğrultusunda meydana gelen yer değiştirme grafiği (batı minare)	104
Şekil 4. 73 Yeşil Camii Model Resimleri-1	106
Şekil 4. 74 Yeşil Camii Model Resimleri-2	107
Şekil 4. 75 Yeşil Camii Model Resimleri-3	107
Şekil 4. 76 Yeşil Camii Model Resimleri-4	108
Şekil 4. 77 Yeşil Camii 9. mod şekli (x yönünde ötelenme)	110
Şekil 4. 78 Yeşil Camii 10. mod şekli (y yönünde ötelenme)	110
Şekil 4. 79 Yeşil Camii 11. mod şekli (burulma)	111
Şekil 4. 80 Yeşil Camii 29. mod şekli (dönme)	111

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 3. 1 Bursa civarında 1900 - 2004 Yılları Arasında Can Kaybı ve Hasara Neden Olmuş Önemli Depremler ($M_s > 5.0$) [11]-----	32
Çizelge 4-1 Malzeme Özellikleri -----	60
Çizelge 4-2 Ulu Camii Periyot ve Kütle Katılım Oranları-----	66
Çizelge 4. 3 Maksimum ve Minimum Gerilme Değerleri-----	81
Çizelge 4. 4 Kabuk Elemanları Maksimum ve Minimum Gerilme Değerleri -----	85
Çizelge 4. 5 Kubbe uç düğüm noktalarının x ve y yönündeki maksimum yer değiştirme miktarı (mm)-----	86
Çizelge 4. 6 Doğu Minare Malzeme Özellikleri [9] -----	87
Çizelge 4. 7 Doğu Minare Modal Analiz Sonuçları-----	88
Çizelge 4. 8 $G + E_x$ ve $G + E_y$ yüklemeleri için oluşan gerilme değerleri -----	94
Çizelge 4. 9 Batı Minare Modal Analiz Sonuçları -----	96
Çizelge 4. 10 $G + E_x$ ve $G + E_y$ yükleri için meydana gelen maksimum gerilme değerleri -----	102
Çizelge 4. 11 Cami ve minarelerin tepe noktalarının deprem etkisi altında zamana bağlı yer değiştirmeleri (mm)-----	105
Çizelge 4. 12 Yeşil Camii Malzeme Özellikleri [9], [21] -----	106
Çizelge 4-13 Yeşil Camii Modal Analiz Sonuçları-----	108

**BURSA ULU CAMİİ VE YEŞİL CAMİİ’NİN DİNAMİK DAVRANIŞLARININ
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Özge MUTLU

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç Dr. Abdurrahman ŞAHİN

Tarihi yapılar geçmiş nesillerden günümüze kadar varlığını sürdüren kültürel miras özelliğine sahip korunması gereken yapılardır. Geçmiş nesillerin tecrübeleri, bilgi birikimleri ve yapım teknikleri konusunda bizlere yol gösterirler. Bizlerde bu tecrübeler ışığında tarihi yapılarımızı koruyarak kültürel mirasımıza sahip çıkmalıyız. Öncelikle söz konusu yapıların uygun modelleme teknikleri ile yapısal analizleri yapılmalıdır. Analiz sonuçlarına bağlı olarak da gerekli görülen onarım ve güçlendirme çalışmaları yapılarak, gelecek kuşaklara özellikleri bozulmadan aktarılması gerekmektedir.

Osmanlı Devleti’nin ilk başkenti olan ve köklü bir geçmişe sahip Bursa, tarihi ve kültürel bakımdan zengin bir kenttir. Bu çalışmada, Yıldırım Beyazıt tarafından 1399 yılında yaptırılmış olan namaz kılma alanı bakımından Türkiye’nin en büyük camisi olan Bursa Ulu Camii ve Yıldırım Beyazıt’ın oğlu Çelebi Mehmet tarafından 1419 yılında yaptırılan çinileriyle ünlü Bursa Yeşil Camii’nin sayısal modeli oluşturulmuş ve yapısal davranışlarının değerlendirilmesi amacı ile modal analizleri yapılmıştır. Yapıların hazırlanan üç boyutlu sonlu elemanlar modelinde katı (solid) ve kabuk (shell) elemanlar kullanılmıştır. Modal analiz aşamasından sonra Bursa Ulu Camii’nin deprem etkisi altında en fazla zorlanan kesit ve bölgeleri tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tarihi yapılar, sonlu elemanlar yöntemi, modal analiz, dinamik analiz, Ulu Camii, Yeşil Camii

**DYNAMIC BEHAVIOUR EVALUTION OF BURSA GRAND MOSQUE AND
GREEN MOSQUE**

Özge MUTLU

Department of Civil Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Assoc. Prof. Dr. Abdurrahman ŞAHİN

Historical buildings and structures are culturally significant and important landmarks, which are regarded as prime members of the world's heritage. These historical buildings guide us for understand the old generations experience, knowledge and construction techniques. We should lay claim to our cultural heritage by protecting our historical buildings in the light of this experience. Primarily, for doing analysis, proper structural models of these buildings have to be set up. With the conclusion of this structural analysis, necessary precautions have to be taken, such as restorations, strengthening and additional reinforcing for transfer to our next generations.

Bursa is a historically and culturally significant city of many centuries, which holds the distinction of being the first capital of Ottoman Empire. The Grand Mosque, which still has the widest area of prayers of any mosque in Turkey, was completed in 1399 during the reign of Yıldırım Beyazıd. During the reign of Beyazıd's son Çelebi Mehmet, Green Mosque was completed in 1419, which is best known for its unique green tiles, hence the name. Numerical models were produced for the analysis of the structural behaviours of these two mosques, both of which are parts of UNESCO World Heritage in Bursa. For the modal analysis of these structures, three dimensional finite element models were put together using solid and shell elements. After modal analysis phase, the most critical sections and parts of Grand Mosque were determined under the earthquake effect.

Keywords: Historical structures, finite element model, modal analysis, dynamic analysis, Bursa Grand Mosque, Green Mosque,

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Lourenço [1] tarafından 2002 yılında yapılan çalışmada, katedral, kilise, manastır gibi birçok yapı modelinin modelleme teknikleri ve analiz yöntemleri üzerinde durulmuştur. Yığma yapılarda gerçekçi sonuçlar alabilmek için karmaşık modellemeden kaçınılıp olabildiğince basitleştirmelere gidilmesi gerektiği, üç boyutlu modelden ziyade iki boyutta analizler yapılması gerektiği vurgulanmıştır. Elde edilen sonuçların yapının davranışını anlamada yardımcı olacağı fakat karmaşık yığma yapılarda doğrusal olmayan analiz yerine kinetik metoda göre limit analizin daha güvenli olduğundan bahsedilmiştir.

Akan ve Özen, [2] tarafından 2005 yılında yapılan çalışmada, 1421 yılında Yıldırım Beyazıt'ın oğlu Çelebi Sultan Mehmet tarafından yaptırılmış olan, sekizgen planlı Yeşil Türbeyi incelemişlerdir. Yeşil Türbe'nin deprem analizi sonlu elemanlar yöntemi ile yapılmıştır. Elde edilen sonuçların yapının deprem dayanımının belirlenmesinde faydalı olacağı düşünülmüştür.

Yılmaz [3] tarafından 2006 yılında yapılan çalışmada, Sakarya ili Sapanca ilçesinde bulunan Rahime Sultan Camii incelenmiş ve SAP2000 bilgisayar programı ile yapısal analizi yapılmıştır. Yapının serbest titreşim periyodu hesaplanmış ve spektral analizi yapılmıştır. Rahime Sultan Camii'nin sonlu eleman analiz sonuçlarının yorumlanmasında yer değiştirme ve gerilmeler kullanılmıştır.

Mahrebel [4] tarafından 2006 yılında yapılan çalışmada, tarihi yapı türlerini, tarihi yapılarda kullanılan malzeme ve özelliklerini, tarihi yapıyı oluşturan taşıyıcı sistem

özelliklerini, bu yapılarda meydana gelen hasarları ve günümüzde uygulanan hasar tespit yöntemlerini, yığma, kâgir binaların deprem yönetmeliğinde belirtilen koşullar çerçevesinde deprem güvenliğinin incelenmesi ve tarihi yapılarda uygulanan onarım ve güçlendirme tekniklerini başlıklar halinde incelemiştir. Çalışmanın son bölümünde Edirne Muradiye Camii, İstanbul Vefa Lisesi ve Kabataş Erkek Lisesi eğitim ve yatakhane binalarına uygulanan güçlendirme teknikleri hakkında bilgi vermiştir.

Türer ve Boz [5] tarafından 2007 yılında yapılan çalışmada, Antalya ilinde bulunan tarihi Aspendos Tiyatrosu Sap 2000 programında sonlu elemanlar yöntemi ile modellenerek, afet yönetmeliğinde belirlenen deprem yükleri altında dinamik analizleri gerçekleştirilmiş ve yapıda oluşan gerilmelerin seviyeleri araştırılmıştır. Ayrıca Aspendos Tiyatrosunda konser ve gösteriler sırasında oluşan ses dalgalarının yapının rezonans durumuna girmesine sebep olup olmadığı araştırılmıştır. Yapıda kullanılan doğal taşın malzeme özellikleri deneysel ve analitik çalışmalar sonucu bulunarak tespit edilmiştir ve gerçeğe uygun olarak analizlerde kullanılmıştır.

Ertek ve Fahjan [6] tarafından 2007 yılında yapılan çalışmada, minarelerin modellenmesi ve analizinde farklı yaklaşımlar kullanılmıştır. İlk olarak duvarlar, merdivenler ve çekirdek katı elemanlarla modellenmiş, 2. Modelde merdiven ihmal edilmiştir, 3. Model duvarlar ve merdivenler kabuk elemanlarla, çekirdek çerçeve elemanlar ile 4. Modelde ise model 3 merdivensiz olarak modellenmiştir. Yapılan analizler neticesinde merdivensiz katı elemanlar modeli ve merdivensiz kabuk elemanlar modeli doğal titreşim periyotları ve değişik noktalardaki yer değiştirmeler ve stresler yönünden yaklaşık olarak aynı sonuçlar verdiği, katı elemanlarla modellenen sistemlerde modele merdivenin eklenmesi sonucunda deprem kaydına göre artış veya azalış gösterirken, kabuk eleman modelinde sistem de her zaman artış gösterdiği görülmüştür.

Celep vd. [7] tarafından 2008 yılında yapılan çalışmada, Plovdiv (Filibe) de bulunan Muradiye Camisi ayrıntılı biçimde incelenmiş, belirlenen hasarlar tespit edilmiş ve temel ve zemin özelliklerinin belirlenmesi amacıyla geoteknik inceleme yapılmıştır. Yapının Sap2000 programında sonlu elemanlar yöntemiyle modeli oluşturulmuştur. Model üzerinde yapılan dinamik analiz sonuçları incelenerek özetlenmiş ve yapının onarım ve güçlendirme önerileri ana ilkeleri ile verilmiştir.

Sezen vd. [8] tarafından 2008 yılında çalışmada, farklı yaklaşımlarla modellenen betonarme minarelerin dinamik davranışları değerlendirilmiştir. Merdivenin, şerefenin ve kapı boşluklarının model üzerindeki etkileri görülmüştür.

Dabanlı [9] tarafından 2008 yılında yapılan çalışmada, örnek cami olarak seçilen, Hırka-i Şerif Camii'nin tarihçesi, mimari ve geometrik özellikleri anlatılmış ve yapıda bulunan çevresel etkilerden söz edilmiştir. Caminin röleve çizimlerine göre hazırlanan sonlu elemanlar modelinde ise çeşitli kabul ve idealleştirmelerden sonra statik ve dinamik analizleri yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda ise Hırka-i Şerif Camii hakkında bir takım güçlendirme önerileri sunulmuştur.

Aköz [10] tarafından 2008 yılında yapılan çalışmada, tarihi yığma yapıların onarım ve güçlendirilmesi konusu incelenmiştir. Örnek olarak 1400'lü yıllarda yapılan Murat Paşa Camii'nin Sap2000 programı ile üç boyutlu sonlu elemanlar modeli oluşturulmuştur. Statik ve dinamik çözümlemesi yapılarak deprem güvenliği belirlenip güçlendirme ihtiyacı ve yöntemleri tartışılmıştır.

Bağbancı [11] tarafından 2009 yılında yapılan çalışmada, Bursa Ördekli Hamamı'nın tarihçesi, geçirdiği onarımlar, yapıdaki hasarlar, temel zemin özellikleri araştırılarak yapı hakkında detaylı bilgi verilmiştir. Daha sonra yapıdaki malzemelerden örnek numuneler alınarak malzeme özelliklerinin belirlenmesi amacıyla çeşitli deneyler yapılmıştır. Yapının üç boyutlu modeli oluşturulurken Key Creator yazılım programından yararlanılmıştır. Yapının sonlu elemanlar yöntemiyle statik ve dinamik yükler altındaki analizleri yapılmıştır. Yapılan çalışmada oturma analizlerinin yapılarak yapının yıkık olan bölgelerinin yıkılma sebeplerinin tespit edilmesi ve mevcut durumun güçlendirilmesi için alınacak tedbirlerin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Kara [12] tarafından 2009 yılında yapılan çalışmada, tarihi yapılarda en çok rastlanılan yığma yapı yapım teknikleri incelenmiş, tarihi yığma yapıların taşıyıcı sistemleri, kullanılan malzemeler tanıtılmış, yürürlükteki deprem yönetmeliği koşullarına göre yığma yapı tasarım ilkelerine değinilmiş, yığma yapılarda oluşan hasar türleri, onarım ve güçlendirme teknikleri incelenmiştir. Ele alınan örnek çalışmada, İstanbul Vefa Anadolu Lisesi'nin zemin özelliklerinden taşıyıcı sistem özelliklerine kadar yapının genel bir durum değerlendirmesi yapılmış ve binanın statik parametreleri hesaplanarak

öncelikle mevcut durum analizi daha sonra ise eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılarak dinamik analiz değerlendirmesi yapılmıştır. Bu çalışmaya ek olarak üç adet yığma yapının daha incelemesi yapılmış, güçlendirme olarak hasır donatılı püskürtme beton uygulaması ve betonarme perde kullanılıp, yapıların mevcut durumları ile güçlendirilmiş durumları arasındaki performans farkları değerlendirilmiştir.

Kaya [13] tarafından 2010 yılında yapılan çalışmada, donatısız yığma duvarların iki ve üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi ile elastik-plastik modellemeleri yapılmış, plastik aşamada kullanılan kırılma modelinin ihtiyaç duyduğu malzeme parametrelerinden kohezyon ile ilgili parametrik bir araştırma yapılmıştır. Literatürde yer alan örnek bir donatısız yığma duvarın, farklı sonlu eleman tipleri ile çalışan mikro ve makro modelleme tekniği ile numerik modeli oluşturulmuş, doğrusal olmayan sonlu eleman analizleri, Drucker-Prager kırılma kriterinin belirlemiş olduğu akma yüzeyi kullanılarak LUSAS-ver.13 programında gerçekleştirilmiştir.

Okuyucu ve Erdil [14] tarafından 2011 yılında yapılan çalışmada Bitlis ilçesinde bulunan Zal Paşa (Tuğrul Bey) Camii'nin makro modelleme yaklaşımı ile Sap2000 programında sonlu elemanlar yöntemi ile modeli oluşturularak dinamik analizleri yapılmış ve sismik davranışı değerlendirilmiştir.

Şahin vd. [15] tarafından 2011 yılında yapılan çalışmada, farklı eleman türlerinin modellemede kullanılması yoluna gidilmiş ve elde edilen sonuçlar değerlendirilerek yapısal davranışa etkileri incelenmiştir. Bunun yanında minarelerden ivmeölçerler ile titreşim kaydı alınarak dinamik karakteristikler belirlenmiş ve sayısal modeller ile karşılaştırıldıktan sonra deprem analizleri yapılmıştır.

Akdeniz [16] tarafından 2011 yılında yapılan çalışmada, tarihi yapılarda taşıyıcı sistem elemanları ve kullanılan malzemeler hakkında bilgi verildikten sonra, tarihi yapılarda oluşan hasarlar, onarım ve güçlendirme ile yığma yapılarda kullanılan modelleme yöntemleri kısaca anlatılmıştır. Sayısal uygulama için 1224 yılında yığma bir yapı olarak inşa edilen Malatya Ulu Camii seçilerek, bu yapının lineer ve lineer olmayan dinamik analizleri yapılmıştır. Dinamik etki olarak, 1 Mayıs 2003 Bingöl depremi ivme kayıtları seçilmiş ve bu kayıtların ivme değerleri 0,5 ile ölçeklendirilerek analizlerde kullanılmıştır. Cami, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak makro modelleme yaklaşımı ile modellenmiş

ve ANSYS paket programı yardımıyla çözümleri elde edilmiştir. Tepki büyüklükleri olarak; değişik noktalara ait yer değiştirmeler, bazı noktalara ait maksimum ve minimum asal gerilmelerin zamana bağlı değişimleri ile yapıdaki hasar durumu göz önüne alınmıştır. Ayrıca analizin son anına ait yapıda oluşan maksimum ve minimum asal gerilmelerin dağılımı ile hasar durumu verilmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

Pergel [17] tarafından 2013 yılında hazırlanan çalışmada, tarihsel yapıların onarım ve güçlendirme yöntemleri anlatılmış, örnek üzerinde yapılan çalışmalar aktarılmıştır. Tarihsel yapıların genel olarak değerlendirmesinden sonra kullanılan taşıyıcı sistemler ve malzemelerden bahsedilerek, onarım ve güçlendirme teknikleri araştırılmıştır. Gerçek bir örnekleme olarak Amasya Taşhan projesi üzerinde durulmuştur. Yapı hakkında genel bilgiler verildikten sonra yapı elemanları özellikleri, yapı malzemesi özellikleri, kazı ve sondajlar hakkında araştırma yapılmıştır. Üç boyutlu sonlu elemanlar modelinde çeşitli kombinasyonlar ve deprem senaryoları uygulanarak söz konusu senaryolar neticesinde elde edilen deplasmanlar ve göçmeler göz önünde bulundurularak yapıya en uygun güçlendirme teknikleri ve imalat yöntemleri tespit edilmiştir. Güçlendirme aşamasında ise, kullanılan malzemelerin ileri teknoloji ürünü olması ve inşaat sektöründe bu konuda yetişmiş personel tarafından uygulanması gerektiği söylenmiştir.

Can vd. [18] tarafından 2012 yılında yapılan çalışmada Küçük Mustafa Paşa Hamamı'nın Sap2000 programında sonlu elemanlar yöntemiyle sayısal modeli oluşturulmuştur. Yapılan analizler neticesinde yapının taşıyıcı sistem elemanları: kubbe ve pandantifler, duvarlar, küçük kubbeler ve diğer duvarlar ile kemerler olmak üzere 4 ayrı kategoride, G+EQx ve G+EQy yük birleşimleri için sonuçları S12 ve S22 gerilmelerine göre ayrıntılı olarak incelenmiştir. Yapısal analizler sonucunda elde edilen etkilerin incelenmesinde, yapının taşıyıcı elemanlarının Türk Deprem Yönetmeliğinde yığma yapılar için önerilen basınç ve kayma gerilmesi değerlerinin aşılmadığı gözlenmiştir.

Armağan [19] tarafından 2012 yılında hazırlanan çalışmada, tarihi yapılarda kullanılan fonksiyonelliğin incelenmesi amacı ile yurt içi ve yurt dışında bulunan bazı önemli yapılar hakkında araştırmalar yapılmış ve bilgiler sunulmuştur. Çalışma içerisinde tarihi yığma yapılarında kullanılan malzemeler ve taşıyıcı sistem özelliklerinden bahsedilmiş, bu tür yapıların korunmasında uygulanan bazı teknikler anlatılmıştır. Tarihi yapıların

modelleme ve analiz yöntemleri araştırılmış ve sayısal çalışma olarak, yığma yapı elemanlarından olan kemer, tonoz ve kubbe örnekleri sonlu elemanlar metodu ile bilgisayar ortamında modellenmiştir. Hazırlanan modellerde geometriksel açıdan değişik parametreler kullanılarak karşılaştırmaları yapılmış, incelenen yapı elemanlarının genel olarak basınca çalıştığı kanıtlanmış ve kubbe basıklık oranlarının yatay ve düşey yöndeki mesnet reaksiyonlarına etkisi incelenmiştir.

Baştürk [20] tarafından 2013 yılında yapılan çalışmada Bursa'da yer alan yedi adet tarihi minare ele alınarak yerinde modal testler gerçekleştirilmiş, yine aynı minarelerden alınan yapısal ölçüler göz önüne alınarak ABAQUS programı yardımıyla sayısal modelleri oluşturulmuştur. Sayısal modeller, yerinde yapılan test sonuçları ile karşılaştırmalı olarak irdelenmiş ve gerçekçi sayısal modeller elde edilmeye çalışılmıştır. Tüm bu karşılaştırmalar ile elde edilen sonuçlar ile kalibre edilmiş model sonuçları ve bunların yükseklik, çap ve malzeme gibi parametrelere nazaran davranışlarının değişimleri incelenmiştir.

Korkmaz vd. [21] tarafından 2014 yılında yapılan çalışmada SAP2000 programı kullanılarak Rize Merkez'de bulunan ve 1570 yılında İskender Cafer Paşa tarafından yaptırılan Kurşunlu Camisi üzerinde Cape Mendocino, Düzce ve Landers depremleri uygulanarak, zaman tanım alanında dinamik analizleri gerçekleştirilmiştir. Yığma taşıyıcı sisteme sahip olan tarihi yapıda her bir ivme kaydı için ortaya çıkan yer değiştirme ve gerilme değerleri elde edilmiş ve analiz sonuçları doğrultusunda bir değerlendirme yapılmıştır.

Çarhoğlu vd. [22] tarafından 2014 yılında yapılan çalışmada Kars Kümbet Camii'nin sayısal modeli Sap2000 programında oluşturulmuştur. Dinamik analizi için 20 adet gerçek deprem ivme kaydı seçilmiş ve yapının zaman tanım alanından doğrusal analizleri yapılarak x ve y yönündeki yer değiştirmeler ile basınç ve çekme gerilmeleri belirlenerek tablolar halinde verilmiştir.

1.2 Tezin Amacı

Tarihi yapılar geçmiş nesillerden günümüze kadar varlığını sürdüren kültürel miras özelliğine sahip korunması gereken yapılardır. Geçmiş nesillerin tecrübeleri, bilgi birikimleri ve yapım teknikleri konusunda bizlere yol gösterirler. Bizlerde bu tecrübeler ışığında tarihi

yapılarımızı koruyarak kültürel mirasımıza sahip çıkmalıyız. Tarihi yapıların, deprem yükleri altında oluşabilecek hasarlara karşı yapısal davranışlarının bilinmesi için öncelikle söz konusu yapıların uygun modelleme teknikleri ile yapısal analizleri yapılmalıdır. Analiz sonuçlarına bağlı olarak da gerekli görülen onarım ve güçlendirme çalışmaları tarihi yapıların doğal kimliğini bozmadan, gerçeğine uygun biçimde yapılarak, gelecek kuşaklara özellikleri bozulmadan aktarılması gerekmektedir.

Günümüz teknolojisindeki ilerlemeler modelleme ve analiz aşamalarında kolaylık sağlasa da, tarihi yapıların strüktürel özelliklerinin tam olarak bilinmemesi ve ayrıca kullanılan malzemelerin homojen olmaması gibi sebeplerden dolayı yapı davranışları hakkında yüzde yüz doğru bilgi elde edilememektedir.

Bu çalışma beş bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde giriş ve literatür çalışmaları hakkında bilgiler verilmiş, ikinci bölümde ise yığma yapıların davranışı ve tarihi yapıların taşıyıcı sistem elemanları incelenmiştir. Üçüncü bölümde Bursa Ulu Camii ve Bursa Yeşil Camii'nin tarihçesi, konumu ve yapısal özellikleri anlatılmış, dördüncü bölümde yapısal modeller ve yapısal analizler yapılmıştır. Son olarak beşinci bölümde ise sonuçlar sunulmuştur.

1.3 Hipotez

Tarihi yapıların modellenmesi için başta sonlu elemanlar metodu olmak üzere çeşitli yöntemler vardır. Yapılan modellerde karmaşıklıktan uzaklaşarak yapı en sade biçimde gerçeğine uygun olarak modellenmelidir. Kullanılan malzemelerin karakteristik özellikleri deneysel bulgularla yerinde birebir belirlenebileceği gibi, diğer yandan bu karakteristik özelliklerde çeşitli idealleştirmelere gidilebilir. Malzeme özelliklerinin deneysel bulgularla birebir belirlenmesi zaman ve maliyet gerektireceğinden ve ayrıca yapı bünyesinde hasar oluşturma riski bulunduğu için tarihi yığma yapıların malzeme özelliklerinin araştırılmasında teoriksel malzeme karakteristik değerlerini belirlemek ve deprem yönetmeliğinde belirtilen ortalama malzeme emniyet gerilmelerini kullanmak gerçeğe yakın sonuçlar elde etmemizi sağlar. Bu tez kapsamında ele alınan örnek camilerin malzeme özellikleri çeşitli literatür araştırmaları sonucu kabul edilerek modeller üzerinde kullanılmıştır.

TARİHİ YIĞMA YAPILAR

2.1 Yığma Yapı Sistemleri

Hem düşey hem de yatay yükler için tüm taşıyıcı sistemi doğal veya yapay malzemeli taşıyıcı duvarlar ile oluşturulan yapıya yığma yapı denir.

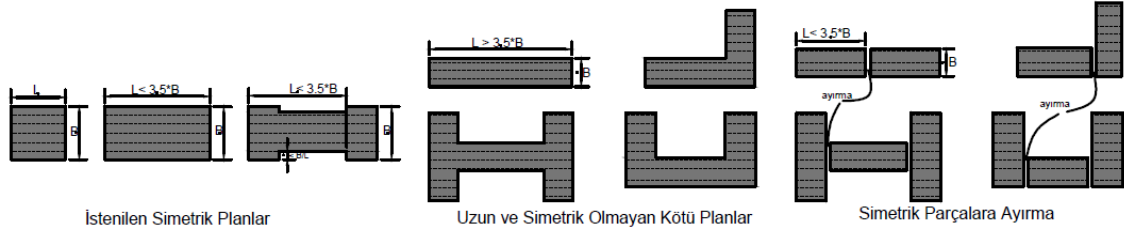
Yığma yapılarda duvarların hem mimari hem de taşıyıcı işlevi vardır. Hacimleri oluşturup, yapıyı dış etkenlerden korudukları gibi yapının işlevi gereği oluşturulan iç bölmelerini de ayırırlar. Duvarlar birden çok işlevi ile yığma yapılarda kullanım ve yapım açısından önemli üstünlüğe sahiptirler [23].

Yığma yapılar kullanılan malzemeye göre kerpiç, taş, tuğla, hafif beton blok, briket ve bunların karışımı olarak sınıflandırılabilir. Yığma yapılarda kullanılacak birimler genellikle kullanımı kolay, basınç mukavemeti yüksek ve harç ile iyi uyum sağlar nitelikte olmalıdır [24].

2.1.1 Yığma Yapı Taşıyıcı Sistemlerinin Tasarım İlkeleri

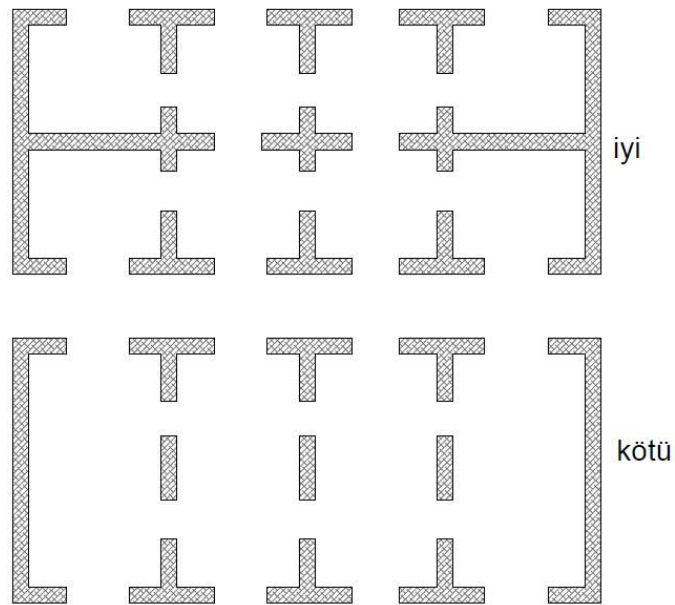
“Yığma yapıların depreme dayanıklı tasarlanmasında malzemelerin dayanımı, taşıyıcı sistemin düzenlenmesi, taşıyıcı elemanların birleşimi, işçilik gibi unsurlar belirleyici olmaktadır. Yığma yapıların tasarımında dikkat edilecek tasarım ilkeleri aşağıdaki şekilde özetlenebilir” [12];

- “Yapı planları mümkün olduğunca simetrik olmalıdır. Simetrik plana sahip olmayan yapılarda yeterli sayıda dilatasyon bırakılarak yapı simetrik parçalara ayrılabilir” (Şekil2. 1) [12].



Şekil 2. 1 Planda bina düzenlenmesinde genel ilkeler [12]

- “Yapının rijitlik ve kütle merkezinin mümkün olduğunca çakışması gerekmektedir. Taşıyıcı duvarların her iki doğrultuda düzenlenmesi gerekmektedir. Taşıyıcı elemanların planda düzgün dağılımı ile yapıda ilave yüklerin oluşması engellenebilir”(Şekil 2. 2) [12].



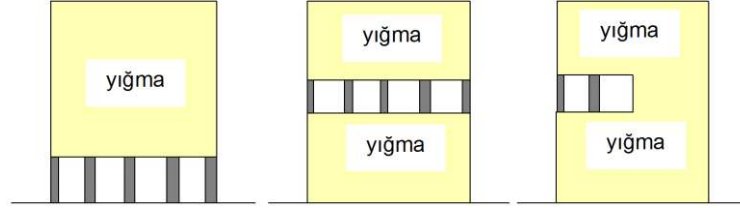
Şekil 2. 2 Planda taşıyıcı duvarların düzenlenmesi [12]

- “Taşıyıcı elemanların düşeyde üst üste gelmesi, rijitliğin yapı yüksekliği boyunca da devam etmesi gerekmektedir. Düşeyde de yapı rijitliğinde ani değişimler meydana gelmemelidir”(Şekil 2. 3) [12].



Şekil 2. 3 Düşeyde Bina Düzenlemesi [12]

- “Karma yapı sistemlerinden kaçınılmalıdır”(Şekil 2. 4) [12].



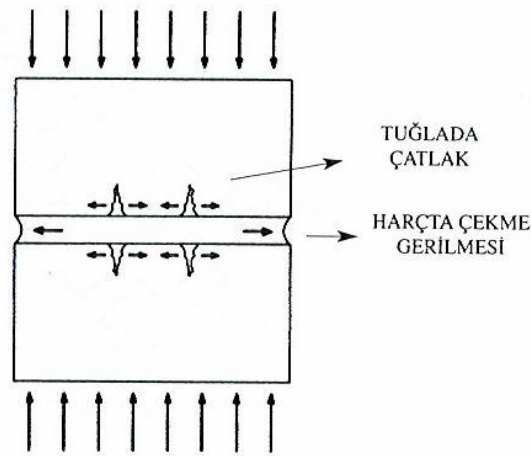
Şekil 2. 4 Karma Yapı Sistemleri [12]

- “Düşey taşıyıcı duvarlar ile döşemeler birbirine iyi bağlanmalı, döşeme rijit diyafram özelliği gösterebilmelidir” [12].
- “Mesnetlenmemiş duvar boyu yürürlükteki sınır değerleri aşmamalıdır. Herhangi bir taşıyıcı duvar, planda belli aralıklarla düzenlenen kendisine dik olarak saplanan taşıyıcı duvar ve bölme duvarları ile desteklenmelidir” [12].
- “Duvar birleşim ve kesişim bölgelerindeki bağlantının yeterli derecede olması gerekmektedir” [12].
- “Duvar içinde bırakılan pencere veya kapı boşluklarının sınır değerleri aşmaması gerekmektedir” [12].
- “Duvar birleşim ve kesişimlerinde düşey hatılların ve duvar içerisinde belli aralıklarla yatay hatılların kullanılması olumlu etki oluşturmaktadır” [12].
- “Yapı elemanlarının yükleri taşıyabilecek yeterlilikte boyutlandırılması gerekmektedir” [12].

2.1.2 Yığma Yapı Davranışı

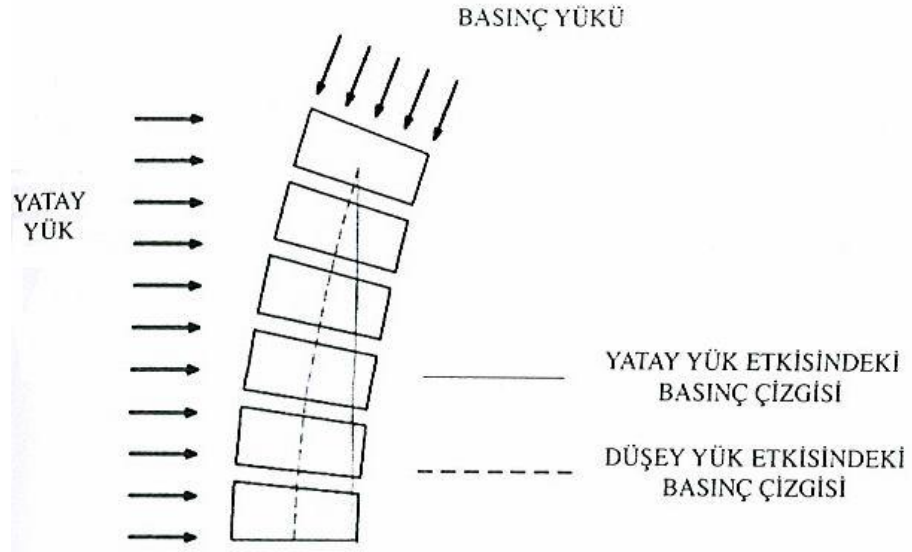
Yığma yapıların davranışında kullanılan malzemelerin yanında bağlayıcı olan harcında mekanik ve kimyasal özellikleri belirleyici olmaktadır. Her bir yapı malzemesinin

davranışı farklı olduğundan yığma yapılar hakkında genel bir kaniya varmak oldukça zordur. Taşıyıcı duvarı oluşturan tüm elemanlar, döşeme sistemleri ve bu elemanların birleşimleri yığma yapıların bir bütün olarak davranmasında etkilidirler. Yığma yapılarda duvar kalınlıkları çizgisel etkiyen düşey yüklerin (çatı, döşeme, duvar) duvar kesitlerinde oluşturdıkları basınç gerilmelerinin (σ), duvar basınç emniyet gerilmelerinden küçük olması şartıyla belirlenirler. Duvar kesitlerinde deprem etkisiyle oluşan kayma gerilmelerinin (τ), duvar malzemesi kayma emniyet gerilmesinden (τ_{em}) küçük olması gerekir [4]. Şekil 2-5'te basınç yükleri altında yığma yapılarda meydana gelen kırılma mekanizması görülmektedir.



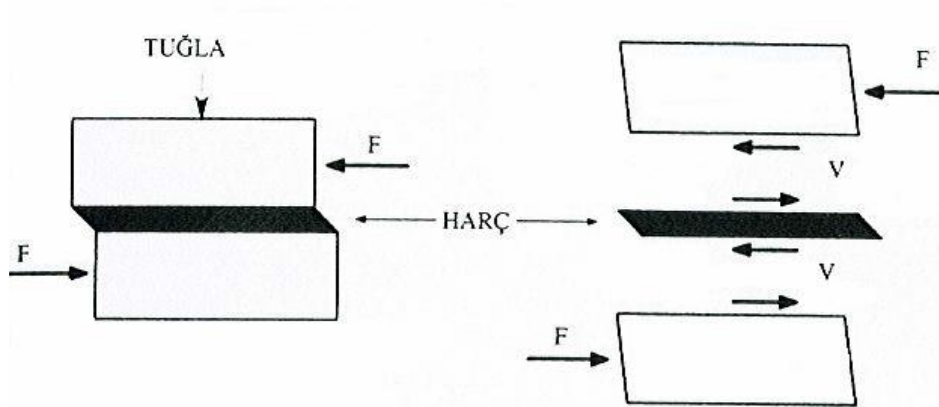
Şekil 2. 5 Basınç yükleri altında kırılma mekanizması [4]

Yığma yapıların, betonarme yapılar gibi deprem yükleri altındaki davranışları tam olarak bilinmemektedir. Betonarme yapıların deprem yükleri altında, taşıma gücü aşılsa bile büyük deformasyonlar ile deprem enerjini tüketebilirler. Yığma yapılar ise betonarme yapılar kadar sünek davranış gösterememektedirler. Yığma yapılarda düşey yükler döşemelerden taşıyıcı duvarlara, duvarlardan da temele aktarılır. Deprem hareketi ile oluşan atalet kuvveti yapıyı etkiler. Yatay atalet kuvveti, rijit diyafram gibi davranan döşemelerden duvarlara aktarılır. Duvarlarda kesme ve eğilme tesiri yaratır [4]. Şekil 2-6'da yığma yapının yatay yükler altında davranışı görülmektedir.

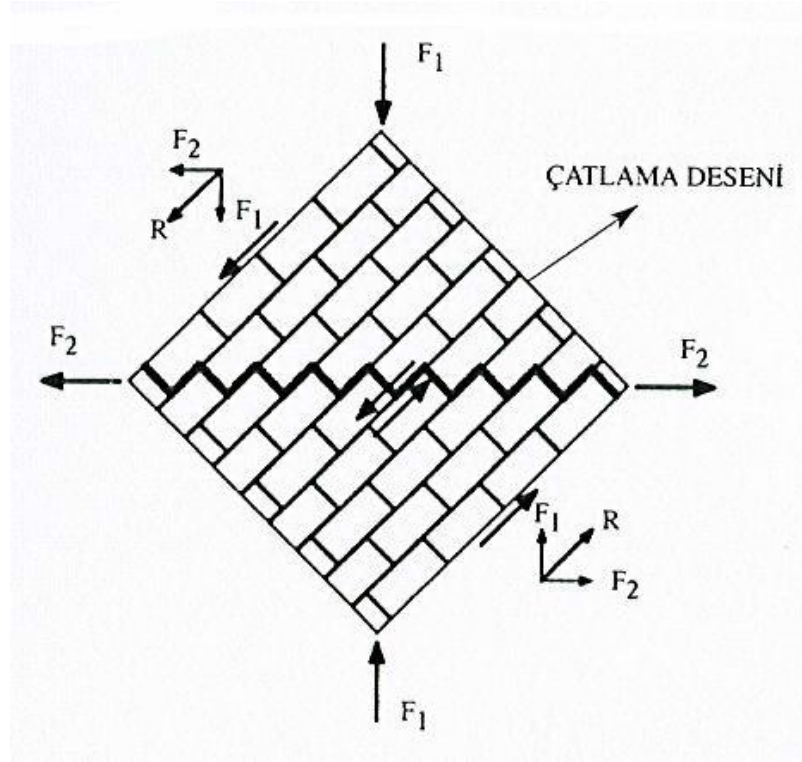


Şekil 2. 6 Yığma yapı elemanının yatay yükler altında göstermiş olduğu deformasyon ve basınç çizgisinin konumu [4]

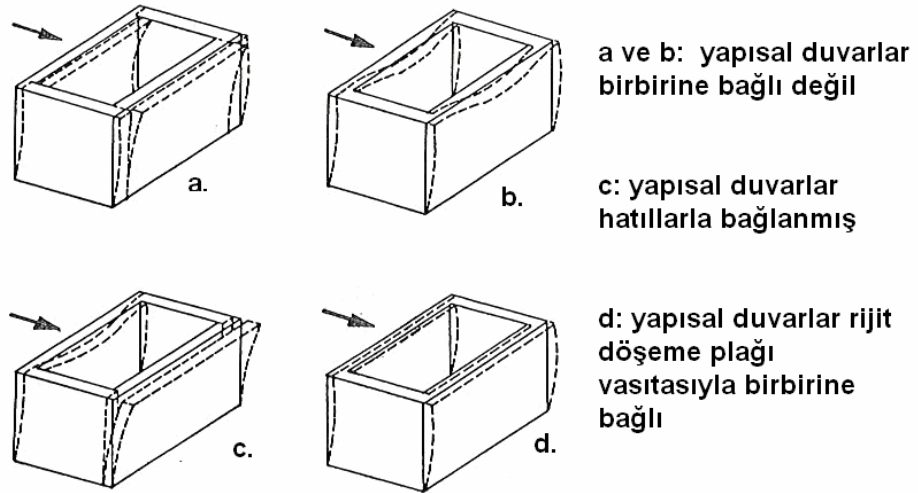
Yığma yapılarda deprem sırasındaki oluşan yatay yükler ile yapının kapı pencere boşlukları çevresi, duvar ve döşeme birleşimleri, duvar kesişim ve birleşim yerleri gibi kritik bölgelerinden başlayarak yapıda çatlaklar oluşur ve yapı göçme mekanizmasına ulaşır. Şekil 2. 7 ve Şekil 2. 8’de yığma yapıda kırılma mekanizmaları, Şekil 2. 9’da yatay yükler altında yığma yapıda oluşan salınımlar, Şekil 2. 10 ve Şekil 2. 11’de yığma yapının göçme mekanizmaları, Şekil 2. 12’de ise yığma yapıda idealleştirilmiş kuvvet gerilme durumu görülmektedir [4].



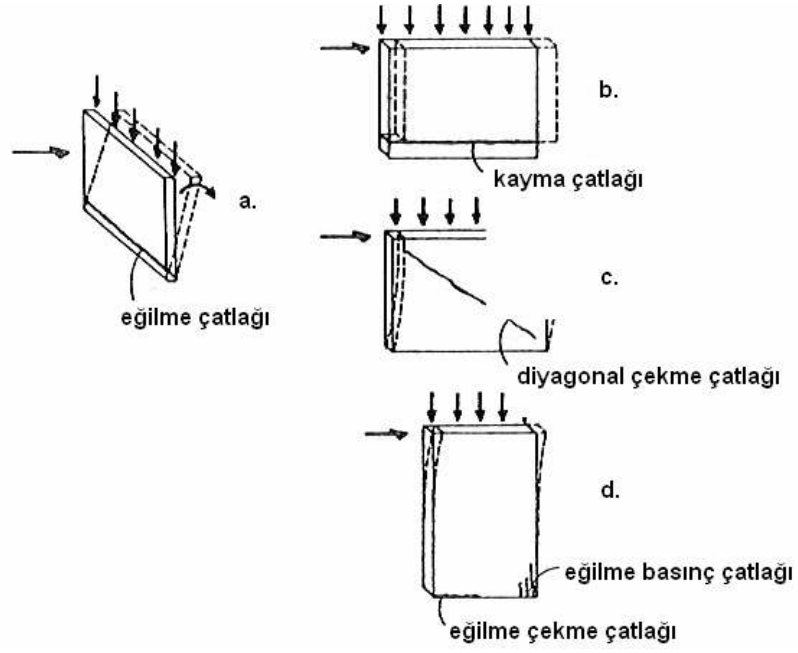
Şekil 2. 7 Kayma kırılmasının mekanizması [4]



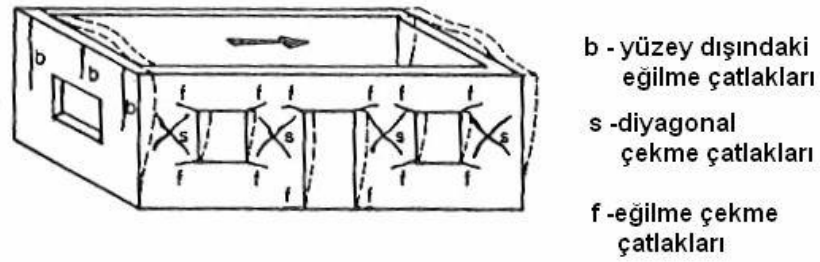
Şekil 2. 8 Basamak şeklinde diyagonal kırılmanın oluşumu [4]



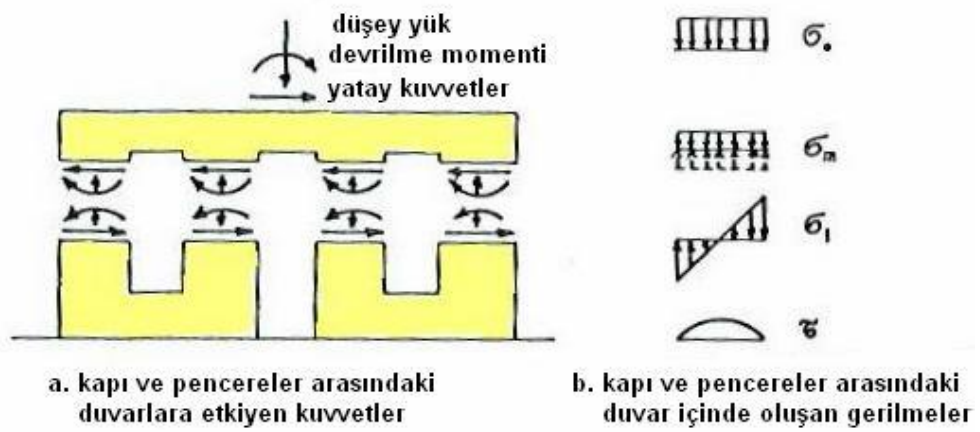
Şekil 2. 9 Deprem yer hareketi süresince yığma binada oluşan salınımlar [4]



Şekil 2. 10 Serbest yapısal bir duvarın çökme mekanizması [4]



Şekil 2. 11 Yığma bir yapının çökme mekanizması [4]



Şekil 2. 12 Depreme maruz kalan yığma bir yapıda idealleştirilmiş kuvvet-gerilme durumu [4]

2.2 Tarihi Yapılarda Kullanılan Sistem Elemanları

2.2.1 Temeller

Tabanındaki boşluk suyunun zeminden çıkarılmasını sağlandıktan sonra yontulmuş büyük kaya blokların yerleştirilmesi ve alt tabanın üzerine duvar tarzı elemanların yapılması ile temeller oluşturulmaktadır. Boşluk hacimlerine gelen alan, genelde büyük boyutlu taşlarla yapılan blokajlarla kapatılmakta ve bu kısmın yüksekliği yapının büyüklüğüne göre değişmektedir [16].

Temelden beklenen en önemli işlev yapıdan gelen yüklerin sağlam zemin veya kayaca aktarılmasıdır. Bu işlevi yerine getirirken tabandan gelen deprem tesirlerinin yapıya etkimemesi için bazı çareler aranmıştır. Dış tesirlerden olan bir diğer konu, tabandan gelecek olan, nem oranı yüksek havanın yapıdaki tesirlerinin giderilmesi çalışmalarıdır. Temel yapı strüktürü aşağıdaki işlevleri yerine getirecek şekilde yapılanmaktadır [24];

- Temelin oturduğu zeminin mukavemetinin dış tesirlerle azalmaması şarttır.
- Zeminden gelen temiz ve her zaman 21°C olan hava ile yapı içinin ısıtılması, soğutulması veya temiz hava sirkülasyonunun oluşması sağlanır.
- Deprem tesirlerinin yapının temel kısmında sönümlenmesinin sağlanmasıdır.

“Binaların havalandırılması, ısıtma ve soğutulması için temel katmanına birtakım formlar verilmekte idi. Yapı temel kısmında galeriler yapılmakta, bina tabandan hava alabilecek şekilde inşa ediliyordu. Temeldeki galeriler yapının çevresindeki bahçede de devam etmiş, yapı içine topraktan rahat hava dolacak şekilde yapılmıştır. Galeriler, gerektiğinde kullanmak için temiz hava deposu şeklinde oluşturulmuştur. Mimar Sinan Süleymaniye Camisi’nin havalandırılmasını tabandan yapmış ve başarı ile uygulamıştır. Caminin temelinde, avlusunda ve bahçesinde yaptığı galeriler temiz hava depoları şeklindedir. Cami içi cemaatle dolunca kapıların üstündeki rüzgârlıklar açılmakta, temeldeki galerilerden içeri dolan temiz hava kapı üstlerindeki rüzgârlıklardan kirlenmiş olarak çıkmaktadır. Cami içinin hava sirkülasyonu bu yoldan olunca iç mekân her an temiz kalmaktadır” [25].

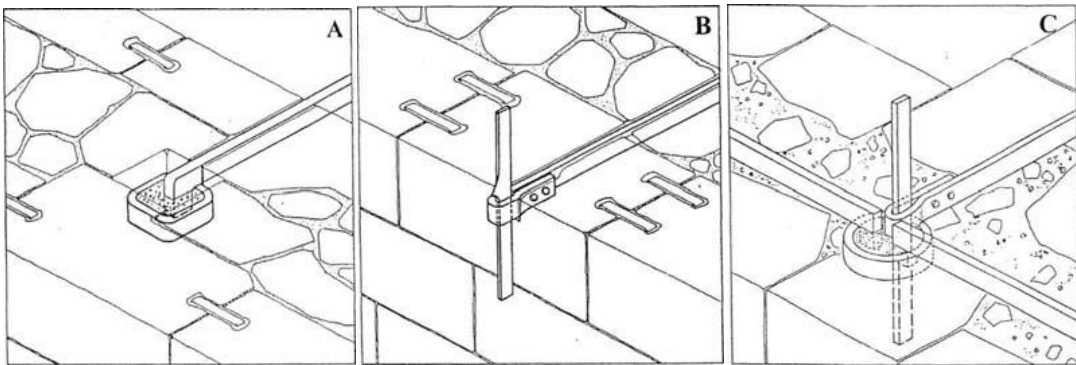
2.2.2 Döşemeler

“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” [12].

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.

2.2.3 Duvarlar

Duvarlar, yığma yapılarda taş ve tuğla şeklinde örülen, üzerlerine gelen yükü zemine ileten yapı elemanlarıdır. Duvarlara gelen düşey ve yanal yükler göz önünde bulundurunca duvar kalınlıkları yığma yapılarda bir hayli artmaktadır. Duvarların bir bütün olarak çalışması istendiği için, duvar içerisindeki taş ve tuğlalar harç, kenet, hatıl vb. malzemelerle bağlanmıştır. Şekil 2. 13’te duvarların mesnetlenme şekilleri gösterilmiştir.



Şekil 2. 13 Duvarların mesnetlenme şekilleri [4]

“Duvar içerisinde açılan pencere ve kapı boşlukları yapı rijitliğini önemli ölçüde bozarak bu bölgelerde gerilme birikmelerine sebep olmaktadır. Kapı ve pencere boşluklarının bu olumsuz etkilerini önlemek için aralarına payanda takviye etmek gerekir. Yığma yapı

duvarları yapım türlerine göre, kaba yönü taş duvarlar ve sıfır derz taş duvarlar olarak sınıflandırılabilirler. Kaba yönü taş duvarlarda taşlar gelişigüzel yontularak düzlenen yüzeyler, görünen duvar yüzlerine gelecek şekilde duvarlar teşkil edilir. Her iki duvar yüzeyi bu şekilde teşkil edilerek orta duvar bölgesi sandık taş dolgu yapılmaktadır. Tarihi yapılarda bu tarz taş duvar yapımı birer metre yükseklikler şeklinde örülür. Duvar bir metre örülünce duvar düzleme yüzeyi teşkil edilir. Duvar düzleme yüzeyinde tuğladan iki sıra veya daha fazla tuğla duvar bölgesi oluşturulması gelenektir. Tarihi yapı taşıyıcı duvarlarında, düzleme bölgelerine, ahşap kalas çekme elemanları yerleştirilmektedir. Duvarlarda oluşan çekme kuvvetlerini karşılamak için duvarların bu kısımlarına ahşaptan hatıllar oluşturulmaktadır. Hatıllar yapının bu yükseklikteki tüm duvar bölgelerini kaplamaktadır. Sıfır derz taş duvarlar mimari estetik veya sürtünmenin azaltılması maksadı ile veya kapiler suların duvar üst katmanlarına çıkmaması için yapılırlar. Taşlar arasında harç kullanmadan yapılan düzgün örme taş duvarlara sıfır derz taş duvar denilmektedir” [25].

2.2.4 Sütunlar Ve Ayaklar

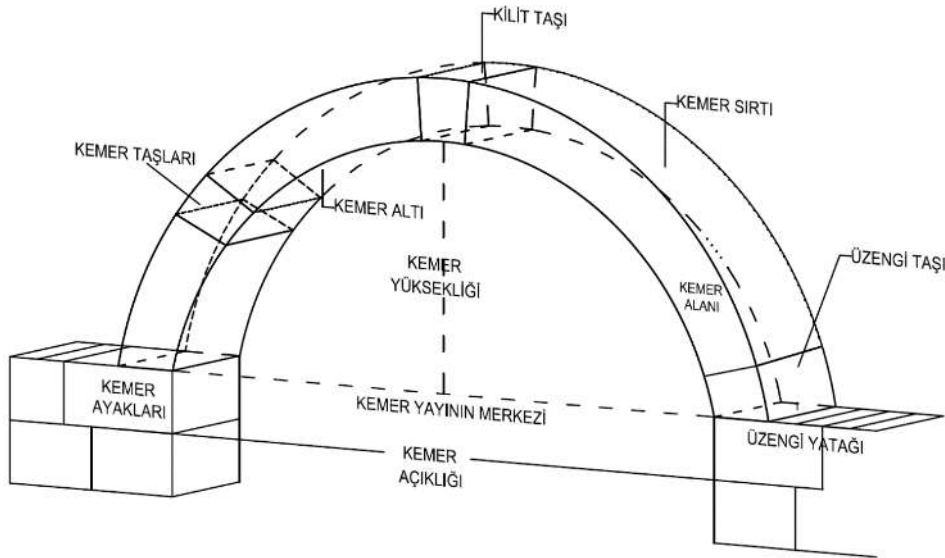
“Mekân örtü yüklerinin tekil noktalardan iletilmesi hallerinde, düşey taşıyıcılar ayak ve sütunlardan oluşur. Sütunlar yekpare ya da birkaç blok taş ile oluşturulmuş düşey yapı elemanlarıdır. Birkaç blokla oluşturulduklarında, ağaç veya bronz kenetler yardımıyla birleştirilirler. Daha çok kare, çokgen ve daire kesitli olan sütunların taşıdığı kiriş ya da kemer yükünü toplamak için sütun başlığı, yükü altındaki yapı elemanına yaymak için sütun tabanı yapılır. Ayaklar, en kesiti sütunlardan daha büyük; duvar gibi örülerek yapılan düşey taşıyıcılardır. Mekân örtüsünün formu ve kullanım amacına ve yüklerin iletiliş biçimlerine göre karmaşık bir geometride imal edilmişlerdir. Ana taşıyıcı ayaklarda meydana gelebilecek bir çatlak veya mafsall oluşumu, yapının stabilitesini bozarak tamamen yıkılmasına neden olabilir. Bu sebeple, bu tür elemanlarda kesitin eğilme eksenine dik doğrultudaki boyutunun üçte birinden fazla bir bölümde çekme gerilmesi oluşmayacak çok büyük kesit boyutlarına ihtiyaç vardır. Tarihi yapılarda görünen büyük kesite sahip sütun ve ayakların, geçmişte yıkılan yapılardan alınan derslere göre bu şekilde yapıldığı anlaşılmaktadır” [4].

Deprem yüklerinin yatay ve düşey yönlü tesirlerinde sütunlar adeta yapıda şakülleme görevi yapmaktadır. Yapılarda sütun yapmanın bir sebebi de, deprem yüklerinin yapıda hasıl ettiği yatay deformasyonları gidermek ve yapıyı şakülünde tutmak içindir. Camilerde fil ayakları da sütun gibi etki yaptığını düşünürsek, şaküllemenin önemi daha iyi anlaşılır. Kubbeli yapılarda taşıtılması istenen kubbedir. Kubbeyi taşıyan fil ayakları ile yapı içindeki sütunlar, yatay yer değiştirmeleri geri getiren elemanlardır. Deprem hareket enerjisi ile ötelenen kubbe bir miktar enerjisini hareketi esnasında bitirir. Bir kısım hareket enerjisini de fil ayağı ve sütun başlarında, potansiyel enerji olarak biriktirir. Biriken potansiyel enerji kubbenin yerine gelmesine yardımcı olur [25].

2.2.5 Kemerler

Kemerler, iki sütun veya ayak arasındaki açıklığı geçmek için yapılan eğri eksenli kirişlerdir. Kemerler, tuğla ya da taş (moloz, kaba yonu, ince yonu, kesme taş) ile inşa edilir. [4].

Şekil 2. 14'te görüldüğü gibi kemer örgü taşları; üzengi, kemer taşı ve kilit taşı olarak sıralanabilir. Kemerin başlama taşı üzengi taşıdır, kemeri oluşturan taşlar kemer taşı, kilit taşı ise kemerin düşey ekseninde bulunan ve kendisi ile üzengi arasındaki taşları kilitleyen taş olarak açıklanabilir. [23].

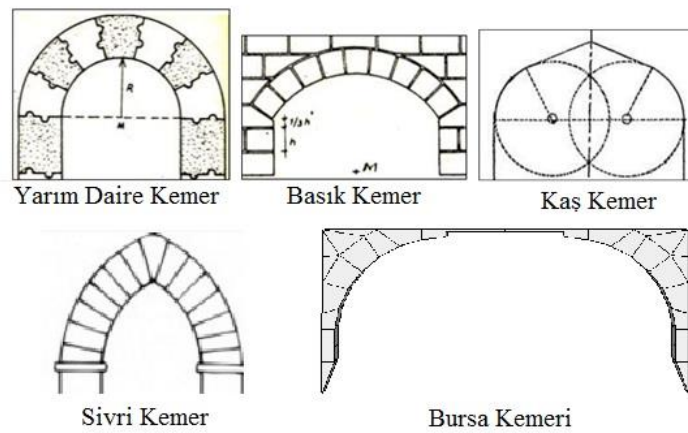


Şekil 2. 14 Kemer Detayı

Kemerler yerçekiminin etkisiyle yapıdaki taşıyıcı sistem malzemesi (tuğla, taş) ve detay malzemesinden oluşan yükler olan düşey yüklerin etkisi altındadır. Düşey yükün şiddetinin yatay yükten büyük olması sonucu, kesit içerisindeki çekme kuvvetlerinin şiddeti azalır, kemerler gelen yükleri basınca çalışan elemanlarıyla taşımaktadırlar. Kemerlerde kesit boyutlarının oldukça büyük olmasının sebebi, taş veya tuğla kemerlerin kendi ağırlıklarının, kemerin stabilitesine sağladığı avantajdır. Kemerin herhangi bir noktasında oluşacak çekme kuvveti; zaten çekme kuvvetlerine karşı çok zayıf olan taş veya tuğlanın çatlamasına sebep olacaktır.

Çatlakların az veya birden fazla olması her zaman kemerin stabilitesinin bozulmasına neden olmayabilir. Kemerlerin stabilitesinin bozulmasına neden olan en büyük etken, mesnetlerin açıklık yönünde açılmasıdır. Bu yüzden, pek çok tarihi yapının taş, tuğla kemerlerinde ahşap veya metal gergi çubuğu kullanılmıştır. Gergi çubukları iki ayak, bir ayak bir duvar veya iki duvar arasında kullanılmıştır. Taşıyıcı öğeler üzerine, üst örtününüzengi seviyesinde veya hemen altında bulunan taşta oyulmuş yuva ya da duvar içerisine bırakılmış boşluklara mesnetlendirilmişlerdir. Bu gergi çubuklarının bir başka özelliği ise de, ayakların kemer etkisinden etkilenmesini önlemektir. Gergi ile bağlanması istenmeyen durumlarda, duvarlara payandalarla desteklenmiş ayaklar uzatılarak, eksenleri doğrultusunda, kemer mesnetleri üzerine ağırlık kütleleri asılmıştır [26].

Kemerler, oluşturdukları eğrinin formuna göre, çeşitli tiplere ayrılırlar Şekil 2. 15'te kemer çeşitleri gösterilmiştir.

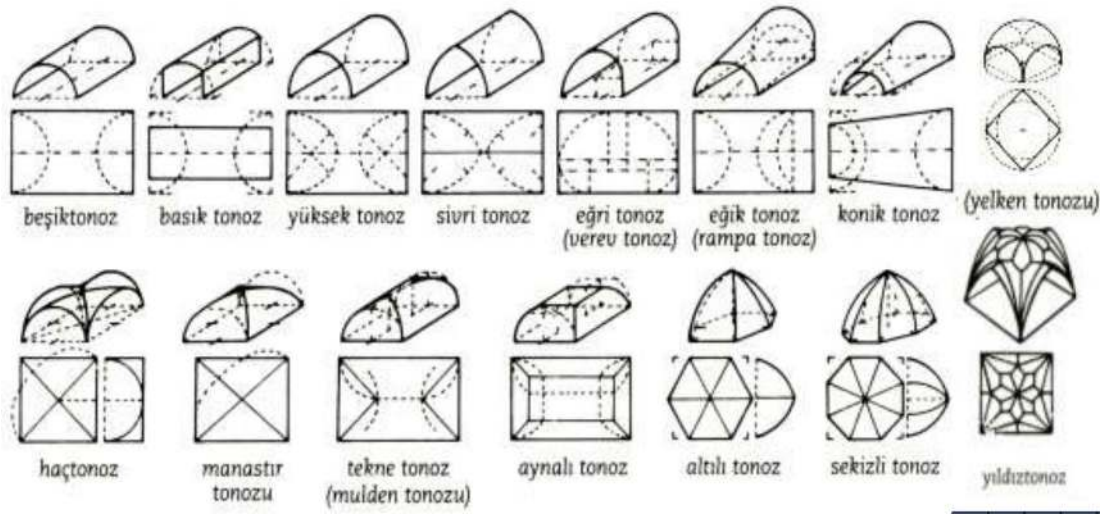


Şekil 2. 15 Kemer Çeşitleri

2.2.6 Tonz

Tonz, bir kemerin kendi düzleminde, dik doğrultusunda ötelenmesi sonucu meydana gelen; yükleri, kemerlerin yük taşıma prensibi ilkesine göre taşıyan, aynı zamanda da kabuk özelliği gösteren tek eğrilikli yapı elemanıdır. Tonzlarda, basınç kuvvetlerinden ötürü basınç gerilmeleri oluşur. [26]

Tarihi yapılarda, örttüğü mekânın geometrik biçimine, işlevine ve kesitini oluşturan eğrinin formuna göre çok çeşitli tonoz örnekleri geliştirilmiş ve uygulanmıştır (Şekil 2. 16).



Şekil 2. 16 Tonz Çeşitleri [27]

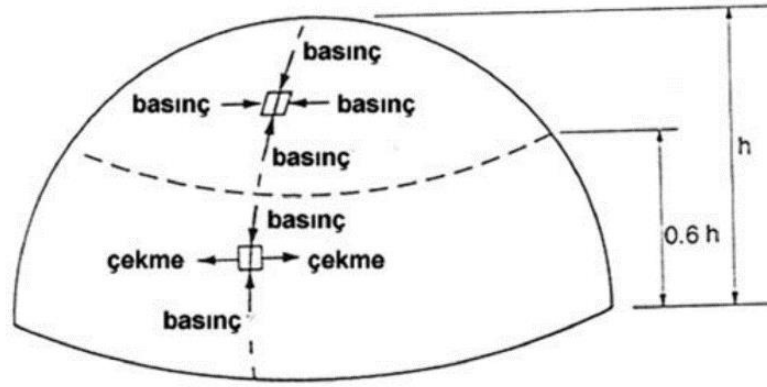
2.2.7 Kubbeler

“Kubbeler tarihte büyük mekânları örten yapılar olarak inşa edilmişlerdir. Kubbe, kemerin kendi eksenini etrafında 360 derece dönmesiyle oluşmaktadır. Duvarlar gibi kubbelerde basınç altında mukavemet göstermektedirler. Kubbelerin en önemli sorunu dairesel mesnetlerinde oluşan eğik mesnet kuvvetlerinin desteklenmesidir. Mesnetlerde, kubbeden gelen kuvvet vektörü yatayda kayma gerilmesi oluşturmakta, kasnakta ise boyuna doğrultuda çekme kuvveti meydana getirmektedir. Kubbe mesnetlerinde oluşan çekme ve kayma gerilmeleri nedeniyle, kubbenin dairesel bir mesnede oturması ve mesnedinde çekme elemanları ile kuşaklanması gerekmektedir. Kasnakta çekme kuvvetinin varoluşu sünme problemine neden olmaktadır. Kasnaklar

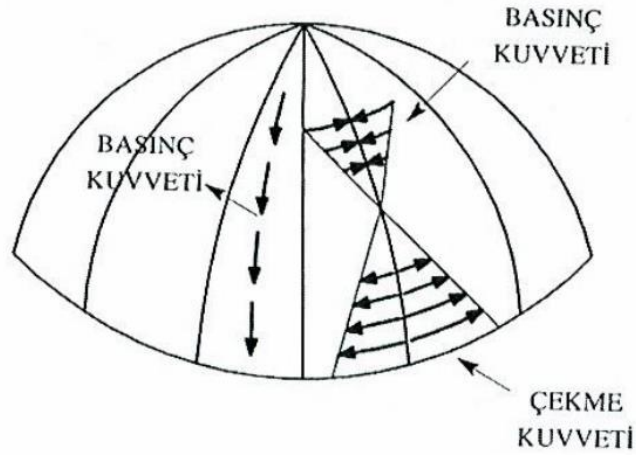
yapı olarak çok kararsız elemanlardır. Kararsız durumda olan kubbenin yatay yük taşıma özelliği zayıf olan duvara oturması yapıyı daha kararsız yapmaktadır” [16].

“Kubbe yüksekliğinin dairesel çapa oranına basıklık denmektedir. Basıklık ($b=h/2r$)’dir. Basıklık oranı azaldıkça mesnet kuvvet vektörünün düşeyle yaptığı açı artmakta, yatay yük değeri büyümektedir. Basıklık arttıkça kubbe yükü artmakta mesnet kuvvet vektörünün düşeyle yaptığı açı azalmakta, yatay mesnet yük değeri küçülmektedir” [28].

Şekil 2. 17’de kubbenin çekme ve basınç bölgeleri, Şekil 2. 18’de ise kubbedeki yük taşıma mekanizması verilmiştir.



Şekil 2. 17 Kubbede Çekme ve Basınç Bölgeleri [28]



Şekil 2. 18 Kubbelerde Yük Taşıma Mekanizması [28]

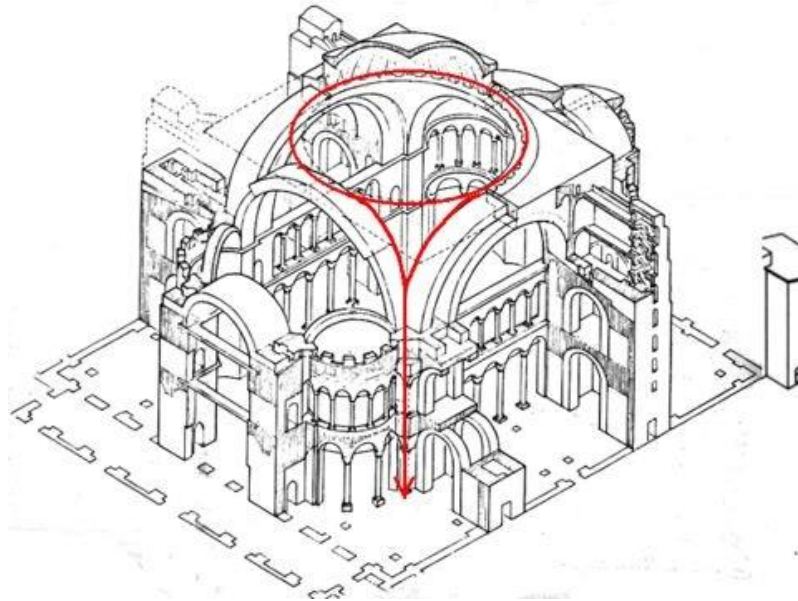
Kubbeler uzaysal yapı parçaları olduğu için kare veya dikdörtgen yapıların çatı örtüsü olma durumlarında deprem tesirleri altında farklı ivme ve frekanslara sahip olmaktadır. Kubbeler büyük kütleli eleman olarak oturdukları alt yapının deprem davranışlarını etkilerler bu yüzden kubbeden kare alt yapıya geçiş, tromp, pendentif veya Türk üçgeni gibi yardımcı geçiş elemanları ile yapılmıştır [25].

2.2.7.1 Tonoz Bingi (Tromp)

“Kare tabana oturan kubbenin, kare tabanın köşelerinde açıkta kalan kubbe çemberinin doldurulması amacıyla köşelere atılan çaprazvari baş kemerlerin çeyrek kubbelerle kare taban köşelerine birleştirilmesinden meydana gelen geçiş elemanıdır. Kubbe çapı büyük değilse tromp mesnet yüklerinden fazla etkilenmemektedir” [16].

2.2.7.2 Küresel Bingi (Pendantif)

“Kare tabana oturan kubbe kasnağının açıkta kalan köşe kısımlarının, kubbe devamı gibi üçgenvari küre parçaları ile doldurulması sonucunda oluşan geçiş elemanıdır” (Şekil 2.19) [16].



Şekil 2. 19 Pendentif Detayı [29]

2.2.7.3 Türk Üçgeni

“Poligon oluşturulmuş kubbe kasnağının kare yapıya oturtulurken, kasnakla kare taban arasında kalan boşlukları doldurmak için kullanılan geçiş elemanıdır. Çokgen olan

kasnağın kare taban köşesine isabet eden parçalarının her biri bir üçgenin taban kenarı olacak şekilde, üçgenin tepesi kare taban köşesine gelecek biçimde duvarların örülmesiyle Türk üçgeni oluşmaktadır. Önemli bir mimari form olarak, kare planlı minare kaidesinden çokgen ya da daire planlı minare gövde kesitine geçişte, sütun başlıklarında ve iç mekanlarda süsleme amacıyla çeşitli elemanlarda görülebilir. Geçiş yapılan elemanların ölçeği küçüldükçe üçgenlerin boyutları da azaldığından, Türk üçgeni genellikle tuğla gibi kırılarak şekillendirilmesi kolay olan malzemelerden yapılır” [16].

2.2.7.4 Mukarnas

“Mukarnas, küçük prizmalar şeklinde birbiri üzerinde oturan, düşey bir yüzeyden üzerinde bulunan daha taşkın bir yüzeye geçmede kullanılan geçiş elemanıdır. Mukarnas, tek başına devam eden bir kuşak halinde kubbe geçişini sağlayabilir ya da tromp, pandantif gibi elemanlarda kullanılabilir. Kubbeye geçişin yanında, özellikle anıtsal yapı girişlerini oluşturan taç kapılarda, nişlerde, sütun başlıklarında, minarede şerefeye geçişte (Şekil 2. 20) ya da cephelerde süsleme elemanı olarak çeşitli detaylarda uygulanmıştır” [27].



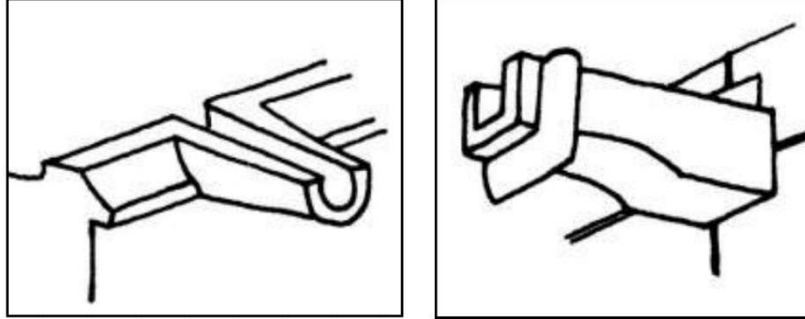
Şekil 2. 20 Mukarnas (Ulu Camii Doğu Minare)

2.2.8 Diğer Elemanlar

2.2.8.1 Çörtenler

“Üst örtüye gelen yağmur ve kar sularını yapının duvarlarından uzaklaştırmak için dışarı doğru uzanacak şekilde yapılmış olan oluklara “çörten” denir (Şekil 2. 21). Taş

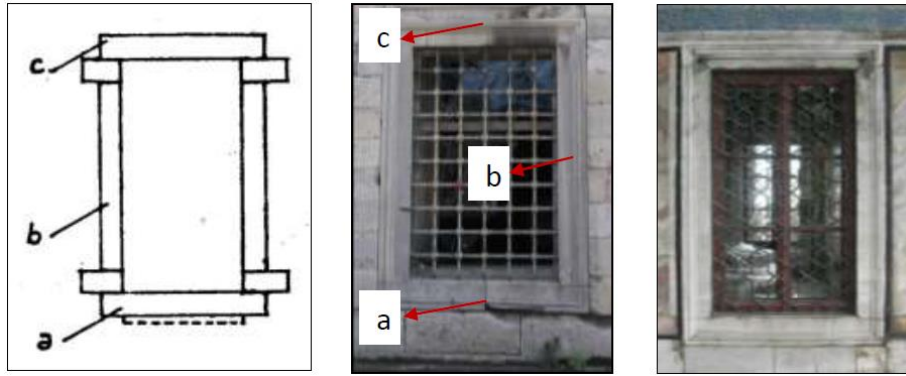
çörttenler, duvar örülürken yerleştirilir ve çeşitli formlarda yapılarak konsol teşkil ederler. Kurşun, vb. çatı kaplama malzemesi çörttenin içinde de devam ettirilerek taş sürekli sudan korunmuş olur” [27].



Şekil 2. 21 Çörtten Örnekleri [27]

2.2.8.2 Söve, Lento, Denizlik ve Eşikler

“Pencere ve kapı açıklıklarının iki yanına düşey olarak yerleştirilen mimari elemanlara “söve”; bu boşluğun üzerindeki duvar yüklerini taşımak için yerleştirilen yatay atkı yada kirişe ise “lento” ya da “başlık” denir. Bu açıklıkların alt sınırını ise; pencerelerde “denizlik”, kapılarda “eşik” işlevi gören elemanlar oluşturur” (Şekil 2. 22) [27].

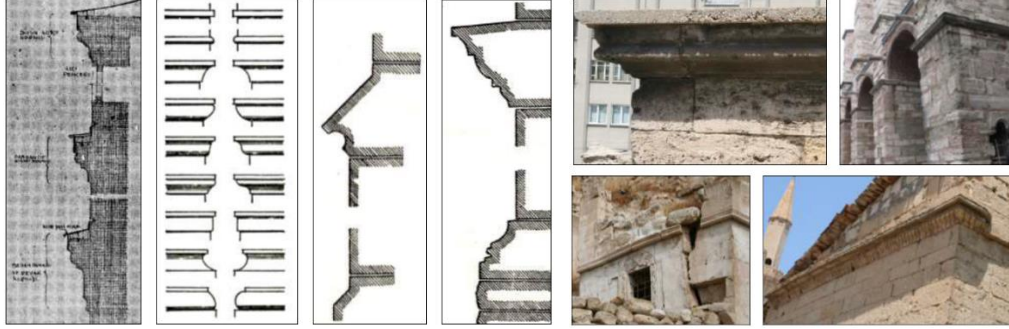


Şekil 2. 22 Taş pencere açıklığını çevreleyen elemanlar
(a. Denizlik, b. Söve, c. Lento/Başlık) [27]

“Taşlar, tek parça (yekpare, mono blok) halinde kesilip işlenerek hazırlanır ve pencere/kapı boşluğunu dört yandan çevreleyecek biçimde monte edilirler. Söve, lento ve denizliklerin üzerinde, yapının ait olduğu mimari döneme ve üslubuna göre çeşitli profiller işlenmiş olabilir. Profillerin zenginliği, tarihi yapının cephe estetiğinde önemli ve belirleyici yer tutar” [27].

2.2.8.3 Silmeler

“İç ve dış cephelerde yapı boyunca yatay olarak ya da vurgulanmak istenen bir mimari elemanı çevrelemede kullanılan elemanlara “silme” ya da “korniş” denir. Süslemenin yanında, birleşim detaylarını gizleme ve estetik bir bitiş sağlama gibi amaçlarla da kullanılır. Dış cephelere yapılan kat silmeleri, cepheye gelen yağmur suyunu dışarı doğru yöneltme işlevini de üstlenirler” (Şekil 2.23) [27].



Şekil 2. 23 Silme profilleri ve silme örnekleri [27]

2.2.9 Minare Detayı

Temel; Zemin içerisinde kalan ve kürsünün ankastre bağlandığı, üst yapıdan gelen etkileri zemine aktaran minare öğesidir. Cami temeline bitişik veya münferit radye olarak inşa edilir. Zeminin uygun olması durumunda radye temelin dışında ayaklı depolardakine benzer şekilde dairesel sürekli temel sistemi de kullanılabilir.

Kürsü (kaide); Minarenin cami ana kitlesiyle bağlantısının kurulduğu, gövdeden gelen kesit etkilerini temele ileten, prizmatik biçimli en alt bölümüdür. Minarenin giriş kapısı genellikle burada yer almaktadır. Genelde kare kesitli geometriye sahip kaideler, çokgen ve dairesel olarak ta tasarlanmıştır.

Geçiş elemanı (Pabuç, küp); Minarenin bu öğesi, boyutları ve geometrisi birbirinden farklı olan kaide ve gövde arasında, akıcı ve kesintisiz bir geçişi sağlamak amacıyla yapılmaktadır. Dolayısıyla bunların geometrik şekilleri, kaidenin ve gövdenin şekline göre farklılık göstermektedir.

Gövde; minarenin yükselen ana bölümüdür. Kare, çokgen ve silindirik formda, yükseldikçe daralan ve yükseklik boyunca sabit kesitli olan minare gövdeleri

bulunmaktadır. Selçuklular döneminde yükseldikçe kesiti küçülen minareler görölse de, daha sonraları çoğunlukla yükseldikçe daralmayan gövdeler tercih edilmiştir.

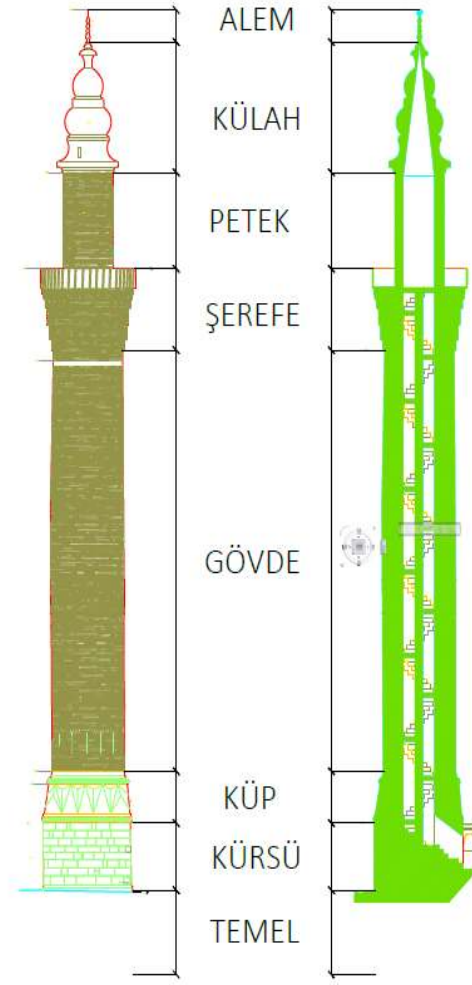
Şerefe; daha önceleri müezzinin yüksekten ezan okuyabilmesi amacıyla yapılan, küçük balkon şeklindeki minare öğesidir. Günümüzde ise ezanlar genellikle merkezi sistemle hoparlör kullanılarak okunduğundan bu öğelerin daha çok estetik yönü ön plana çıkmaktadır. Petek: Son şerefe ile külah arasında kalan minare öğesidir. Bu kısım genellikle gövdeye benzer özellikler göstermekle birlikte, merdivenin en üst şerefede bitmesinden dolayı sadece dış duvardan oluşmaktadır.

Külah; gövdeyi örten koni biçimindeki minarenin bu ögesi, önceleri ahşap iskeletli ve kurşun kaplı çatı olarak düşünülmüştür. Dolayısıyla bu tür çatıların kullanıldığı minarelerde külah, taşıyıcı sistem olarak petekten farklı taşıyıcılık özelliklerine sahiptir. Ancak günümüzde inşa edilen betonarme minarelerde bu kısım peteğin devamı şeklinde, yine betonarme olarak inşa edilmektedir. Dolayısıyla petekle ayrı değil birlikte, taşıyıcı sistemin bir parçası olmaktadır.

Merdiven; minareye çıkabilmek amacıyla iç kısımda inşa edilen minare elemanıdır. Minare malzemesine bağlı olarak ahşap, çelik, yığma ya da betonarmeden inşa edilebilir. Merdivenin kendi taşıyıcı sistemi ve basamakların gövdeye bağlantı şekli, minarenin dış yüklere karşı genel performansını doğrudan etkilemektedir.

Alem; Minarenin sembolik içerikli ve genellikle metalden yapılmış bitiş elemanıdır.

Şekil 2. 24’de minare detayı verilmiştir.



Şekil 2. 24 Minare Detayı (Bursa Ulu Camii Doğu Minaresi)

2.3 Modelleme İlkeleri Ve İdealeştirmeler

Tarihi yapılar oldukça karmaşık bir geometriye sahiptirler. Yapının davranışının belirlenmesinde mimari detaylar sadeleştirilerek geometrik basitleştirmeler ve kabuller yapmak gerekmektedir.

Basitleştirmeler yapılırken aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir;

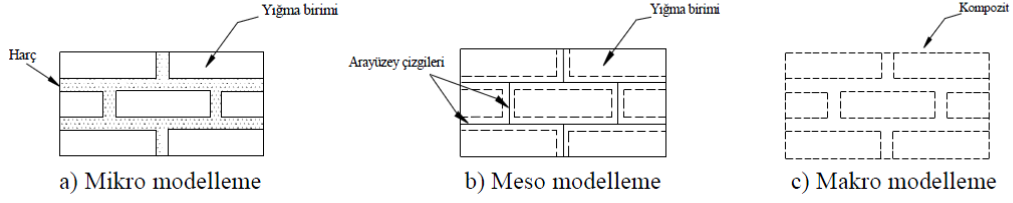
- Yapı elemanlarının gerçek konumlarını ve davranışlarını etkilemeyecek şekilde, mümkün olduğunca basit geometriler kullanılmalıdır.
- Birkaç model yapılarak, yapıyı en iyi temsil eden model seçilmelidir.
- 3 boyutlu katı modellerin karmaşıklığına karşı, 2 boyutlu modelleme tercih edilerek daha kolay ve kısa sürede analiz gerçekleştirilebilir.

“Yığma yapı malzemeleri homojen olmadığı için farklı davranışlar gösterirler. Yığma yapıların mekanik özellikleri aşağıdaki şekilde sıralanabilir;

- Mekanik davranış homojen değildir.
- Malzeme izotropik değildir, doğrultuya göre farklı davranışlar gösterir.
- Özellikle uzun vadeli yükler için çekme mukavemeti sıfır kabul edilir.
- Basınç gerilmeleri altında davranışı gevrekli (akma bölgesine sahip değildir).
- Kayma gerilmeleri altında belirli bir oranda sünek davranış görülür.
- Elemanların gerçek rijitliklerinin hesabında çatlaklar ve elemanlar arasındaki bağlar dikkate alınmalıdır.
- Mekanik davranış lineer değildir ve sıklıkla da elastik değildir” [11].

Yığma yapıların modelleme stratejileri, betonarme yapılara göre oldukça farklıdır. Bu stratejiler aşağıda özetlenmiştir [1].

- Mikro modelleme; yığma duvarı oluşturan yığma birimi ve harcın malzeme özellikleri ayrı ayrı değerlendirilir (Şekil 2-25). Bu modelleme tekniği oldukça uzun bir aşamayı kapsadığından ve malzeme parametrelerinin belirlenmesi oldukça zor olduğundan dolayı genellikle dikkate alınacak yapı sisteminin bir bölümünün çözümü için uygundur [1].
- Basitleştirilmiş mikro modelleme (Meso Modelleme) ; Şekil 2-25’te görüldüğü üzere yığma birimler harç tabakasının kalınlığının yarısı kadar genişletilerek harç tabakası ihmal edilmekte ve yığma birimler birbirlerinden ara yüzey çizgileriyle ayrılmaktadır. Sistemde meydana gelmesi muhtemel çatlakların bu ara yüzey çizgilerinde meydana geleceği kabul edilir [1].
- Makro modelleme; ise, taş, tuğla vb. birimler ve harç arasında ayırım yapmaksızın, yapı elemanını kompozit olarak kabul eden ve bu malzemelerin ortak özelliğini yansıtan eşdeğer bir malzeme modelidir (Şekil 2-25). Bu yaklaşım, büyük yapı sistemlerin modellenmesinde bilgisayar çözüm süresini önemli ölçüde azalttığından genelde tercih edilmektedir [1].



Şekil 2. 25 Yığma Yapı Modelleme Yöntemleri [1]

Yapıların statik ve dinamik yükler altındaki davranışının belirlenmesi ve yapı elemanlarının gerilme tespitinde sıkça kullanılan metod sonlu elemanlar metodudur. Zaman ve ekonomi yönünden tercih edilen bu yöntemde, çubuk, kabuk, plak, solid gibi çeşitli yapı elemanlarının modellerini bir arada kullanılabilir.

“Sonlu Elemanlar Metodu ile çalışmanın getirdiği kolaylıklar şöyle sıralanabilir;

- Eğriliği bulunan, düzgün olmayan geometrilere sahip elemanlar ve amorf yapı elemanları rahatlıkla modellenebilir.
- Elemanlar istenilen boyutta parçalara ayrılarak istenilen hassasiyette sonuçlar elde edilebilir.
- Aynı yapı elemanı içerisinde uygun bir sonlu eleman ağı kullanmak suretiyle farklı malzeme özellikleri kullanmaya imkân sağlar.
- Farklı özelliklere sahip, farklı malzemeden oluşan yapı elemanlarının birleştirilmesine imkân tanır.
- Sınır şartlarını tanımlamak ve kontrol etmek oldukça kolaydır.
- Özellikle yığma yapılar gibi birçok elemanın birbirine bağlanması yoluyla oluşturulan yapı sistemlerinin gerçek yapım tekniğine uygun bir modelleme tekniğidir.
- Eleman boyutları kullanıcı tarafından değiştirilebilir. Böylece önemli değişiklikler beklenen bölgelerde daha küçük elemanlar kullanılarak hassas işlemler yapılabilirken, aynı parçanın diğer bölgeleri büyük elemanlara bölünerek işlem hızı arttırılabilir.
- Sonlu eleman metodunun çok yönlülük ve esnekliği karmaşık yapılarda, sürekli ortam, alan ve diğer problemlerde sebep sonuç ilişkilerini hesaplamak için etkin bir şekilde kullanılabilir” [9].

BURSA ULU CAMİİ VE YEŞİL CAMİİ

3.1 Bursa'nın Sismik Özellikleri

“Bursa I. Derece deprem bölgesinde yer almaktadır (Şekil 3. 1). Bursa ovası genel olarak Kuzey Anadolu Fayı'nın etkisi altındadır. Batıya doğru sıkışma sonucu kuzey-güney doğrultulu normal faylarla kuzey güney yönünde açılmaya başlamıştır. Diğer bir ifade ile doğu-batı yönlü sıkışma, kuzey-güney yönlü gerilme ile karşılanmaya başlanmıştır. Bursa ilinde yerel küçük fayların yanında, Kuzey Anadolu Fayı ile ilişkili gelişen büyük ölçekli faylar, genç birimlerin depolanmasını denetlemiştir. Bursa ovasının Neojen birimleri ve alüvyon birimlerinin altında yer alan kayalarda fay oluşumları beklenmelidir. Depreme kaynak olabilecek en önemli fay Bursa Fayı'dır. Bursa Fayı; doğuda Derekızık-Burhaniye köyleri ile batıda Uluabat gölü arasında uzanan, D-B gidişli, yaklaşık 45 km. uzunluğunda, sağ yanal ve doğrultu atımlı bir faydır. Bursa Fayı, Uluabat ve Mustafakemalpaşa Alt Fay Zonları ile birlikte, Kuzey Anadolu Fay Sisteminin Marmara bölgesindeki en güney segmentlerini oluşturur. Bursa Fayı, Uludağ Yükseliminin (2245 m.) kuzey eteğinden geçer, yer yer Triyas-Permien yaşlı metamorfikleri, Jura yaşlı karbonatları ve Miyosen yaşlı akarsu-göl tortullarını keser ve bunları Kuvaterner yaşlı alüvyonlarla tektonik dokanağa getirir. Genelde fayın kuzey bloğu, güney bloğuna oranla 2 km. kadar düşmüş olup, bu durum, Bursa fayının, önemli miktarda normal bileşeni olduğunu gösterir. Fay sarplığını kuzeye doğru akarak kat eden ve yataklarını derine kazmış olan dereler (Nilüfer çayı gibi), bu derelerin ağzında birikmiş ve gelişimini sürdüren, faya koşut dizilimli kalın (150-200 m.) alüvyon

depremleri günü, saati ve şiddeti ile birlikte kaydetmiştir. Türk tarihindeki ilk deprem merkezi olan Kandilli Rasathanesi'ni, Bursalı Gökmenzade Seyyid Hüseyin Rıfat Efendi'nin oğlu, Fatih Gökmen (1877-1955) kurmuştur. [33].

Aşağıda Çizelge 3. 1'de 1900-2008 yılları arasında Bursa civarında meydana gelen önemli depremler gösterilmiştir.

Çizelge 3. 1 Bursa civarında 1900 - 2004 Yılları Arasında Can Kaybı ve Hasara Neden Olmuş Önemli Depremler ($M_s > 5.0$) [11]

Tarih	Saat	Yer	Şiddet	Mag Ms	Can Kaybı	Hasarlı Bina
04.01.1935	16:41	Erdek (Balıkesir)	VIII	6.4	5	600
15.11.1942	19:01	Bigadiç (Balıkesir)	VIII	6.1	16	2187
06.10.1944	04:34	Ayvacak (Balıkesir)	IX	6.8	30	5500
18.09.1963	18:58	Çınarcık (İstanbul)	VIII	6.3	1	230
06.10.1964	16:31	Manyas (Balıkesir)	IX	7.0	23	5398
22.07.1967	18:56	Mudurnu (Adapazarı)	IX	6.8	89	7116
05.07.1983	15:01	Biga (Çanakkale)	VIII	6.1	3	85
17.08.1999	03:01	Gölcük (Kocaeli)	X	7.8	17480	73342

3.2 Bursa Ulu Camii

3.2.1 Tarihçe

Mülkiyeti Vakıflar Genel Müdürlüğü'ne ait olan Ulu Camii, Osmanlı Devletinin dördüncü hükümdarı olan Yıldırım Beyazıt tarafından 1396-1399 yılları arasında yapılmıştır. Niğbolu zaferi öncesinde Yıldırım Beyazıt zafer halinde yirmi cami yaptıracakını vaat etmişti. Damadı Emir Sultan'ın önerisi üzerine yirmi kubbeli bir cami

yapımına karar verilmiştir. Mimarının İvaz Paşa veya Ali Neccar olduğunu veya bir Rum usta tarafından yapıldığını söyleyenler varsa da kesin olarak bilinmemektedir [35].

“Namaz kılma alanı bakımından Türk tarihinde yapılan en büyük camidir. (Süleymaniye, Sultanahmet gibi diğer büyük camilerin büyüklüğü duvarlarla çevrili avluları ile birliktedir. Ulu Camii ise alçak tavanlı, çok kubbeli ve sütunlu olduğu için daha küçük olduğu izlenimi verir)”(Şekil 3. 2) [33].



Şekil 3. 2 Bursa Ulu Camii [34]

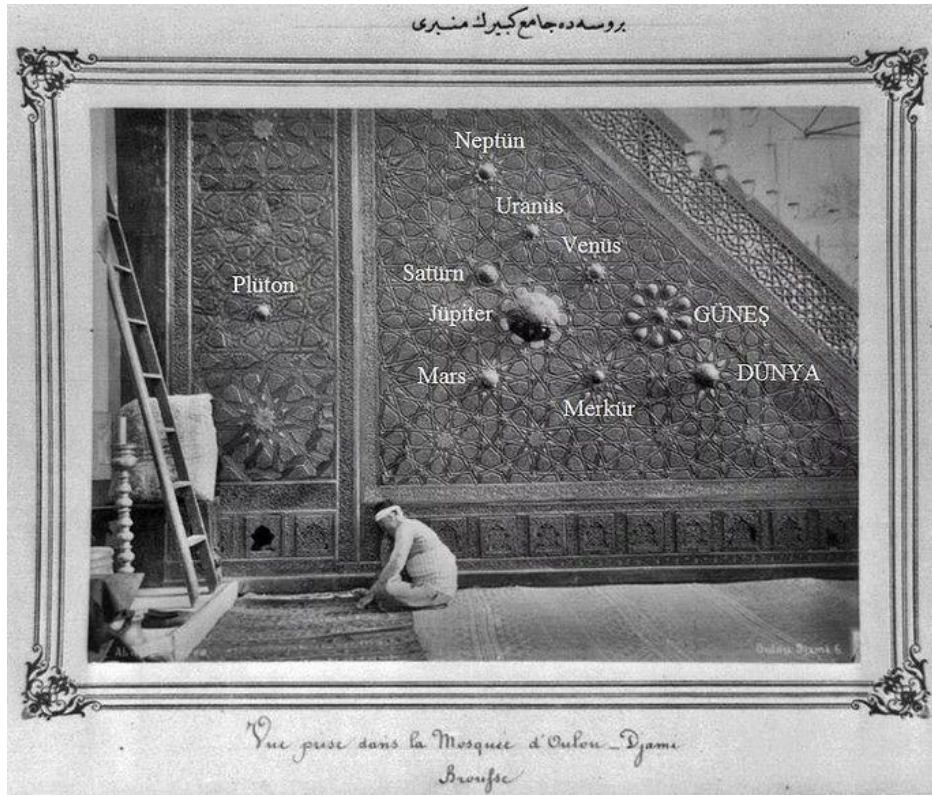
Ulu Camii içinde duvara yazılmış 87, levha halinde 105 olmak üzere toplam 192 hat mevcuttur. İçindeki şadırvan ve duvarlarında yer alan dev boyutlardaki yazılar, Ulu Cami'nin kendine özgü özellikleridir. [35].

“Ulu Camii'nin özelliklerinden birisi olan şadırvanın yapılma nedeni olarak; cami yapımı için arazi istimlak edilirken, şadırvanın bulunduğu yerdeki toprak parçasının sahibi olan hanım, arazisini satmak istememiş ve arazi zorla alınmış. Ancak daha sonra, zorla alınan yerde namaz kılınmaz düşüncesiyle o yere şadırvan yapılmıştır” (Şekil 3. 3) [33].



Şekil 3. 3 Bursa Ulu Camii Şadırvanı [34]

“Ulu Camii’nin Devaklı Abdülaziz oğlu Mehmet tarafından yapılan taş kapısı, sert ceviz ağacından hiç çivi kullanılmadan yapılmıştır. Şekil 3. 4’te gösterildiği gibi minberin doğu cephesine, ana tema olarak 9 gezegeni ile birlikte güneş sistemi yerleştirilmiştir. Her biri küresel motifler halinde, olabildiğince ölçülü ve mukayeseli olarak durması gereken yerlere konumlandırılmıştır. Üstelik ilk 8 gezegen sağ taraftaki üçgen düzlemde birlikte, 1 gezegen ise tek başına, sol taraftaki dikdörtgen düzlemde konuşlandırılmış. O, Plüton’dur. Günümüz bilimsel verilerine göre de güneş sisteminde ilk sekiz gezegen bir düzlemde dolanır. Plüton ise, tek başına farklı açıyla, farklı bir düzlemde dolanmaktadır. Üç boyutu düzlem üzerine çizerek oturtmak oldukça zordur. Devaklı Abdülaziz oğlu Mehmet, zoru başarıp buradaki gök cisimlerini oraya, büyüklük ve güneşe uzaklık mukayeselerini yaparak yerleştirmiştir. Güneş sisteminin arka alanına yıldızlar, ara detaylarına da kuyruklu yıldızlar serpiştirilmiş. Minberin batı cephesinde ise evrenin galaksi düzeni yerleştirilmiştir. Minberin alt eşiklerine (taşıyıcı kısma), boydan boya ve sıralı olarak, doğu tarafına 3+12, batı tarafına da 3+12 adet, kapı motifleri yerleştirilmiştir. Minbere yapılan bu kapı motiflerinin ana temaları aynı, detayları farklıdır, 24 Türk boyunu tanımlamaktadırlar” [33].



Şekil 3. 4 Ulu Camii Minberi [35]

3.2.2 Coğrafi Konumu

Bursa İli, Osmangazi İlçesi Şehreküstü Mah. Atatürk Cad. Cami Sokak adresinde, E.30 pafta, 365 ada, 1 parsel üzerinde bulunmaktadır. Şekil 3. 5'te Ulu Camii'nin de bulunduğu hanlar bölgesinin havadan görüntüsü verilmiştir.

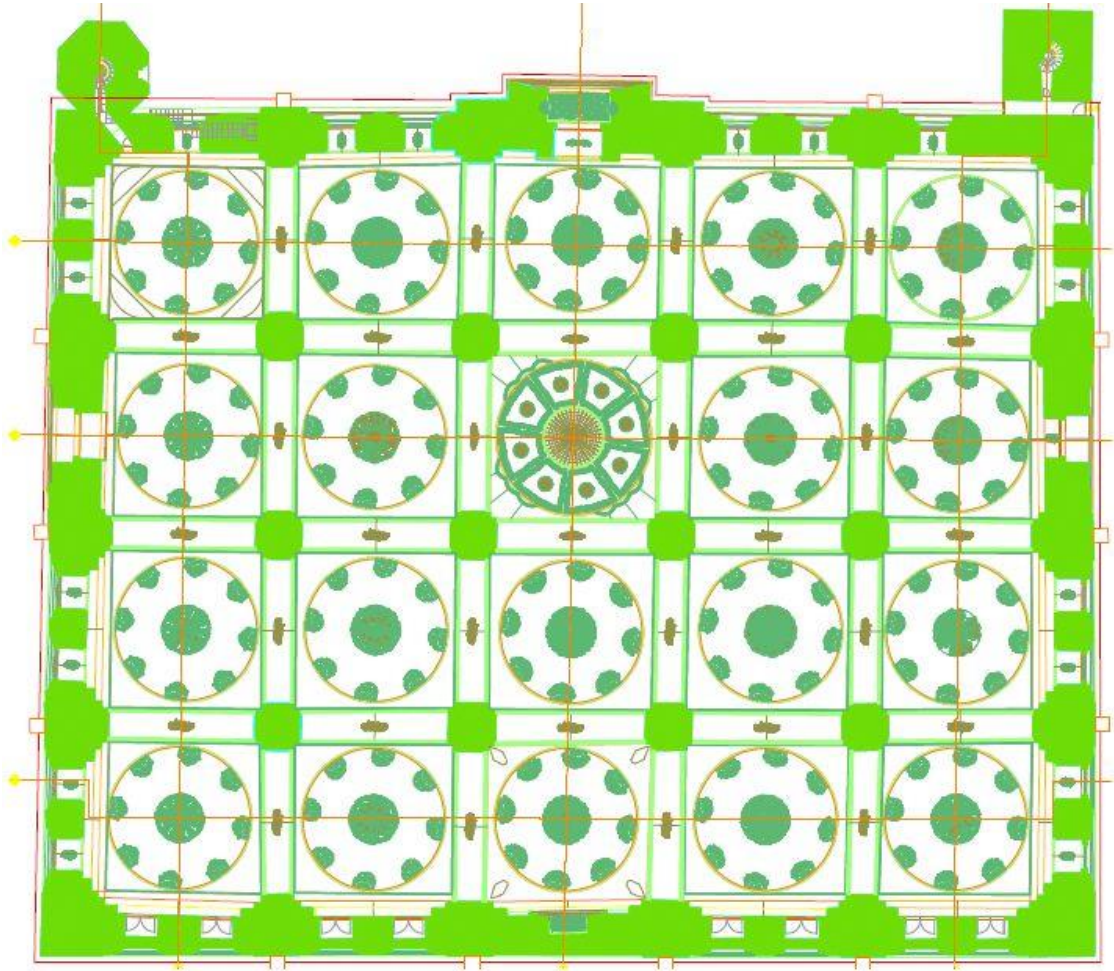


Şekil 3. 5 Bursa hanlar bölgesi [36]

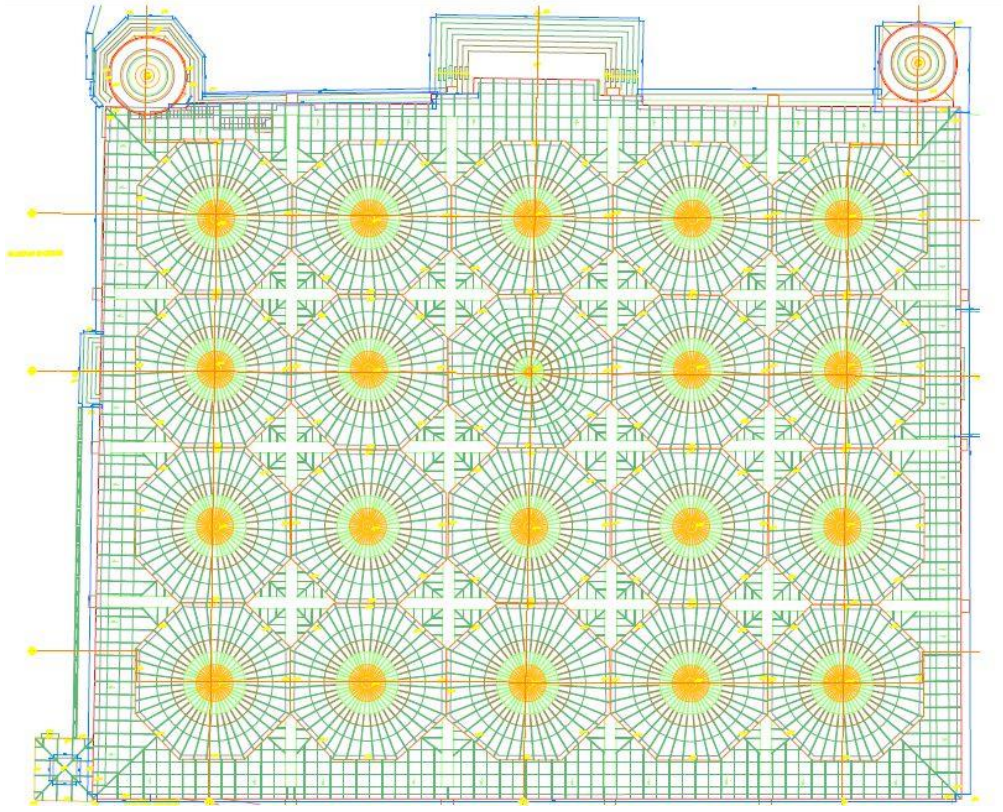
3.2.3 Mimari Özellikleri ve Röleve Görüntüleri

20 kubbeli olan Ulu Camii'nin kapladığı alan da büyüktür. Yaklaşık olarak 55 metre x 69 metre ölçülerinde dikdörtgen bir planı olan cami 3.795 m²'lik bir alana sahiptir. Caminin cemaat kapasitesi, 7-8 bin civarındadır [37].

Şekil 3. 6, Şekil 3. 7'de caminin plan ve üst görünüşünün, Şekil 3. 8, Şekil 3. 9'da kesitleri, Şekil 3. 10'da kuzey cephesi, Şekil 3. 11'de güney cephesi, Şekil 3. 12'de batı cephesi, Şekil 3. 13'de doğu cephesinin röleve görüntüleri verilmiştir. Şekil 3. 14 ve Şekil 3. 15'te sırasıyla doğu ve batı minarelerin planı ve Şekil 3. 16'da ise minarelerin cephe kesitlerinin röleve görüntüleri verilmiştir.



Şekil 3. 6 Bursa Ulu Camii Röleve Görüntüsü [38]



Şekil 3. 7 Bursa Ulu Camii Röleve Görüntüsü [38]



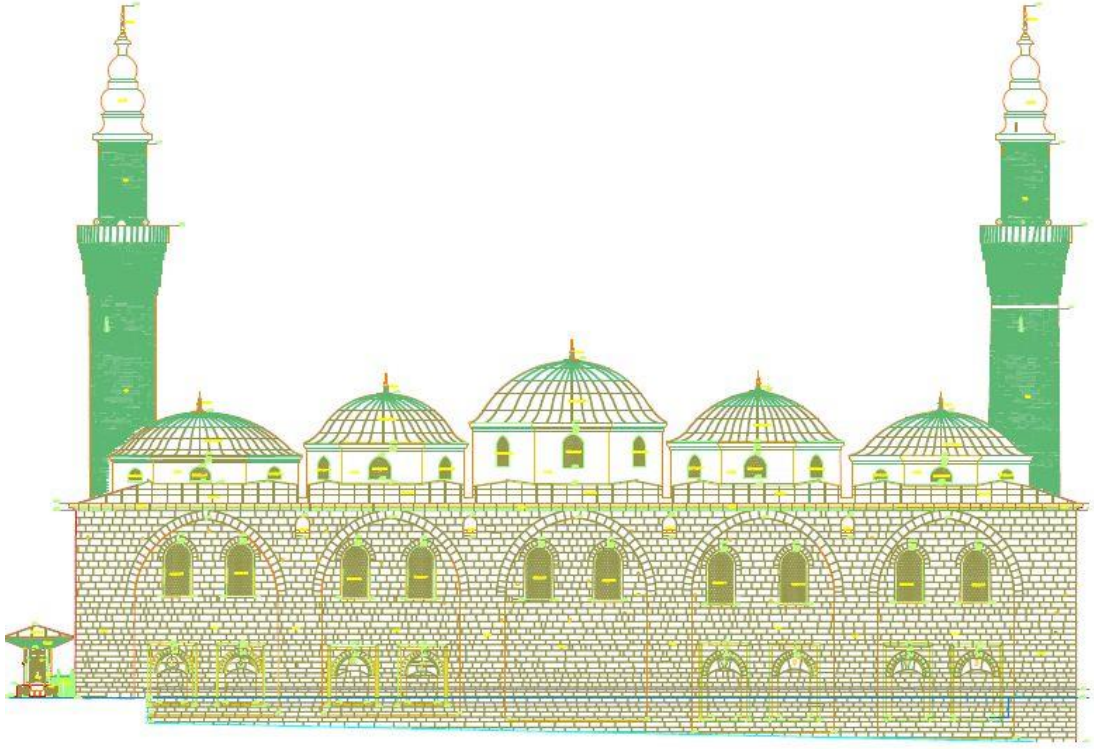
Şekil 3. 8 Bursa Ulu Camii Röleve Görüntüsü [38]



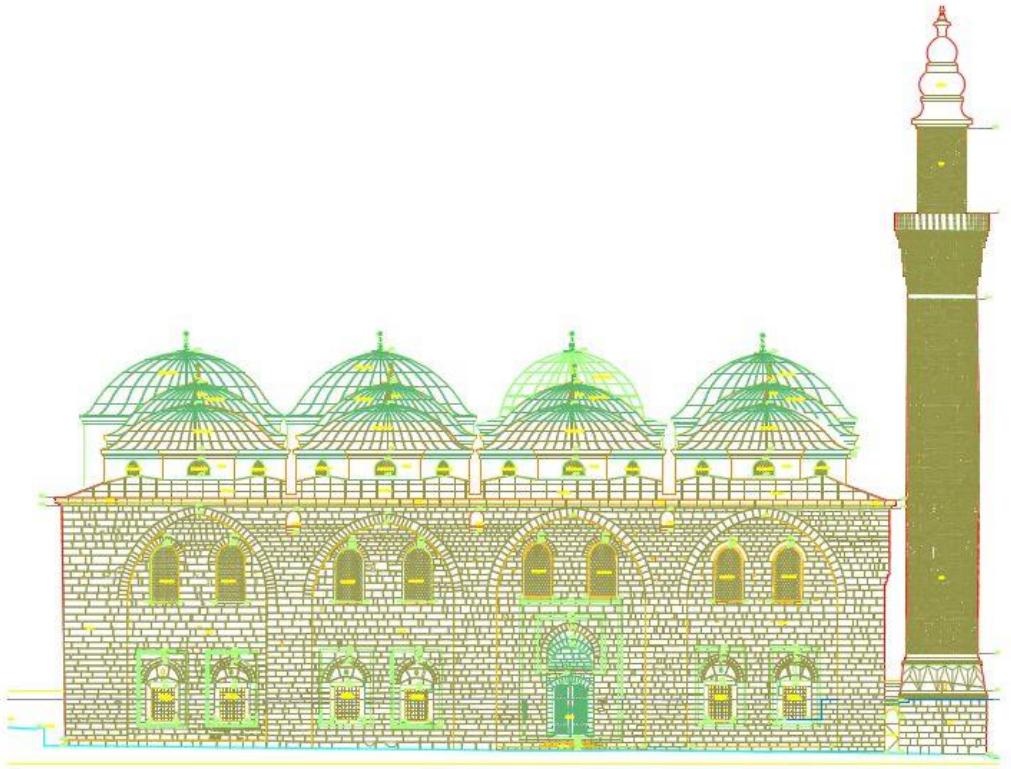
Şekil 3. 9 Bursa Ulu Camii Röleve Görüntüsü [38]



Şekil 3. 10 Kuzey Cephesi Röleve Görüntüsü [38]



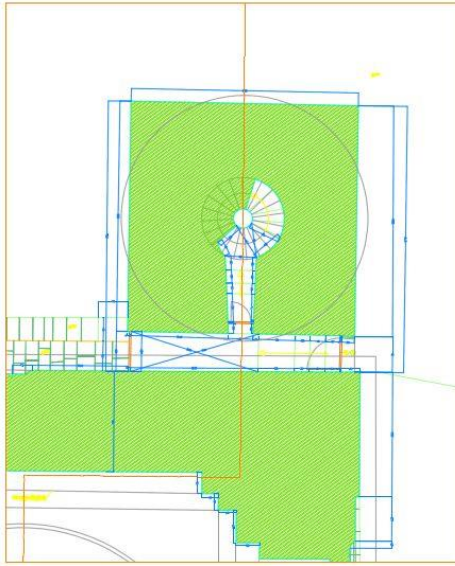
Şekil 3. 11 Güney Cephesi Röleve Görüntüsü [38]



Şekil 3. 12 Batı Cephesi Röleve Görüntüsü [38]



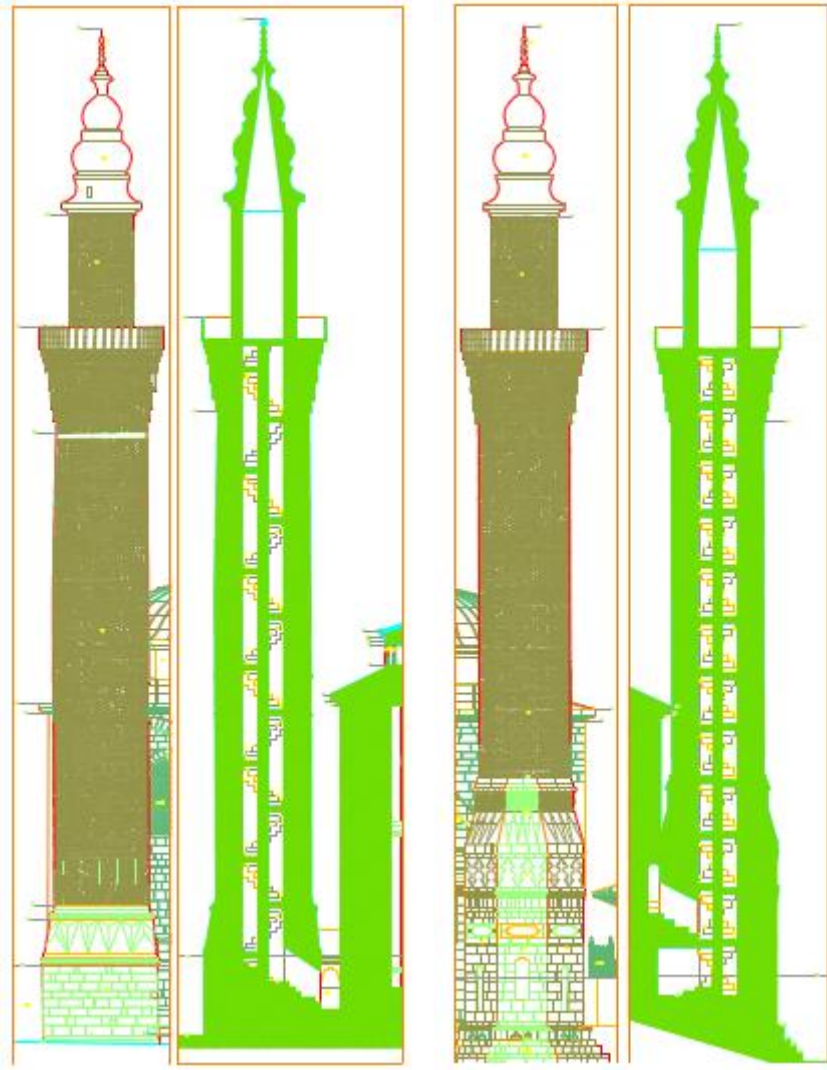
Şekil 3. 13 Doğu Cephesi Röleve Görüntüsü [38]



Şekil 3. 14 Doğu Minare Planı [38]



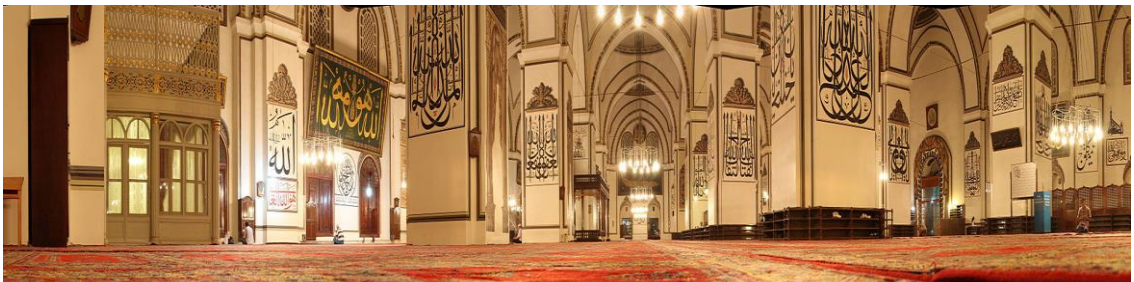
Şekil 3. 15 Batı Minare Planı [38]



Şekil 3. 16 Doğu ve Batı Minare Cephe ve Kesit Görüntüleri [38]

3.2.3.1 Kubbeleri

Kalın duvarlara ve birbirine sivri kemerlerle bağlanan, Şekil 3. 17’de gösterildiği gibi on iki adet büyük yığma fil ayağına (Şekil 3. 17), pandantiflerle geçişin sağlandığı yirmi kubbe eşit büyüklükte, ancak farklı yükseklikte.



Şekil 3. 17 Ulu Camii İç Görüntüsü [39]

Dışarıdan sekizgen kasnaklar üzerine oturan kubbelerin mihrap eksenli üzerindeki yüksek olup, iç mekândan fark edilmeyecek şekilde Şekil 3. 18 ve Şekil 3. 19’da görüldüğü gibi doğuya ve batıya doğru yükseklikleri kademeli olarak alçalmaktadır. Kubbe yükseklikleri küçükten büyüğe doğru sırasıyla yaklaşık olarak 3 metre, 3,50 metre ve 4,30 metredir. Kubbe yükseklikleri orta kubbeden doğu ve batı yönüne doğru gidildikçe azalmaktadır. Orta kubbelerin kotu yaklaşık olarak +23.15 metre olup doğu batı yönüne doğru gidildikçe +21.15 metre ve +19.72 metre olarak azalmaktadır.



Şekil 3. 18 Ulu Camii kubbeleri [34]

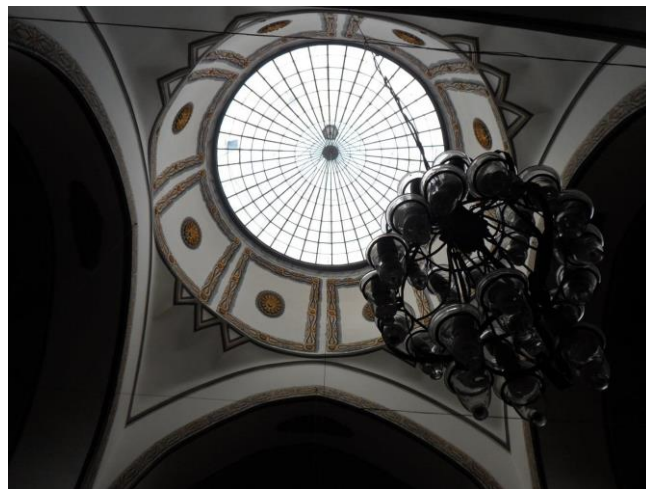


Şekil 3. 19 Ulu Camii kubbeleri

Şekil 3. 20’de Ulu Camii’nin 1855 depreminden sonraki görüntüsü verilmiştir. 1855 depreminde caminin 18 kubbesi çökmüştür. Çökmeyenlerden biri mihrabın üstündeki kubbedir. Bu sayede minber de korunmuştur. Çökmeyen diğer kubbe ise batı minaresine bitişik olan kubbedir. Bunların ilk inşaat hâlini koruduklarına delil ise kubbe kasnakları hizasında bulunan devrinin orijinal tromplar (köşe tonozları)’dır. Bu kubbelerde dört köşeden kubbe yuvarlağına geçişte, köşelerdeki şekillere dikkat edilirse, bu iki kubbenin diğerlerinden farklı olduğu anlaşılır. Bunlardan hariç bir de şadırvanın üstündeki camekânlı kubbenin köşelikleri orijinaldir (Şekil 3. 21). Mihrap üstündeki pandantifte; Mevlevî sikkesine benzer, alt ucu sarkmalı bir çökertme, şadırvan üstündekinde; üçer sarkma köşelik, kuzeybatı köşesindeki kubbede kısmen pandantifi de taşan kürevî köşelik mevcuttur [33].



Şekil 3. 20 Ulu Camii’nin 1855 depreminde gördüğü hasar [40]



Şekil 3. 21 Ulu Camii Orta Kubbe

3.2.3.2 Duvarları

Caminin duvarları çok kalındır. Kalınlık en az iki metre olup bazı yerlerde kalınlık daha da artar. Her dört cephenin muhtelif yerlerinde kalınlıklar değişmektedir. Kalın taş duvarları, caminin yazın serin kışın da sıcak olmasını sağlar [33].

“Duvarlarda tamamen kesme köfeki (işlenmesi kolay, zamanla sertleşen bir çeşit taş) taşlar kullanılmıştır. Taşlar bal rengi, inci rengi, pembe, turuncu ve açık kahverengi olmak üzere ayrı ayrı renklerde dir” [37].

Şekil 3. 22’de görüldüğü gibi “1855 depreminden sonra cami kalın bir sıva tabakası ile örülmüş ve beyaz badana ile boyanmıştır. Çelebi Mehmed döneminden 1950'lere kadar kalın bir beyaz sıva tabakasının ardına gizlenen Ulu Camii, 1950'li yıllarda caminin cephelerinin yenilenmesi gerçeğine o kadar uygun yapılmış ki, renk, ahenk ve genel görünüş bakımından, hiçbir uyumsuzluk yoktur” [37].



Şekil 3. 22 Ulu Camii’nin beyaz sıvalı görüntüsü [41]

“Üç dönümden fazla bir arazi üzerinde yükselen bu büyük binayı, yeknesak görüntüden kurtarmak için cepheler, plastrlar (gömme ayak) ve sağır sivri kemerlerle taksim

edilerek, gölge ve hareket temin edilmiş, bunların ortasına ikişer pencere yerleştirilmiştir” [37].

3.2.3.3 Minareleri

Ulu Camii'nin kuzey köşelerinde birer şerefeli iki tane yüksek minaresi vardır. Ulu Camii'nin ihtişamına denk bu minareler, Bursa'nın hemen her yerinden görülebilmektedir. Minare yükseklikleri doğu ve batı için aynı olup, alem tepe noktasının kotu 47,90 metredir.



Şekil 3. 23 Ulu Camii Minare Görüntüsü

Minareler, cami yapısı gibi harçsız olduğu hâlde günümüze kadar gelebilmiştir. Şekil 3. 24'te görüldüğü gibi camiye bitişik olan batı minaresinin kaidesi mermer olup, gövdesi tuğladandır. Şerefeleri altı sıra skalaktitten (iç bir kısımdan üstte bulunan çıkıntıya geçerken kullanılan basamaklar) oluşur. Şekil 3. 24'te görülen batıdaki minareyi Yıldırım Bayezid Han, cami ile birlikte yaptırmıştır. Bu minarenin özelliği dışarıdan ve içeriden iki ayrı merdiven ile minareye çıkılabilir olmasıdır (Şekil 3. 25). Bu çift yol belki de Mimar Sinan'ın Selimiye Camii'nin minarelerinde uyguladığı üç yollu merdivene ilham olmuştur. Bu minarenin ortasından açılmış bir kapı vardır. Bu kapıdan sonra gelen merdiven ile kubbelerin üstüne çıkılabilmektedir [37].



Şekil 3. 24 Ulu Camii Batı ve Doğu Minareleri



Şekil 3. 25 Batı Minare Merdivenleri

Doğu minaresini Fetret Devri'nden (1413) sonra Çelebi Mehmed yaptırmıştır. Doğu minaresi camiden 1 metre ayrıık olarak tek merdivenli yapılmıştır [33].

“Minarelerin külahları vaktiyle ahşap ve üstü kurşun örtülü iken 1889 da çıkan büyük yangında bu külahlar yanınca yerine bugünkü kagir (taş ve tuğladan yapıma) boğumlu külahlar yapılmıştır” [37].

3.2.3.4 Kapıları

“Ulu Camii'nin üç cephesinde 1960 öncesi dört kapısı bulunuyordu. Fakat 1740 yılında Hünkâr mahfiline açılan güneydoğu köşesindeki kapı, 1950'li yıllarda pencereye dönüştürölerek kapatılmıştır. Dışarıdan caminin doğu cephesinin güney köşesindeki pencerelere dikkat edilirse, burasının daha önce bir kapı yeri olduğu anlaşılır. Caminin kuzey, doğu ve batıda olmak üzere üç büyük kapısı vardır. Batı ve kuzey girişlerinin tahta kapıları yakın zamanda yapılmıştır. Doğu kapısı ise cami ile aynı döneme ait olup büyük bir kıymete sahiptir. Çift kanatlı bu büyük kapının kanatları üzerinde oymalı ve geçmeli şekiller vardır. Bu kapı abanoz ağacındandır. Üslûbu minberle aynıdır” [37].

3.2.3.5 Pencereleri ve Aydınlatılması

Camiye aydınlık, daha çok şadırvan üstündeki camekânlı kubbeden temin edilmektedir. Telle örtülü bu orta kubbeden giren yağmur damlaları havuzda toplanır, ışık ise camiye aydınlatırdı. Günümüzde kubbe camekânla kaplı olduğundan yağmur suyu toplama işlevini kaybetmiş ama aydınlatma görevi devam etmektedir [33].

Ayrıca her kubbe kasnağında açılan sekizer küçük pencere de (152 adet) büyük oranda caminin aydınlığına katkı sağlar. Cephelerde açılan pencerelerde iç mekânın aydınlatılmasına yardımcı olmaktadır. Şekil ve ölçü bakımından pencereler her cephede farklı olup bu pencerelerin söveleri (pencere kanatlarının takıldığı çerçeve) düz mermerdendir. Pencere alınlıklarında nefeslik denilen küçük açıklıklar bulunmaktadır. Caminin aydınlatılması, önceleri çok sayıda kandil yakılarak sağlanmışır. Yakın zamana kadar caminin kible duvarı hizasında birçok şamdanın mevcudiyeti bilinmektedir. Fakat şimdi mihrap yanında iki, minberin sağında bir tane olmak üzere sadece üç adet

şamdan kalmıştır. Aydınlatma işlevi günümüzde büyük daire biçimindeki demir avizelere yerleştirilmiş ampullerle yapılmaktadır [33].

3.3 Bursa Yeşil Camii

3.3.1 Tarihçesi

Yeşil Sementi'nde bulunan cami, 1419 yılında Yıldırım Beyazıt'ın oğlu Çelebi Mehmet tarafından yaptırılmıştır. Mülkiyeti Vakıflar Genel Müdürlüğü'ne aittir. Şekil 3. 26 ve Şekil 3. 27'de Yeşil semtinin görüntüsü verilmiştir.

Mimarı Hacı İvaz Paşa'dır. Caminin yazıtlarına göre, yapının bitirildiği tarih Aralık 1419, süslemelerin tamamlandığı tarih ise 1424'dür.



Şekil 3. 26 Bursa Yeşil Camii ve Yeşil Türbe görüntüsü [42]



Şekil 3. 27 Bursa Yeşil Camii [41]

3.3.2 Mevcut Durum ve Yapısal Özellikleri

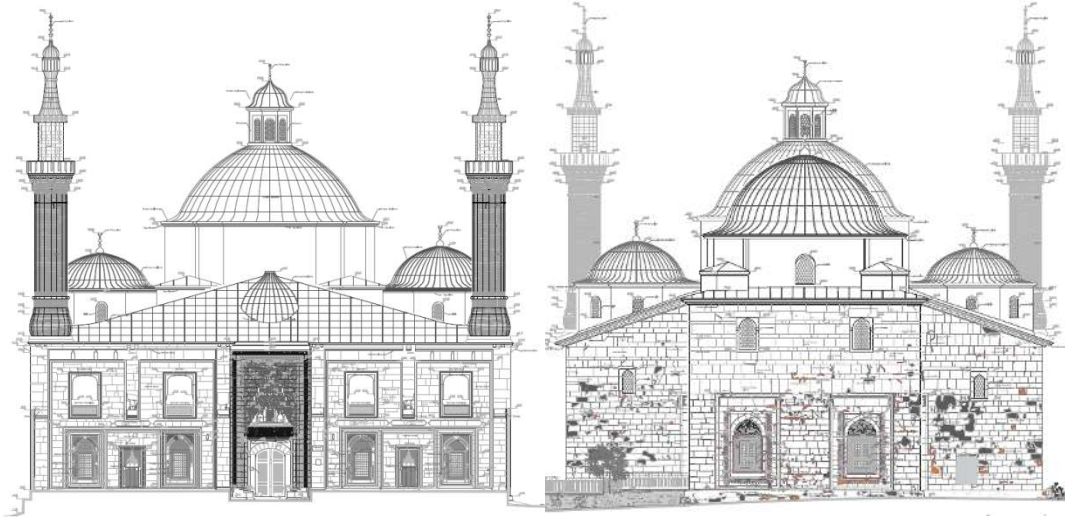
“Cami Yeşil Külliyesi içinde yer alır. Kanatlı camiler (Ters T) grubunun en seçkin örneklerindendir (Şekil 3. 28). (Bazı kaynaklarda buna Zaviyeli Camiler ya da Bursa tipi de denebilir). Planı bakımından kendisinden önceki Yıldırım Camii’ni andırır. Son cemaat yeri bulunmamakla birlikte, kuzey cephedeki kemer üzengileri, beş bölmeli bir son cemaat yerinin planlandığı, ancak Çelebi Mehmet’in ani ölümü üzerine yapılamadan kaldığını söyleyen yazarlar vardır. İsmi bir zamanlar minarelerinde bulunan yeşil ağırlıklı çini süslemelerinden aldığı muhtemeldir. 1640 yılında Bursa’ya gelen Evliya Çelebi, Seyahatnamesinde, caminin minaresi gibi kubbelerinin de yeşil çinilerle kaplı olduğunu yazmaktadır” [42].



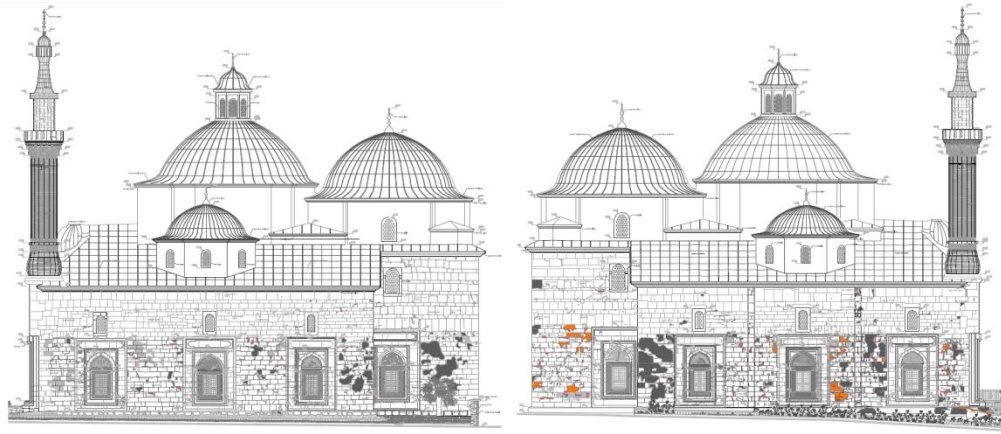
Şekil 3. 28 Bursa Yeşil Camii [43]

Beden duvarları düzgün kesme taş kullanılarak örülmüştür. Caminin kanatlarındaki odalar çok çeşitli amaçlar için kullanılmıştır. Hatta bu bölümlerde ocaklar ve dolaplar bulunmaktadır.

Şekil 3. 29’da caminin planı, Şekil 3. 30’da kuzey ve güney cepheleri, Şekil 3. 31’de batı ve doğu cepheleri röleve görüntüleri verilmiştir.

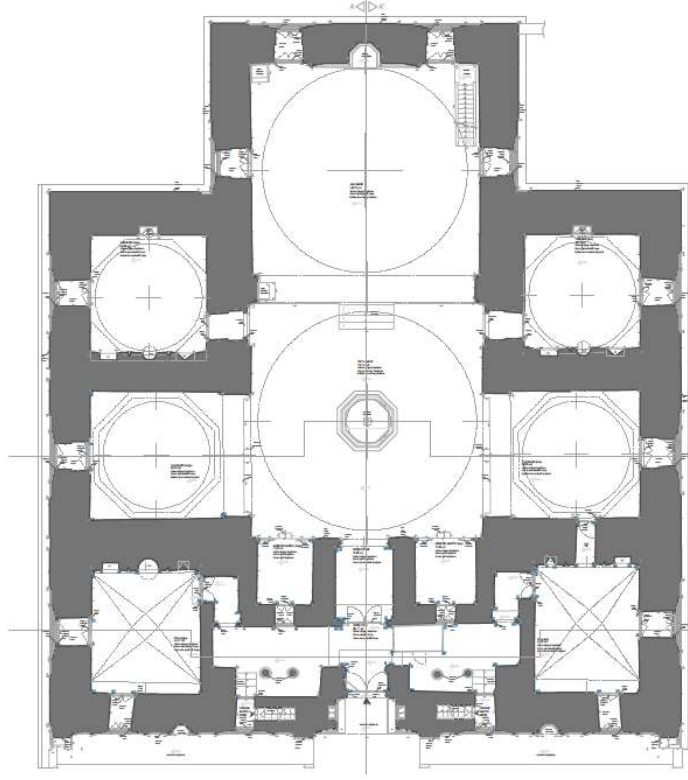


Şekil 3. 29 Bursa Yeşil Camii'nin kuzey ve güney cephesi röleve görüntüleri [44]



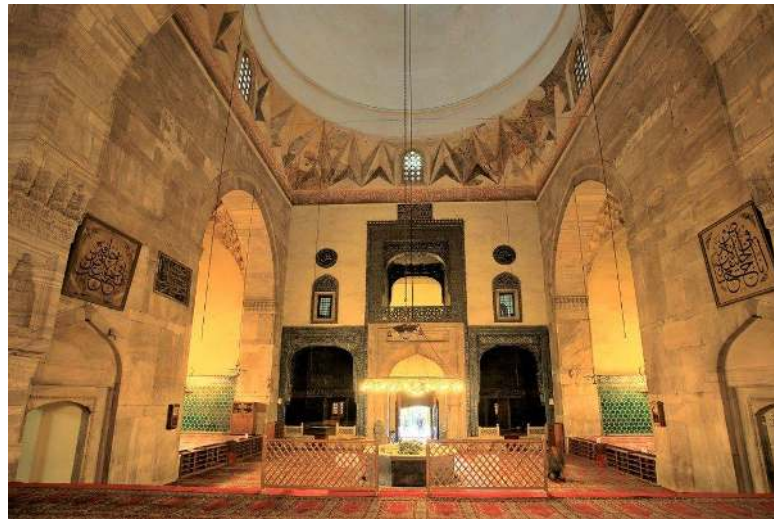
Şekil 3. 30 Bursa Yeşil Camii batı ve doğu cephesi röleve görüntüleri [44]

Şekil 3. 31'de görüldüğü gibi planından da anlaşıldığı üzere, caminin zemin katı genel olarak bir merkez mekân ile bunun güneydoğusundaki daha küçük bir mihrap önü mekânı, merkez mekânın kuzeydoğu ve güneybatısında birer yan eyvan, ayrıca bu yan eyvanların doğu bitişiğinde, kapıları merkez mekâna açılan birer odadan oluşmaktadır. Giriş koridorunun iki yanında yaklaşık 6,00 metre x7,00 metre boyutlarında iki oda daha bulunmaktadır. Yapıya kuzey cephesindeki büyük ve olağanüstü oyma süslemeleri bulunan ana kapıdan girilir. Caminin kuzey cephesindeki ana kapıdan girilince, 2,30 metre genişliği olan koridorun iki tarafındaki merdivenlerden, o dönemde devlet işlerinin görüldüğü bölümler olduğu anlaşılan birinci kata çıkılır [42].



Şekil 3. 31 Yeşil Camii Planının Röleve Görüntüsü [44]

“Asıl ibadet alanının orta kubbe ile örtülü olan merkez mekânına alçak bir kapıdan girilir (Şekil 3-32). Kubbenin çapı 13,00 metre, yerden yüksekliği ise 25,00 metredir. Prizmatik üçgenler üzerine oturtulmuş merkez kubbenin kasnağında üçü açık, biri kör dört pencere bulunmaktadır. Kubbenin tepesinde sekizgen bir aydınlık feneri, bunun tam altında, zeminde, yüksek kenarlı sekizgen bir havuz yer alır” [42].



Şekil 3. 32 Bursa Yeşil Camii Orta Kubbe [45]

“Merkez kubbeyi mihrap kubbesine bağlayan mermer kemer, Şekil 3. 33’te görüldüğü gibi Bursa kemeri biçiminde olup, yedi sıra istalaktitli bir yastığa bağlanmakta, onun altında silmeli bir çerçeve ortasında beş sıra istalaktitli niş bulunmaktadır. Merkez mekânın gerisinde (kuzeyinde) iki müezzin mahfili, bunların üzerinde, ortada hünkar mahfilinin balkonu bulunmaktadır” [42].



Şekil 3. 33 Bursa Yeşil Camii Bursa Kemer [45]

“Mihrap kubbesinin örttüğü güneydoğu mekânın zemini, merkez mekân zemininden 0,98 metre yüksek olup, üç basamaklı bir merdivenle çıkılmaktadır (Şekil 3-33). Burayı örten kubbe, 2,84 metre yüksekliğinde bir kasnağa oturtulmuştur. Yüksekliği 10,67 metre, genişliği 6,00 metre olan mihrap, çini sanatının en seçkin örnekleri ile bezenmiştir. Dıştan içe doğru hat sanatının sırasıyla “sülüs” ve “kufi” biçimlerinin kullanıldığı bir yazı kuşağı ile on iki sıra istalaktitli bir silme, geometrik motifli bir su, daire biçimli bir profil ve çiçekli iç pervaz gelmektedir. Mihrap kavsarasının üstünde bir ayna, bunun üstünde de lale motiflerinden oluşan bir taç vardır. Mihrabın sağ (batı) yanında, iki taraflı korkulukları bulunan dar bir merdivenle çıkılan, tepesi altıgen külahla örtülü ve özenli bir ahşap işçiliğinin ürünü olan minber yer almaktadır. Mihrap mekânının güneydoğu ve kuzeydoğusunda, kapıları merkez mekâna açılan yaklaşık 6,50 metre boyutlarında, kare planlı iki oda yer almaktadır. Bunlarda sekizgen kasnağa oturan, 32 dilimli birer kubbe ile örtülüdür” [42].

“Caminin kuzeybatı ve güneybatı köşelerinde, ana yapı üzerinden çıkan iki adet minaresi vardır (Şekil 3. 34). Bu minareler yapının ilk döneminden kalma olmayıp, 1855

depreminin ardından, 19. Yüzyıl sonlarına doğru yapılmıştır. Caminin asıl minareleri, İznik'teki Yeşil Camii minaresinde görüldüğü gibi, ağırlıklı olarak yeşil rengin hâkim olduğu çinilerle süslenmiş bulunuyordu. Minarelerin külahları yakın zamana kadar başka biçimde iken, 20. yüzyılın başlarında günümüzdeki form verilmiştir. Tuğla işlemeli silindir gövdeleri, ana yapının kuzeybatı ve güneybatı köşelerine oturan kesik küre (küpe) biçimli kaideler üzerinde yükselmektedir. Bu küplerin hemen üstlerinde, şerefe altı süslemelerinden önce, bilezik biçiminde birer çıkıntı yer almaktadır. Şerefe altları istalaktitli, korkulukları mermerdendir. Minare külahları, dışa taşkın bir çemberin üzerinden iç bükey kavisle giderek incelerek yükselmekte, tepeye yakın yerde kademeli olarak geçilen bir silindir oluşturmakta ve bunun üzerine de âlem yerleştirilmiş bulunmaktadır” [42].



Şekil 3. 34 Yeşil Camii Minareleri [45]

YAPISAL MODELLEME VE ANALİZ

4.1 Yapıların Sonlu Elemanlar Modeli

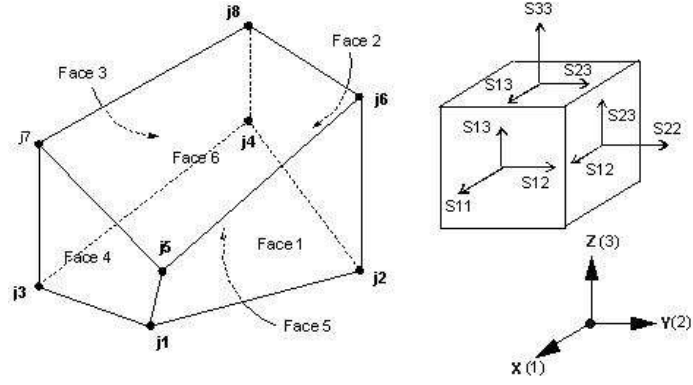
Tarihi yapıların analizi geometrik yapılarının karmaşık olması, malzeme özelliklerinin ve taşıyıcı elemanlarının tam olarak bilinmemesi gibi nedenlerden dolayı oldukça zordur. En iyi analiz yöntemleri bile yüzde yüz güvenilir değildir. Bu nedenle yapılan analizler tarihi yapıların yapısal davranışı hakkında fikir sahibi olmak için yorumlanmalıdır.

Bursa Ulu Camii ve Bursa Yeşil Camii'nin modelleri makro modelleme tekniği ile sonlu elemanlar yöntemiyle Sap2000 [46] programında oluşturulmuş ve analizleri yapılmıştır.

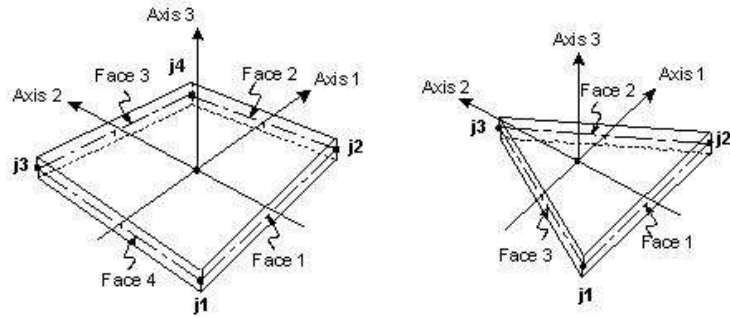
Ulu Camii'nin modeli oluşturulurken; kuzey cephesinde bulunan doğu minaresi cami beden duvarlarından 1 metre ayrı ve batı minaresi de beden duvarlarına oturmadığı için cami ve minareler ayrı ayrı modellenmiştir. Öncelikli olarak oluşturulan modellerin modal analizleri yapılarak, mod şekilleri belirlenmiştir. Kocaeli depreminin Bursa istasyonundaki doğu-batı (x-x) ve kuzey-güney (y-y) yönü deprem kayıtları ayrı ayrı ele alınarak, yapıların deprem analizleri yapılmış ve gerilme dağılımları görülmüştür.

Yeşil Camii minareleri ile birlikte modellenerek modal analizleri yapılmış ve mod şekilleri belirlenmiştir.

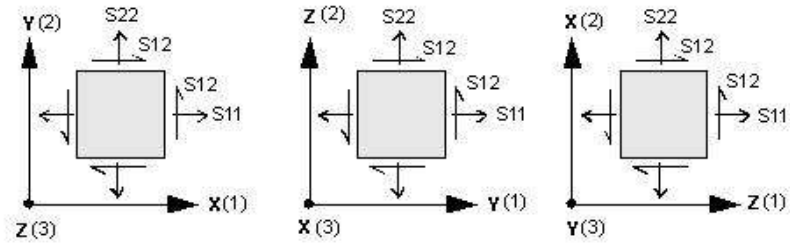
Yapıların sonlu elemanlar modelinde kullanılan katı (solid) ve kabuk (shell) elemanların işaret uyumları ve yön kabulleri, sayısal modellemenin yapıldığı yazılımın öngördüğü kabullere bağlı kalınarak Şekil 4. 1 ve Şekil 4. 2'de gösterilmiştir.



Şekil 4. 1 Katı (solid) eleman işaret ve yönleri [46]



Şekil 4. 2 Kabuk (shell) eleman işaret ve yönleri [46]



Şekil 4. 3 Global koordinatlar ve gerilmeler [46]

Şekil 4. 3 ve Şekil 4. 4'te görüldüğü gibi yapının sonlu elemanlar modelinde oluşacak çeşitli gerilmeler aşağıda özetlenmiştir.

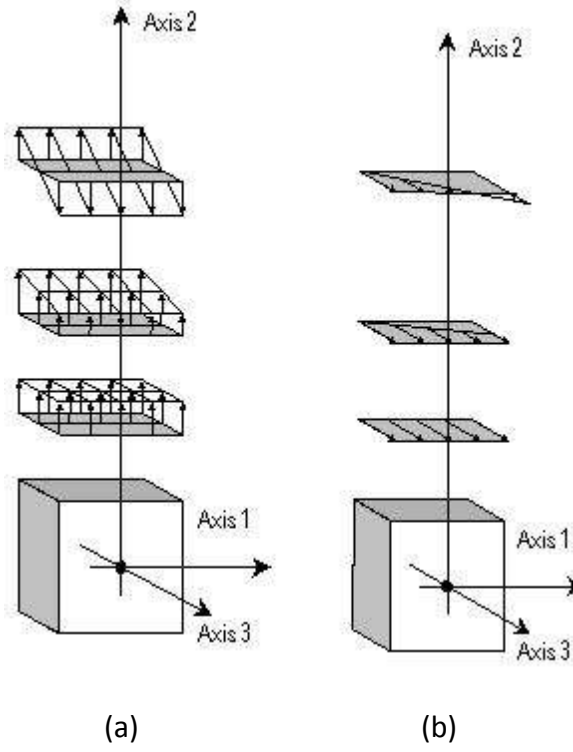
S11 : (x) yönünde düşey gerilme

S22 : (y) yönünde düşey gerilme

S33 : (z) yönünde düşey gerilme

S12 = S21 : (x-y) düzleminde kayma gerilmesi

S13, S23 : Düzlem dışı kesme gerilmeleri



Şekil 4. 4 a) S22 düşey gerilmesi b) S21 kayma gerilmesi [46]

4.2 Analiz Yöntemleri

4.2.1 Dinamik Analiz

Yapıya etkiyen yüklerin zamana bağlı olarak değiştiği varsayımına dayanan çözümleme biçimine dinamik analiz denir. Dinamik analiz, yapının deprem yükleri gibi yatay etkilerin neticesinde doğal titreşim frekanslarının bulunarak bu değerlerin süperpoze edilmesi ile yapılan ve yer değiştirme sırasında ortaya çıkan ivmelenmenin atalet kuvvetlerini doğurduğu, zamanın fonksiyonu olan bir çözüm tipidir.

Sistemin serbest titreşim periyotlarının, yani modal değerlerinin belirlenmesi neticesinde yapılabilecek çeşitli dinamik çözümler mevcuttur. Bunlar; eşdeğer deprem yükü yöntemi, mod birleştirme yöntemi ve zaman tanım alanında hesap yöntemi olarak sınıflandırılabilirler. Eşdeğer deprem yükü yöntemi doğrusal ve çift modlu, mod birleştirme yöntemi doğrusal ve çok modlu, zaman tanım alanında hesap yöntemi ise oldukça fazla mod değerli doğrusal ve doğrusal olmayan çözüm hesabına dayanan analizlerdir. Yapıların analizlerinde zaman tanım alanında hesap yöntemi kullanılmıştır.

4.2.1.1 Modal Analiz

Modal analiz, öz değer analizi ya da Eigen-value analizi olarak bilinen, yapının serbest titreşim periyotlarını ve mod şekillerini, yapı sisteminin kütle ve rijitlik matrisleri kullanılarak belirlemek için kullanılır.

Modal analiz yapının salınımlarını görmemizi, sönümlmeleri ölçmemizi ve hâkim modları belirlememizi sağlar. Deprem sırasında bu modlar çok kısa bir süre içerisinde farklı karakterdeki hareketlerin çeşitli yönlerde yapıya etkimesiyle ortaya çıkarlar yani modların belli bir sıra ile veya ayrı bir şekilde oluştuğu anlamına gelmezler.

Analiz için tercih edilen program, modal analiz durumunda sonlu elemanların kütlesi ve rijitliği arasında (4.1) bağıntısını kullanmaktadır.

$$\{-\omega_i^2[M][K]\}\varphi_i = 0 \quad (4.1)$$

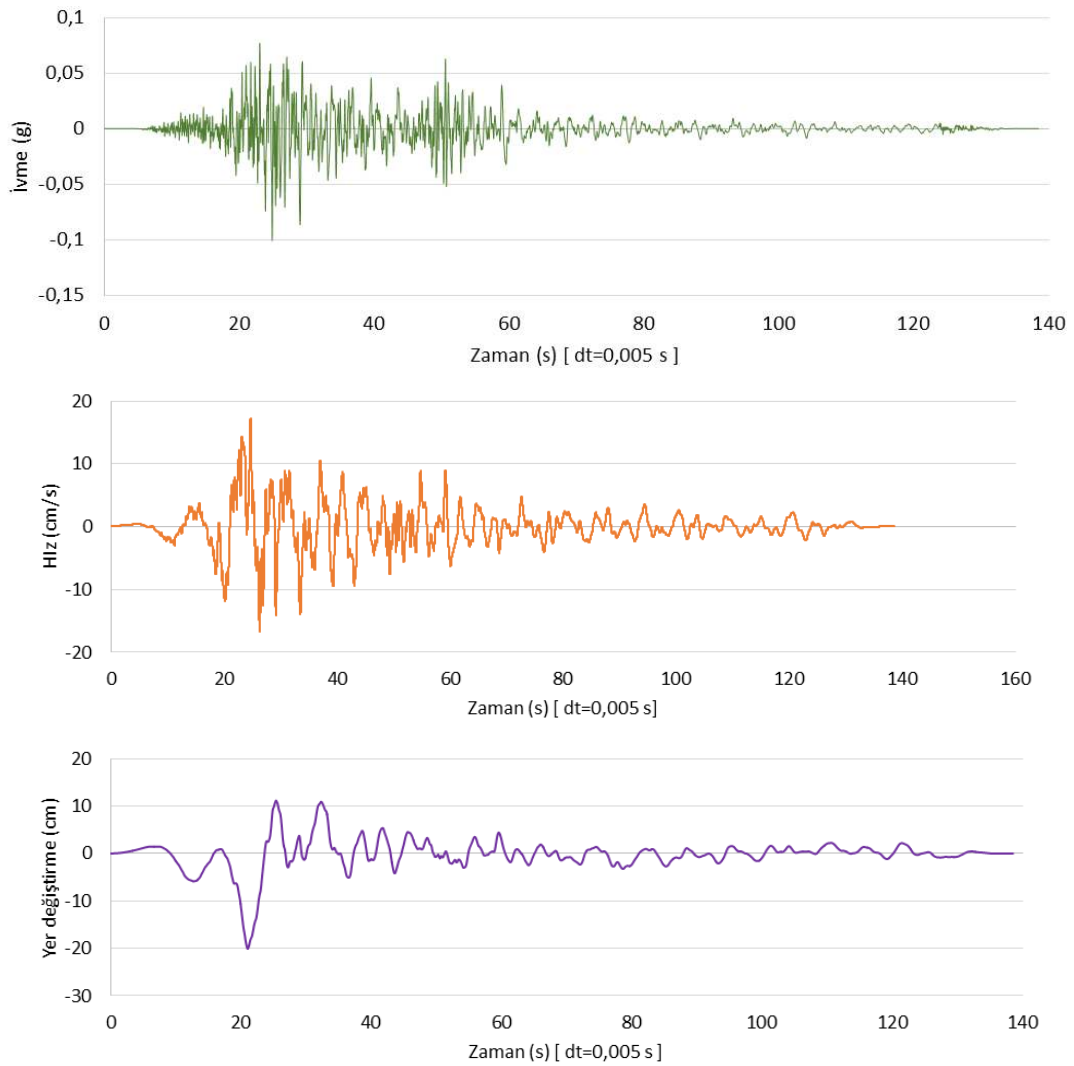
Burada, ω açısal hız, [M] kütle matrisi, [K] rijitlik matrisi ve φ ise modal vektör olarak ifade edilmiştir.

Bir serbest titreşim periyoduna ait olan mod şeklindeki titreşimin, yapının toplam kütlelerinin ne kadarını harekete geçirip salınım hareketine dâhil edebildiği kütle katılım oranı ile ifade edilir. Türk Deprem Yönetmeliği'nde etkin kütle olarak tanımlanan modal kütlelerin toplamı için bir alt sınır verilmiştir. Hesaba katılması gereken yeterli titreşim modu sayısı, göz önüne alınan birbirine dik x ve y yatay deprem doğrultularının her birinde, her bir mod için hesaplanan etkin kütlelerin toplamının hiçbir zaman bina toplam kütlelerinin %90'ından daha az olmaması kuralına göre belirleneceği ifade edilmiştir. Fakat bu sınırı yakalamak tarihi yığma yapılarda az sayıda mod hesaba katılırsa mümkün olmamaktadır.

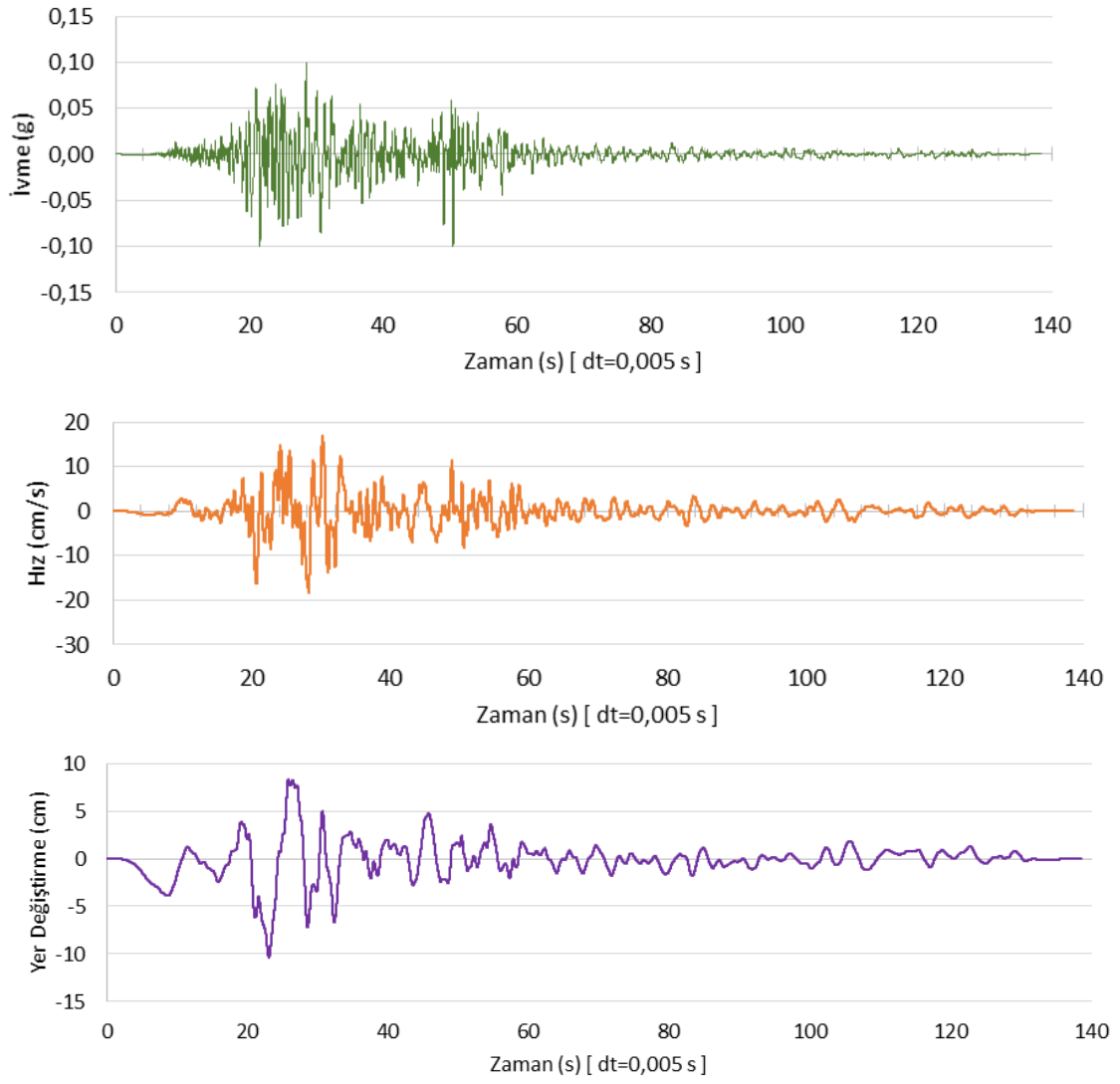
Betonarme veya çelik çerçeveli ve kat döşemeleri rijit diyafram olarak çalışan binalar için verilmiş olan bu oran tarihi yığma yapılarda, yapının geometrisine göre değişmekle birlikte, ancak 100 ve üzeri mod sayısında mümkün olabilmekte, bazı durumlarda da bu orana pratik olarak hiç ulaşamamaktadır.

4.2.1.2 Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi

Modellerin deprem analizleri için zaman tanım alanında hesap yöntemi ile 1999 Kocaeli depreminin Bursa ili Tofaş istasyonundan alınan deprem kayıtlarının kuzey-güney ve doğu-batı bileşenleri kullanılarak analizler yapılmıştır. Deprem kayıtları Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi (Peer Ground Motion Database) [47] veri tabanında yer alan filtrelenmiş veriler kullanılarak sisteme etki ettirilmiştir. Kullanılan deprem kaydının doğu-batı yönüne ait ivme, hız ve yer değiştirme grafikleri Şekil 4. 5'te, kuzey-güney yönünde ait ivme, hız, ve yer değiştirme grafikleri de Şekil 4.6 'da verilmiştir.



Şekil 4. 5 1999 Kocaeli depreminin Bursa Tofaş istasyonunun doğu-batı yönü deprem kaydı



Şekil 4. 6 1999 Kocaeli depreminin Bursa Tofaş istasyonundan alınan kuzey-güney yönü deprem kaydı

4.3 Ulu Camii Modeli

Modellemede kubbeler kabuk (shell) eleman, duvarlar, kemerler, sütunlar ve kasnaklar katı (solid) eleman kullanılarak modellenmiştir.

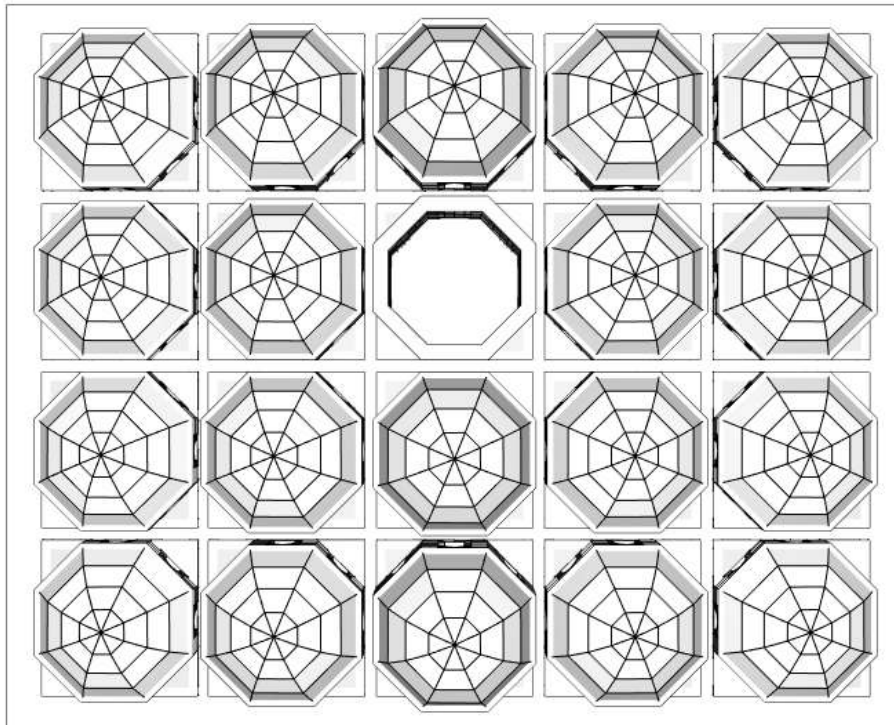
Modelde kullanılan eleman sayısı; kabuk (shell) eleman sayısı 608, katı (solid) eleman sayısı 29.976, düğüm noktası sayısı 43.463'dür.

Malzeme parametreleriyle ilgili kabuller çeşitli literatür araştırmaları sonucu Çizelge 4.1'de sunulan malzeme özellikleri kabul edilmiştir [9].

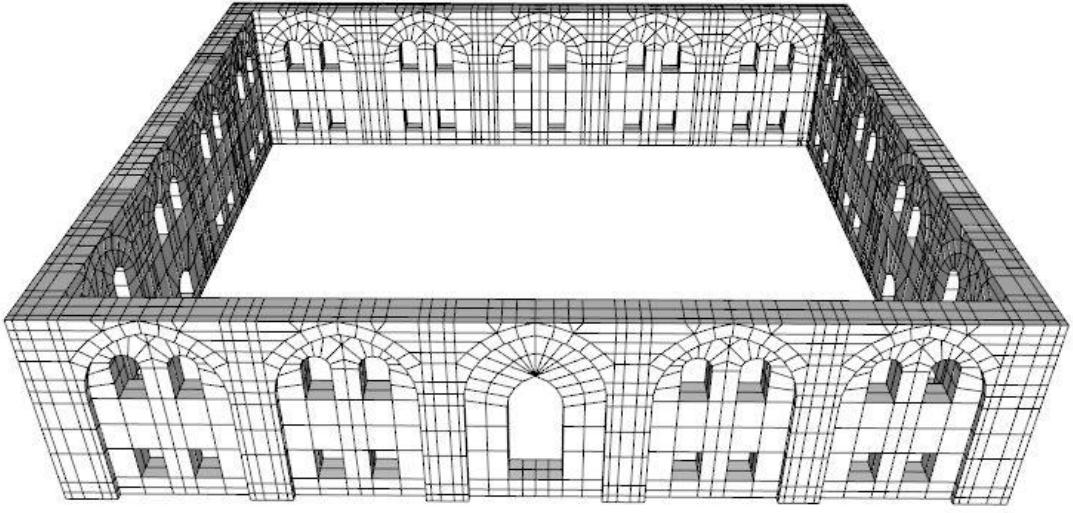
Çizelge 4-1 Malzeme Özellikleri

Yapı Elemanı	Yapı Birimi	Eleman Tipi	Elastisite Modülü (Mpa)	Özkütle (kg/m3)	Poisson Oranı
Kubbeler	Tuğla	Kabuk	3000	1800	0,18
Diğer Elemanlar	Taş	Katı	10000	2200	0,20

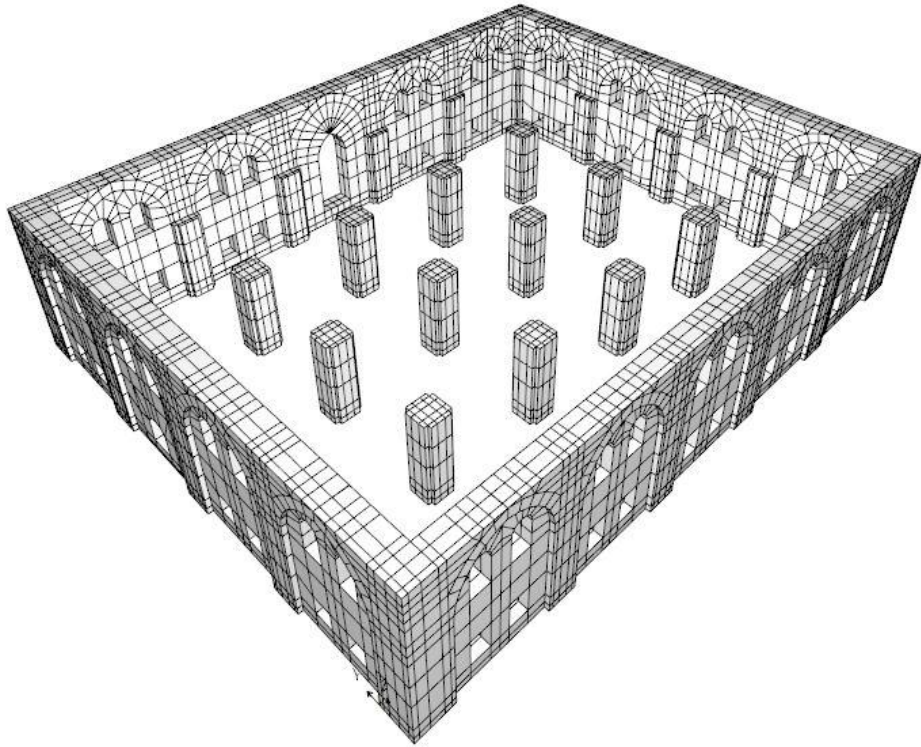
Yapının modeli oluşturulurken autocad programından yardımcı elemanlar alınarak Sap2000 programına aktarılmıştır. Öncelikle yapının dış duvarları oluşturulmuş (Şekil 4. 8), daha sonra sırasıyla sütunlar (Şekil 4. 9), kemerler (Şekil 4. 10), kasnaklar ve pandantifler (Şekil 4. 11 ve Şekil 4. 12) ve son olarak da kubbeler modellenmiştir (Şekil 4. 13). Şekil 4. 7, Şekil 4. 14, Şekil 4. 15, Şekil 4. 16, ve Şekil 4. 17’de model resimleri verilmiştir.



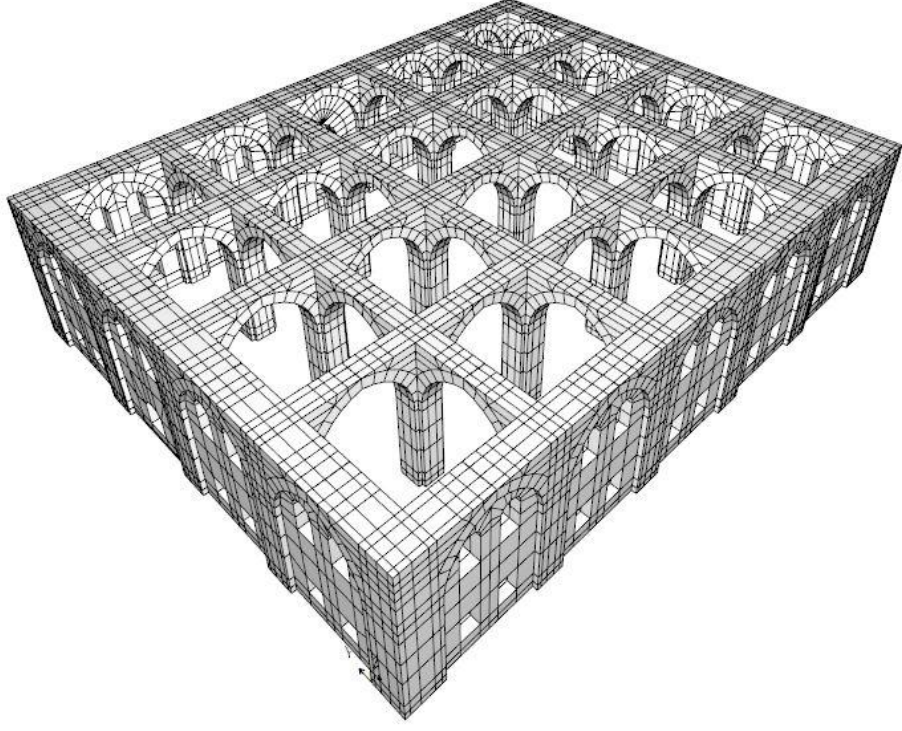
Şekil 4. 7 Ulu Camii model resimleri-1



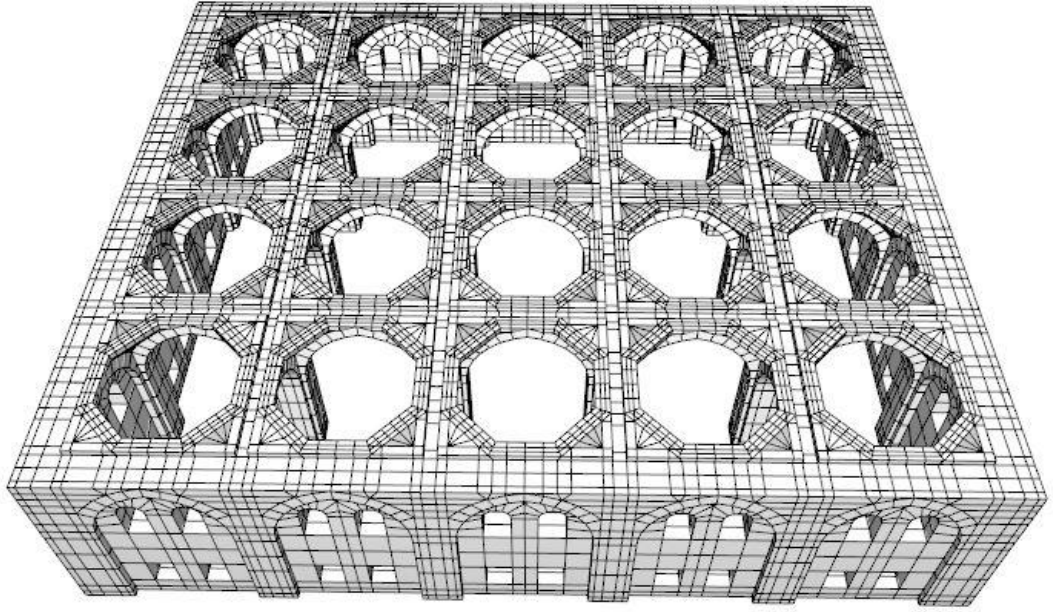
Şekil 4. 8 Ulu Camii model resimleri -2



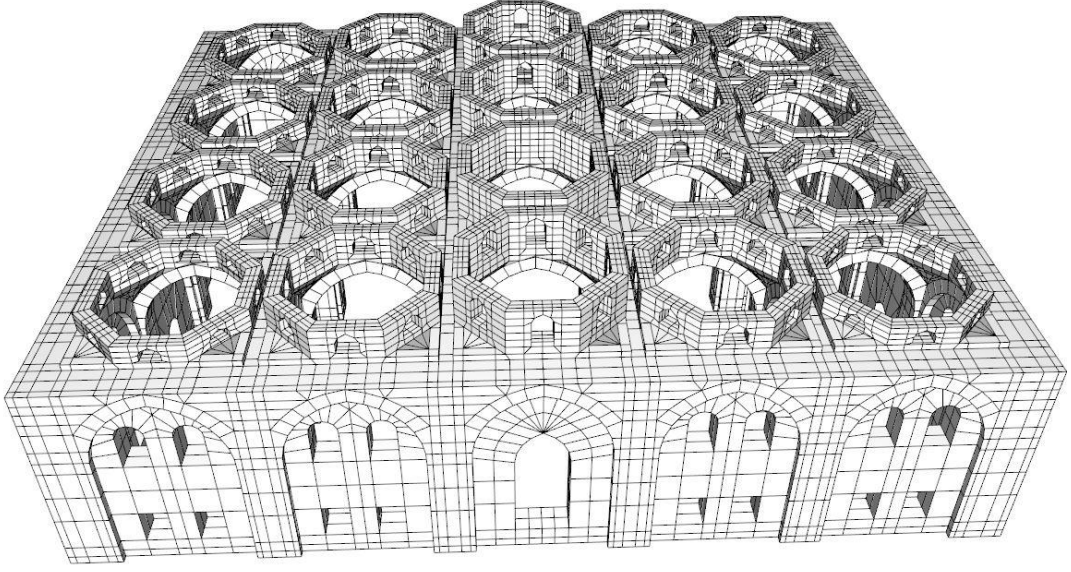
Şekil 4. 9 Ulu Camii model resimleri -3



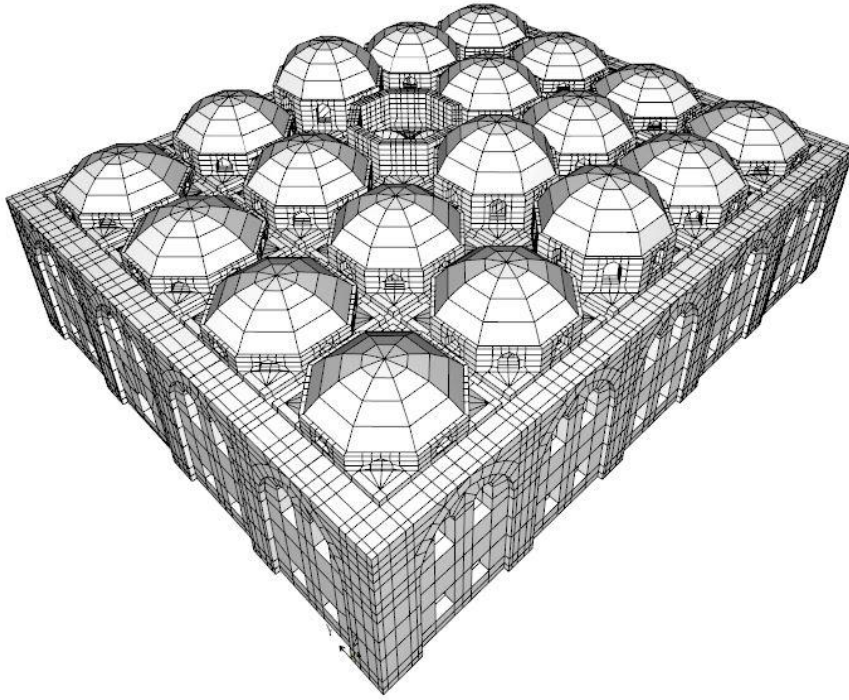
Şekil 4. 10 Ulu Camii model resimleri -4



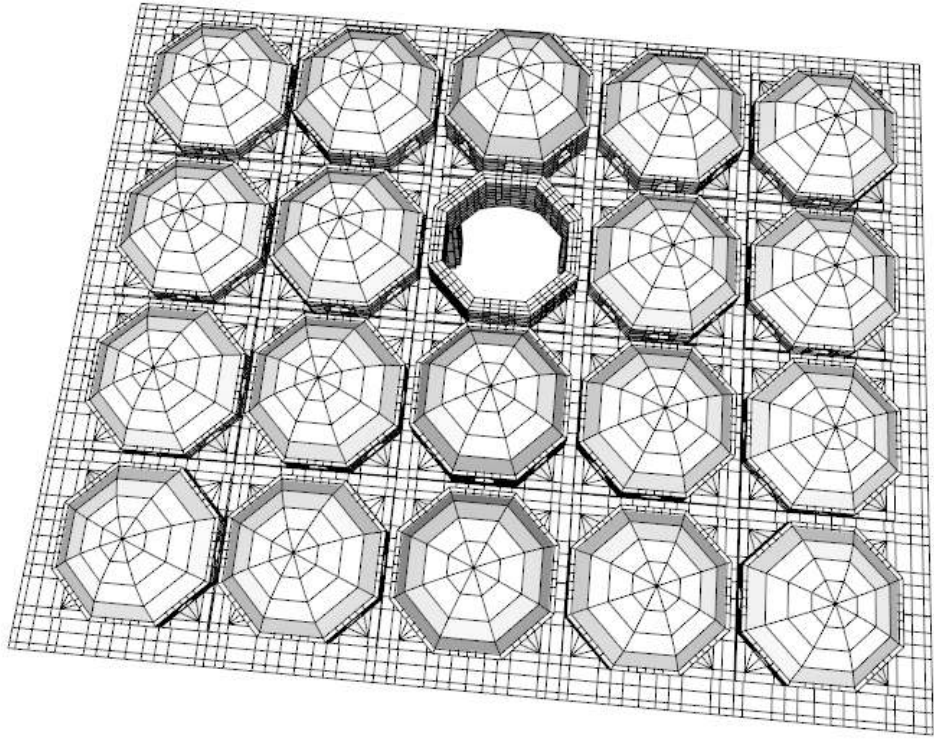
Şekil 4. 11 Ulu Camii model resimleri -5



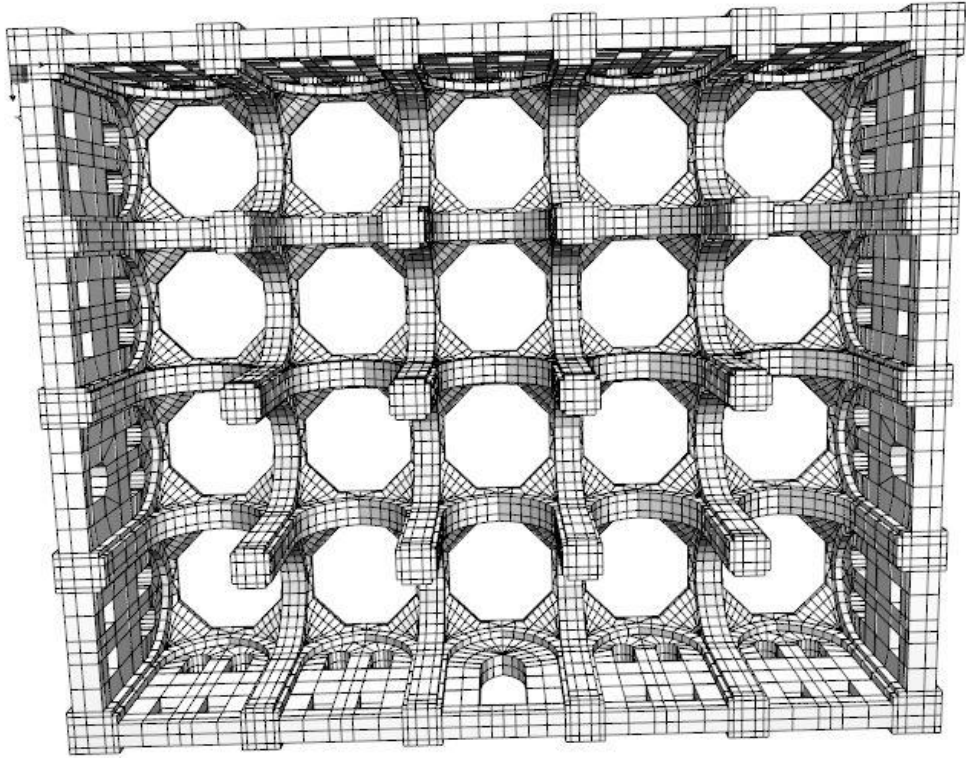
Şekil 4. 12 Ulu Camii model resimleri -6



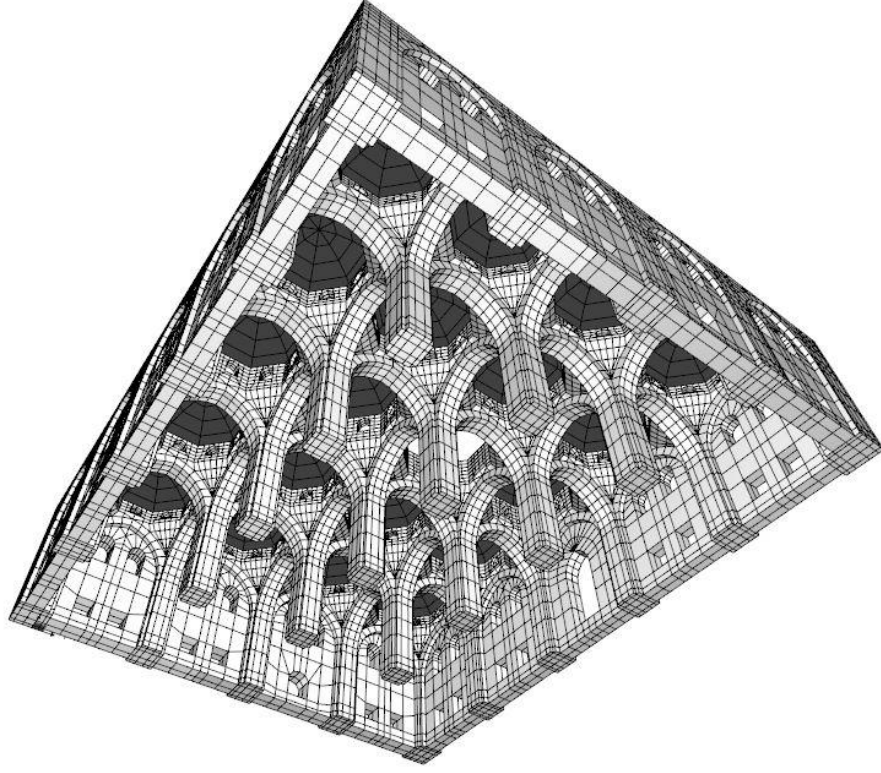
Şekil 4. 13 Ulu Camii model resimleri -7



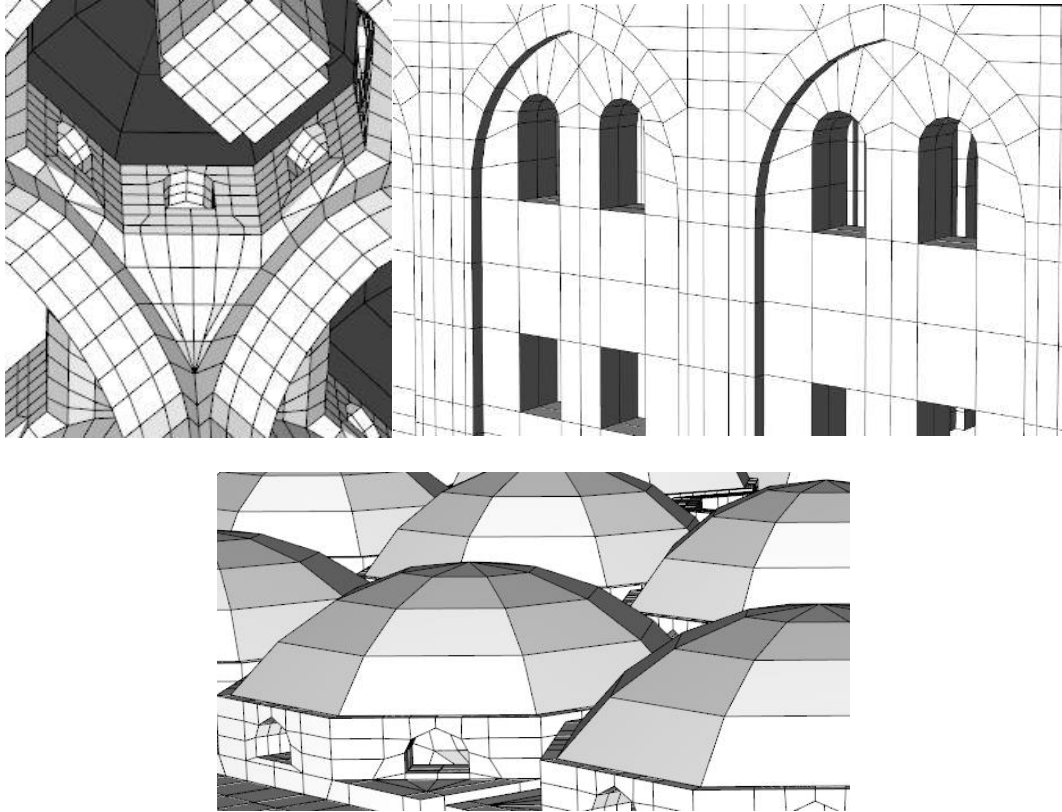
Şekil 4. 14 Ulu Camii model resimleri -8



Şekil 4. 15 Ulu Camii model resimleri -9



Şekil 4. 16 Ulu Camii model resimleri -10



Şekil 4. 17 Ulu Camii model resimleri -11

4.3.1 Modal Analiz

Bursa Ulu Camii'nin modal analizinde yapının ilk 50 modu dikkate alınmıştır. Yapının modal analiz sonuçlarına bakıldığında ilk 50 modda (x) yönündeki kütle katılım oranları toplamının % 80,8 ve (y) yönündeki kütle katılım oranları toplamının %80,3 olduğu görülmektedir (Çizelge 4. 2). Kütle katılım oranlarının yakın birbirine yakın çıkması yapının simetrik özelliğinden kaynaklanmaktadır. Artış oranlarına bakıldığında daha fazla modu hesaba katmanın toplam katılım oranlarını fazla arttırıcı bir etkisi olmayacağı görülmüştür.

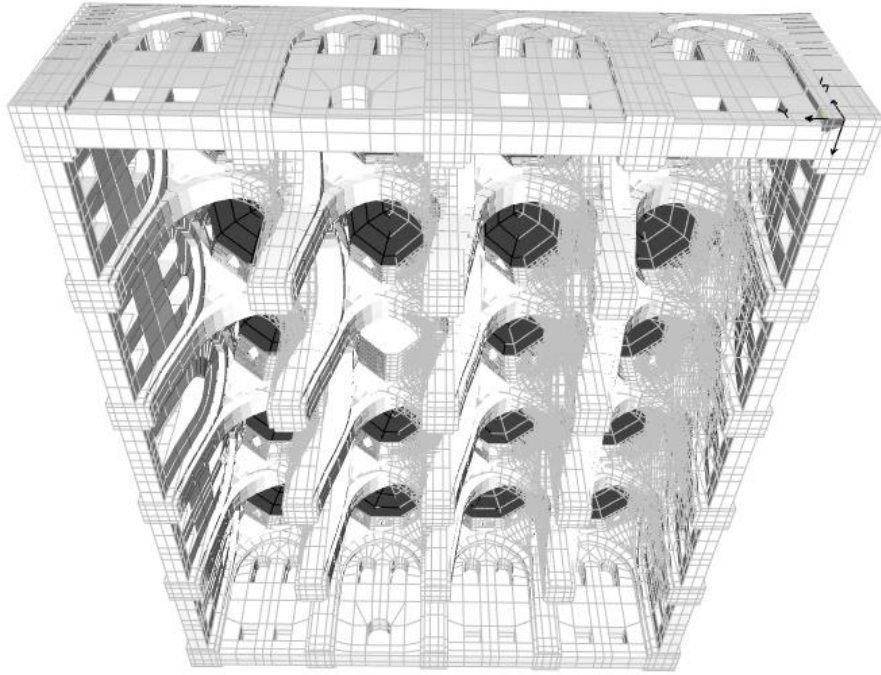
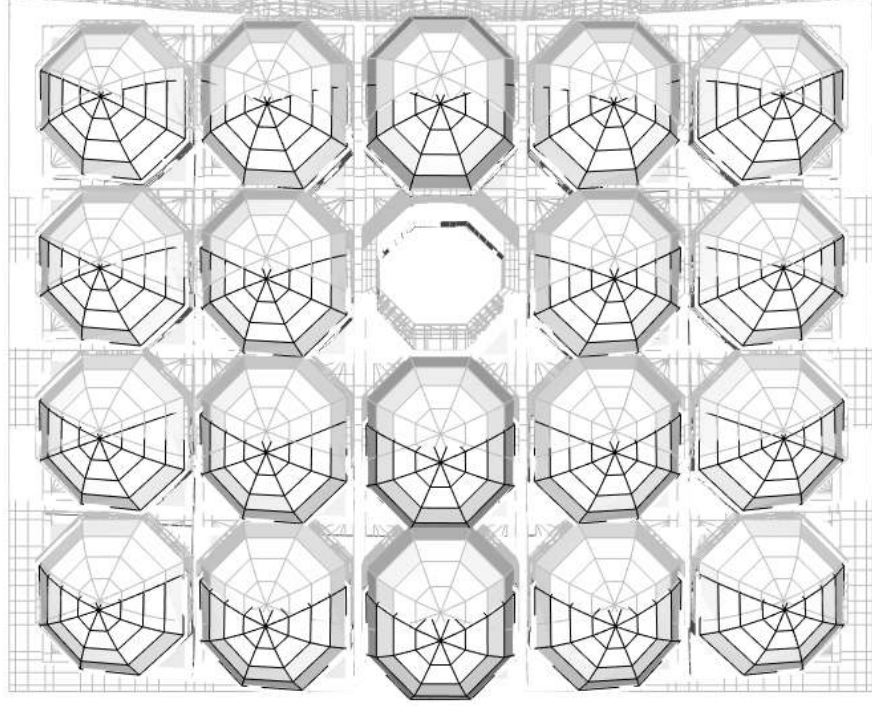
Çizelge 4-2 Ulu Camii Periyot ve Kütle Katılım Oranları

Mod	Period	Frekans	UX	ΣUX	UY	ΣUY	UZ	ΣUZ	RZ	ΣRZ
1	0,240268	4,162019	0,000000	0,000	0,560000	0,560	0,000000	0,000	0,000012	0,000
2	0,214557	4,660766	0,582000	0,582	0,000000	0,560	0,000000	0,000	0,000036	0,000
3	0,159473	6,270654	0,000018	0,582	0,000016	0,560	0,000000	0,000	0,163000	0,163
4	0,135834	7,361927	0,000002	0,582	0,000006	0,560	0,000005	0,000	0,000018	0,163
5	0,134951	7,410097	0,000181	0,582	0,000001	0,560	0,000000	0,000	0,186000	0,349
6	0,113712	8,794147	0,000000	0,582	0,097000	0,657	0,000001	0,000	0,000000	0,349
7	0,112862	8,860378	0,000000	0,582	0,002701	0,660	0,000037	0,000	0,000000	0,349
8	0,108651	9,203781	0,000080	0,583	0,000000	0,660	0,000001	0,000	0,000159	0,349
9	0,103508	9,661089	0,000001	0,583	0,001564	0,662	0,000021	0,000	0,000004	0,349
10	0,096626	10,349181	0,103000	0,686	0,000001	0,662	0,000000	0,000	0,000133	0,349
11	0,091763	10,897638	0,000014	0,686	0,000016	0,662	0,003465	0,004	0,000007	0,349
12	0,090351	11,067946	0,000000	0,686	0,000005	0,662	0,000145	0,004	0,004662	0,354
13	0,090267	11,078246	0,000200	0,686	0,000015	0,662	0,000026	0,004	0,062000	0,416
14	0,089570	11,164452	0,001383	0,688	0,000006	0,662	0,000004	0,004	0,011000	0,427
15	0,086723	11,530966	0,000275	0,688	0,000000	0,662	0,000003	0,004	0,007086	0,434
16	0,083764	11,938303	0,015000	0,703	0,000000	0,662	0,000006	0,004	0,000579	0,435
17	0,081720	12,236907	0,000000	0,703	0,000005	0,662	0,049000	0,053	0,000000	0,435
18	0,081139	12,324530	0,001439	0,704	0,000013	0,662	0,001567	0,054	0,000029	0,435
19	0,081073	12,334563	0,000061	0,705	0,000198	0,662	0,018000	0,072	0,000044	0,435
20	0,080787	12,378229	0,000131	0,705	0,000000	0,662	0,000115	0,073	0,011000	0,446
21	0,080110	12,482836	0,000009	0,705	0,000153	0,662	0,000277	0,073	0,000013	0,446
22	0,077594	12,887594	0,001743	0,706	0,000012	0,662	0,000453	0,073	0,000428	0,446
23	0,077312	12,934603	0,000062	0,706	0,000060	0,662	0,000954	0,074	0,000261	0,447
24	0,076881	13,007115	0,000027	0,706	0,006058	0,668	0,001116	0,075	0,000390	0,447
25	0,076539	13,065235	0,001109	0,708	0,002261	0,670	0,003148	0,079	0,002335	0,449
26	0,076393	13,090205	0,002079	0,710	0,000596	0,671	0,007724	0,086	0,000370	0,450
27	0,076014	13,155471	0,000003	0,710	0,000967	0,672	0,000672	0,087	0,009659	0,459
28	0,075582	13,230663	0,000117	0,710	0,001244	0,673	0,051000	0,138	0,000431	0,460
29	0,075185	13,300525	0,000072	0,710	0,004098	0,677	0,081000	0,220	0,000004	0,460

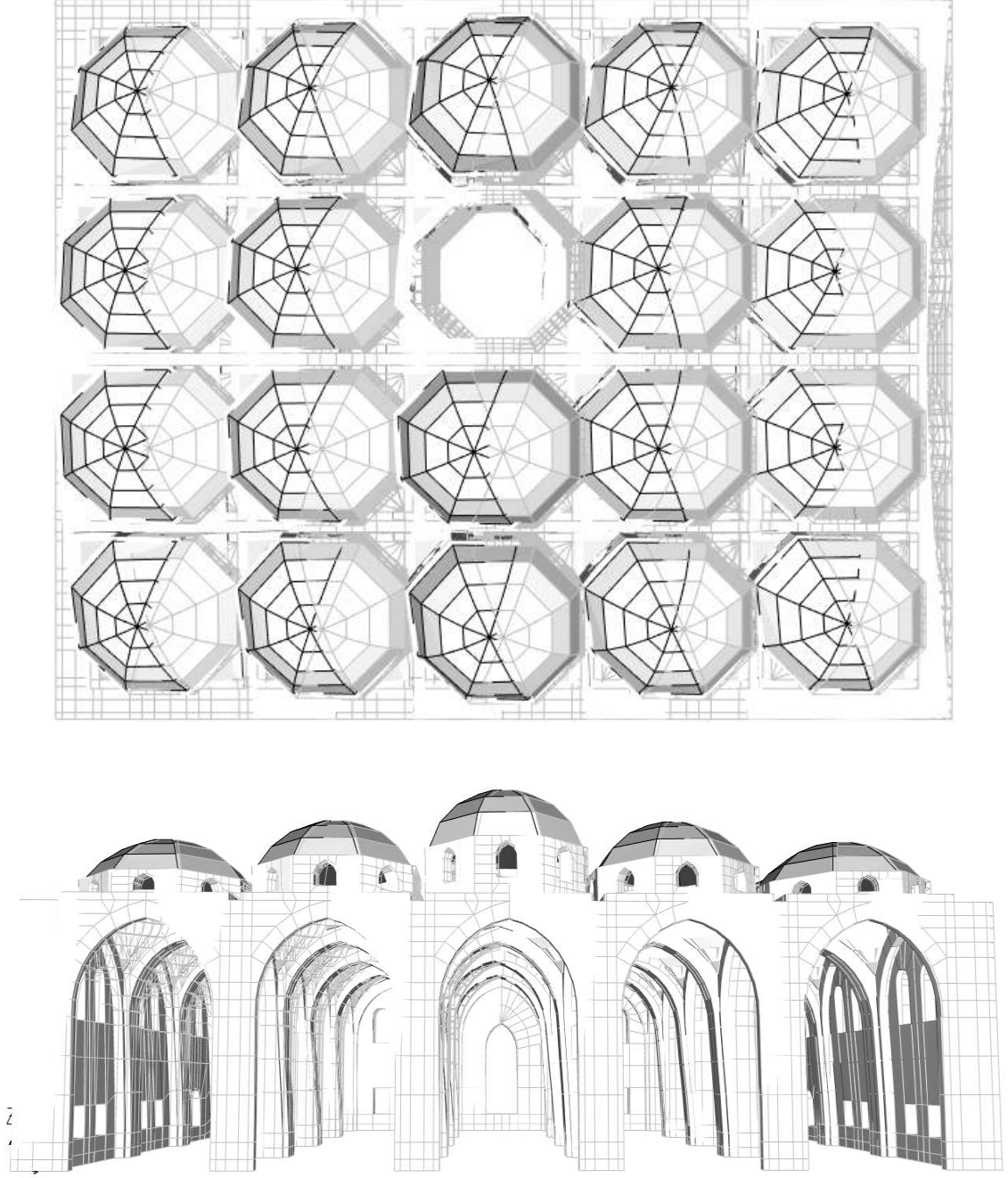
Çizelge 4. 2 Ulu Camii Periyot ve Kütle Katılım Oranları (devamı)

30	0,074707	13,385627	0,000063	0,710	0,000772	0,678	0,003236	0,223	0,025000	0,485
31	0,074545	13,414716	0,000113	0,710	0,001190	0,679	0,004904	0,228	0,023000	0,508
32	0,073921	13,527956	0,001364	0,711	0,001714	0,681	0,006361	0,234	0,034000	0,542
33	0,073802	13,549768	0,000011	0,711	0,003974	0,685	0,032000	0,266	0,012000	0,554
34	0,073437	13,617114	0,004874	0,716	0,000243	0,685	0,000283	0,267	0,001898	0,556
35	0,071342	14,016989	0,016000	0,732	0,000089	0,685	0,000049	0,267	0,000248	0,556
36	0,071236	14,037846	0,005760	0,738	0,000066	0,685	0,000016	0,267	0,012000	0,567
37	0,071123	14,060149	0,001441	0,740	0,000392	0,686	0,000045	0,267	0,045000	0,612
38	0,070978	14,088873	0,001358	0,741	0,000090	0,686	0,022000	0,289	0,000005	0,612
39	0,070304	14,223942	0,004289	0,745	0,041000	0,727	0,000000	0,289	0,000000	0,612
40	0,070074	14,270628	0,047000	0,792	0,005174	0,732	0,000086	0,289	0,002612	0,615
41	0,069753	14,336301	0,000274	0,793	0,022000	0,754	0,000097	0,289	0,000032	0,615
42	0,069074	14,477227	0,000016	0,793	0,019000	0,774	0,007095	0,296	0,000039	0,615
43	0,067549	14,804068	0,000017	0,793	0,026000	0,800	0,004722	0,301	0,000575	0,615
44	0,066859	14,956849	0,000344	0,793	0,000447	0,800	0,000047	0,301	0,137000	0,753
45	0,066098	15,129051	0,011000	0,804	0,000030	0,800	0,000154	0,301	0,019000	0,771
46	0,065963	15,160014	0,000895	0,805	0,000299	0,801	0,000884	0,302	0,000507	0,772
47	0,064421	15,522888	0,000007	0,805	0,000000	0,801	0,000317	0,302	0,000002	0,772
48	0,064021	15,619875	0,000757	0,806	0,000009	0,801	0,000006	0,302	0,000533	0,773
49	0,063672	15,705491	0,000002	0,806	0,002052	0,803	0,000216	0,302	0,000002	0,773
50	0,062639	15,964495	0,002272	0,808	0,000003	0,803	0,000006	0,302	0,000131	0,773

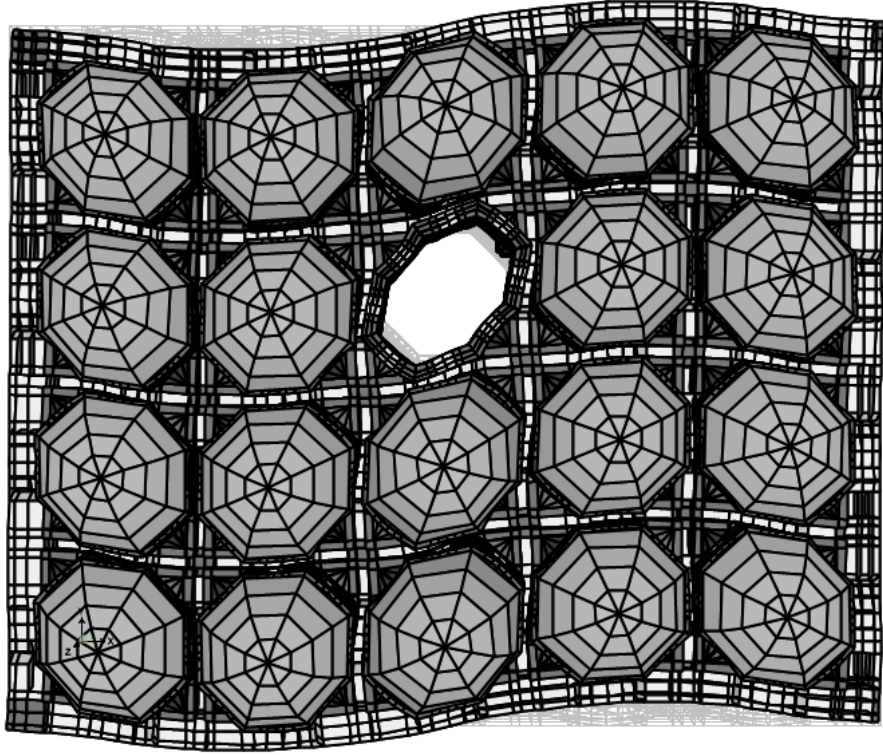
Modal analiz sonuçları neticesinde Çizelge 4.2’de gösterilen değerler incelendiğinde, Şekil 4. 18’te görüldüğü gibi mod 1’de (y-y) yönü hakim olup periyodu 0,24027 saniye, Şekil 4. 19’da gösterilen 2. modda (x-x) yönü hakim olup periyodu 0,21456 saniyedir. 3. mod (Şekil 4. 20) ve 5. mod (Şekil 4. 21) burulma modu olup yapının periyodu sırasıyla 0,159476 saniye ve 0,134954 saniyedir. Mod 6’da (y-y) yönü hakim olup periyodu 0,113712 saniye (Şekil 4. 22), mod 7 (Şekil 4. 23) ise (x-x) yönü hakim olup periyodu 0,096626 saniyedir.



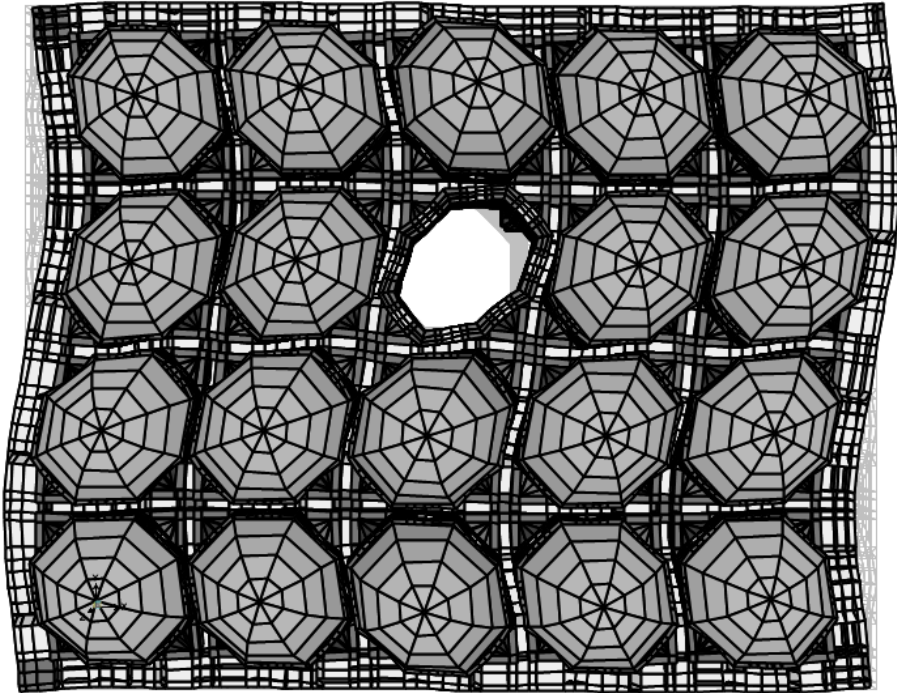
Şekil 4. 18 Mod 1, $T=0,24027$, $F=4,16202$, y yönünde ötelenme



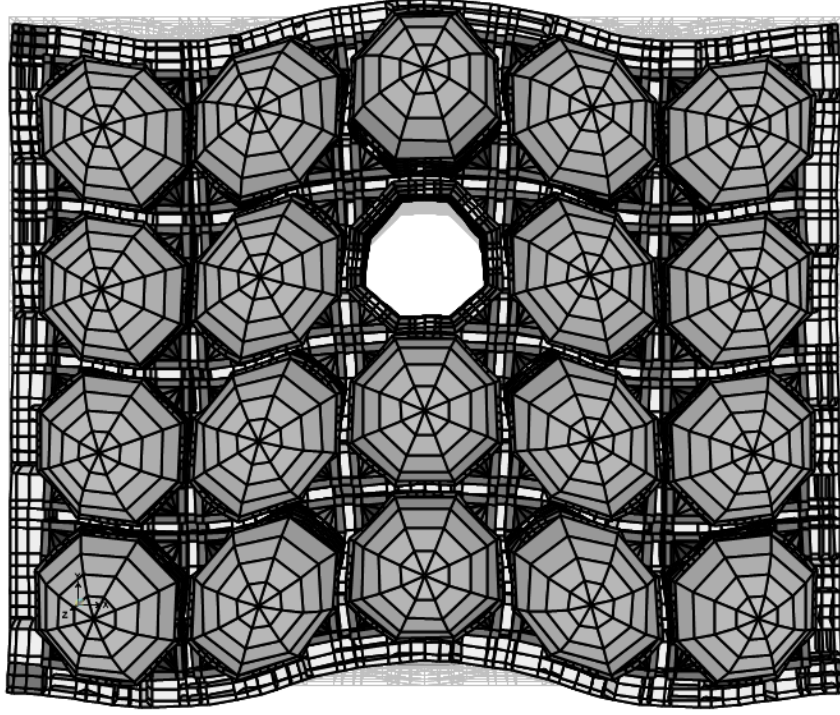
Şekil 4. 19 Mod 2, $T=0,21456$, $F=4,66077$, x yönünde ötelenme



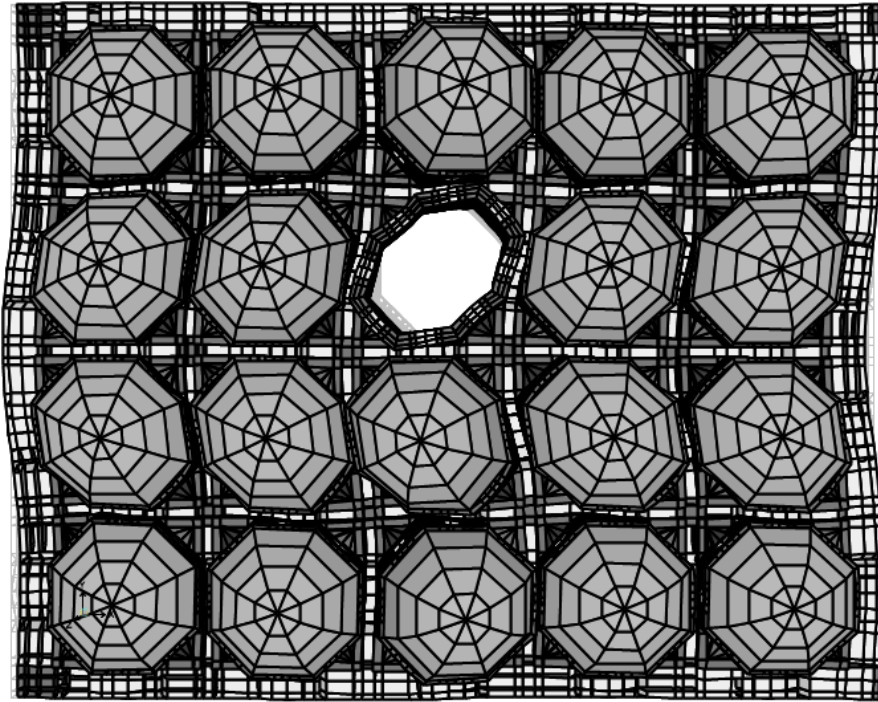
Şekil 4. 20 Mod 3, $T=0,15947$, $F=6,27065$, burulma



Şekil 4. 21 Mod 5, $T=0,13495$, $F=7,4101$, burulma



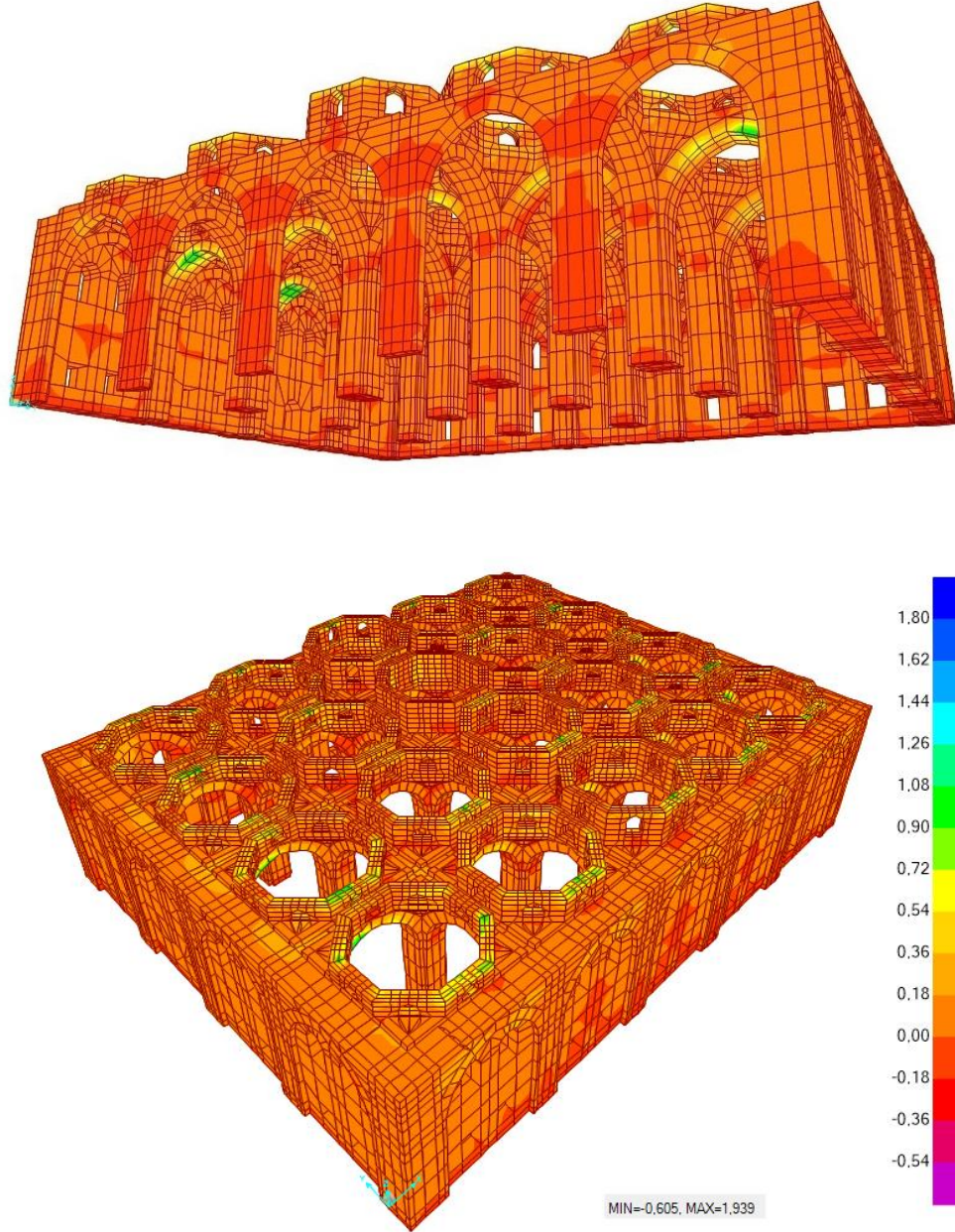
Şekil 4. 22 Mod 6, $T=0,11371$, $F=8,79415$, y yönünde ötelenme



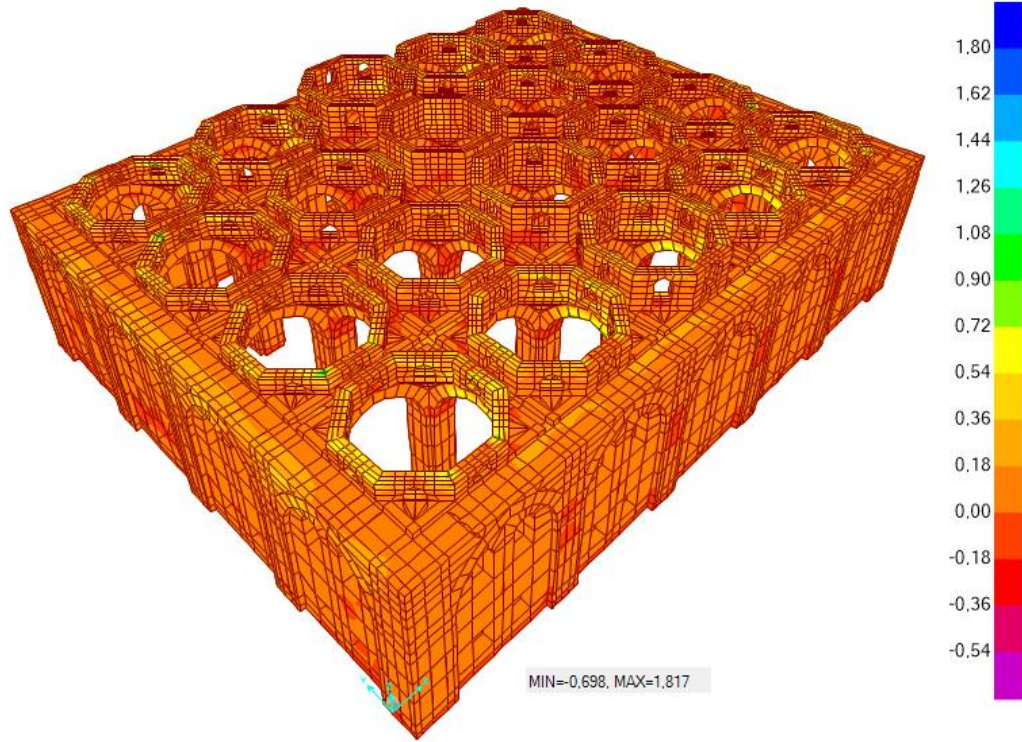
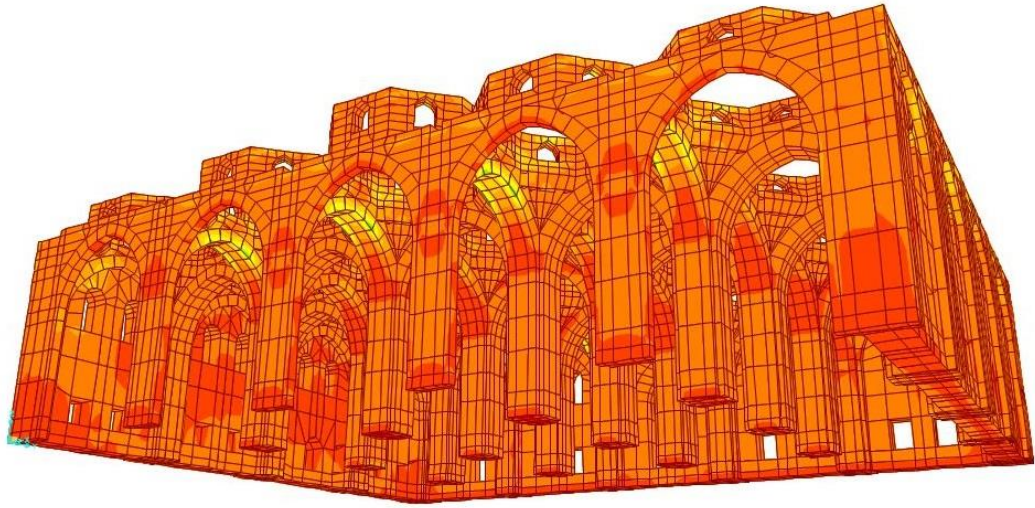
Şekil 4. 23 Mod 10, $T=0,09663$, $F=10,3492$, x yönünde ötelenme

4.3.2 Deprem Analizi

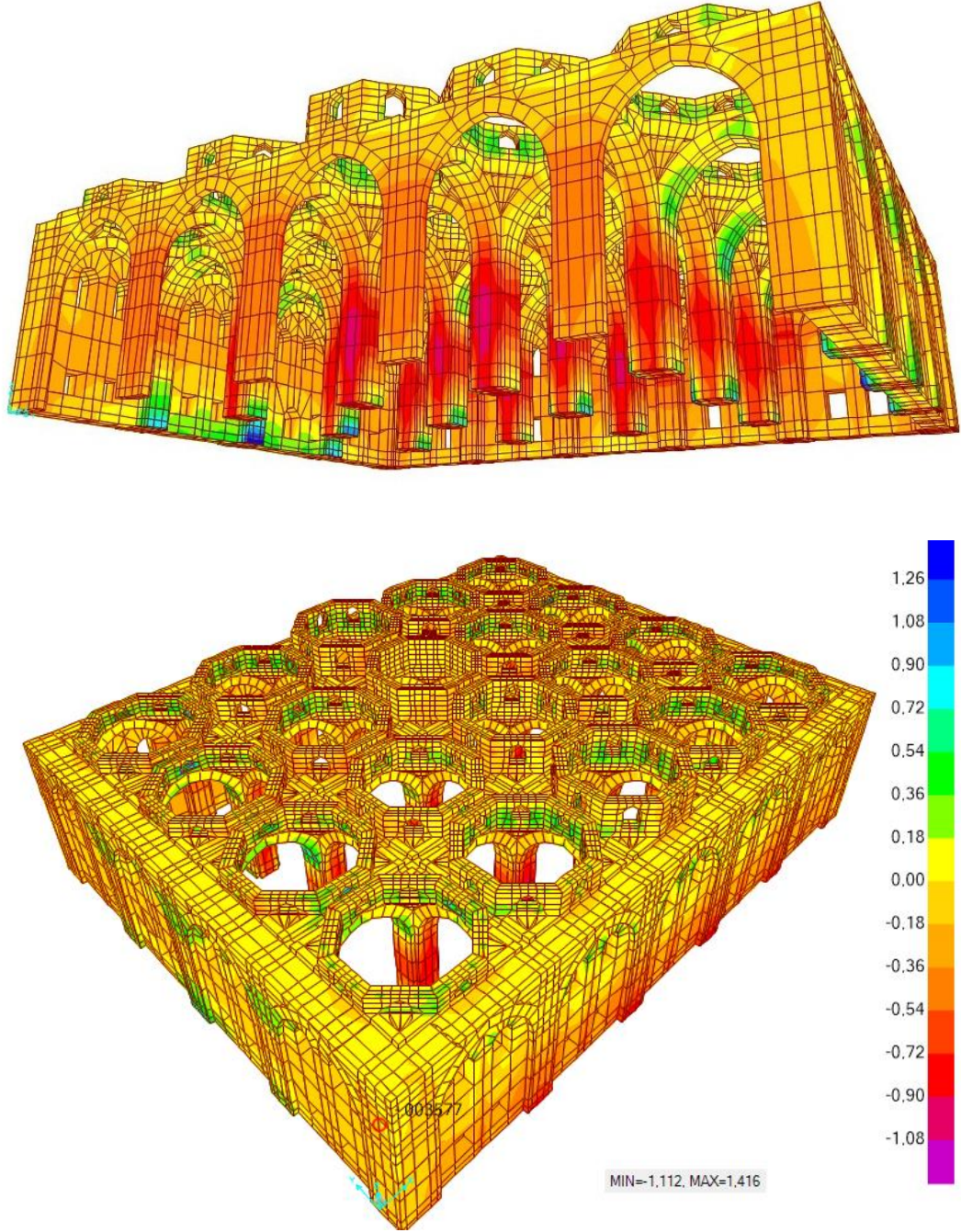
Kocaeli deprem kaydının doğu-batı ve kuzey-güney yönü ayrı ayrı ele alınarak, üretilen modele etki ettirilmesi sonucunda meydana gelen gerilmelerin maksimum ve minimum değerleri ile zorlanan bölgeler Şekil 4. 24'ten başlayarak Şekil 4.35'e kadar verilmiştir.



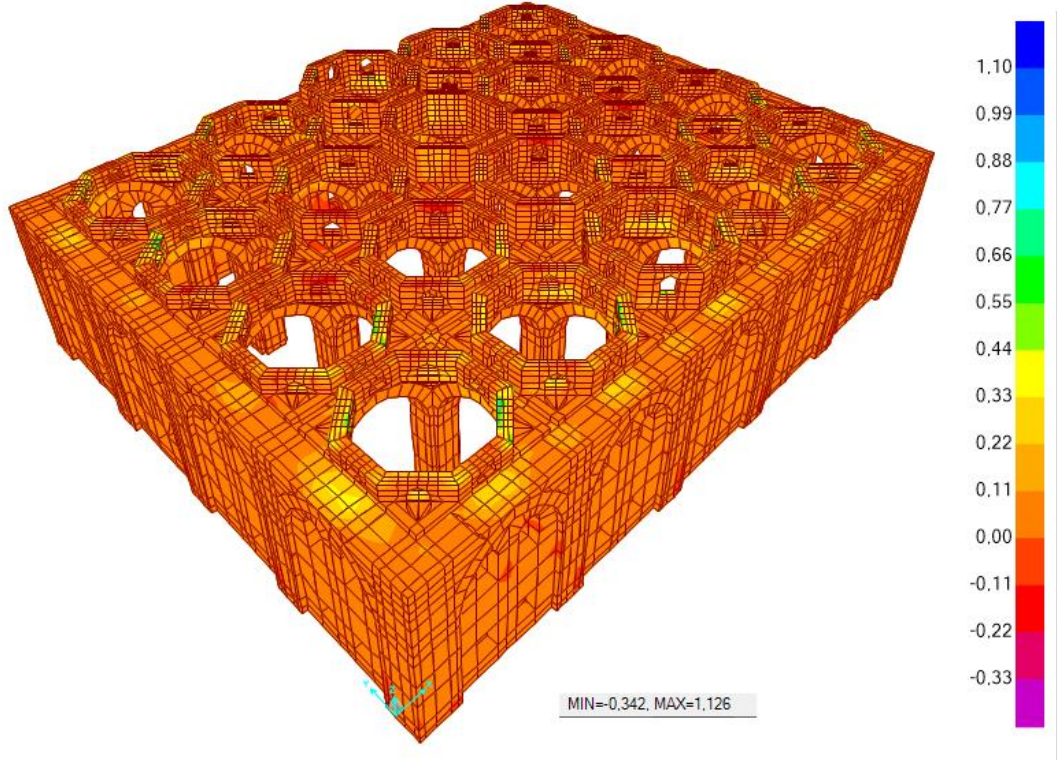
Şekil 4. 24 G + E_x yüklemesi S11 (X doğrultusu) maksimum gerilme dağılımı (MPa)



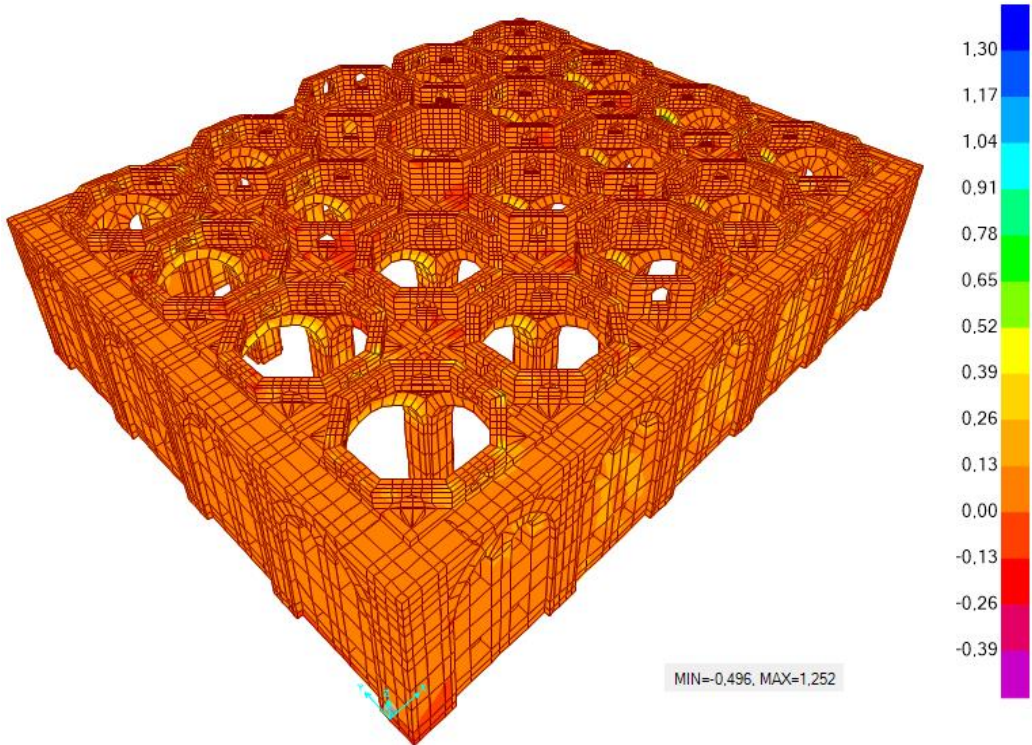
Şekil 4. 25 G + E_x yüklemesi S22 (Y doğrultusu) maksimum gerilme dağılımı (MPa)



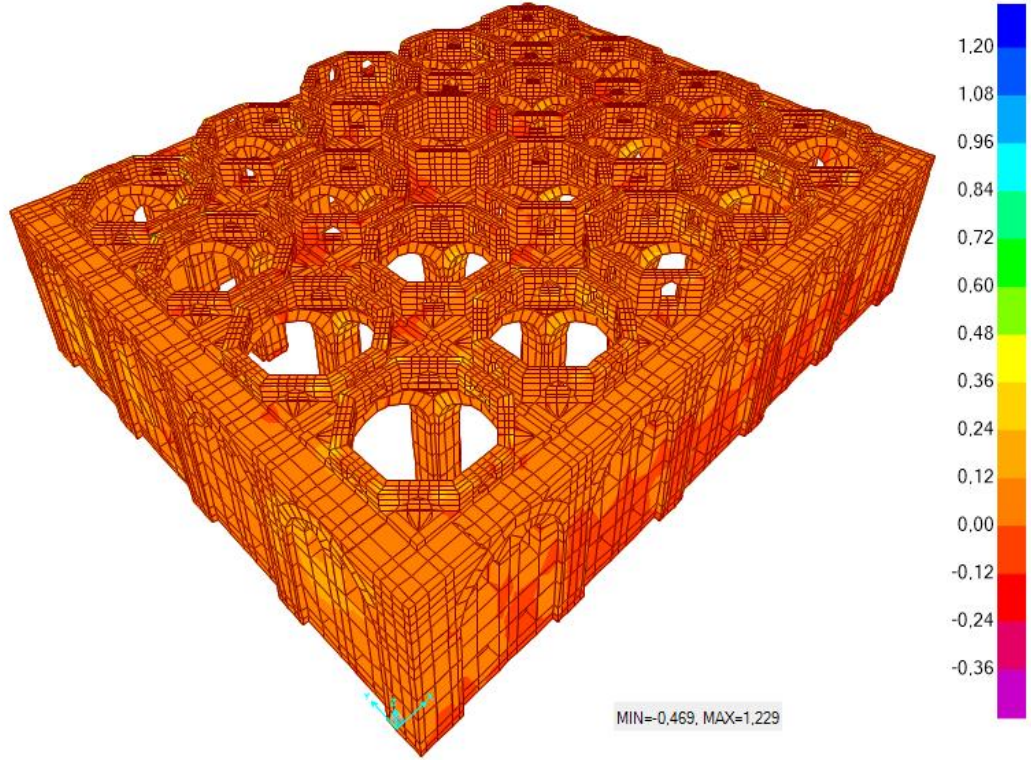
Şekil 4. 26 G + E_x yüklemesi S33 (Z doğrultusu) maksimum gerilme dağılımı (MPa)



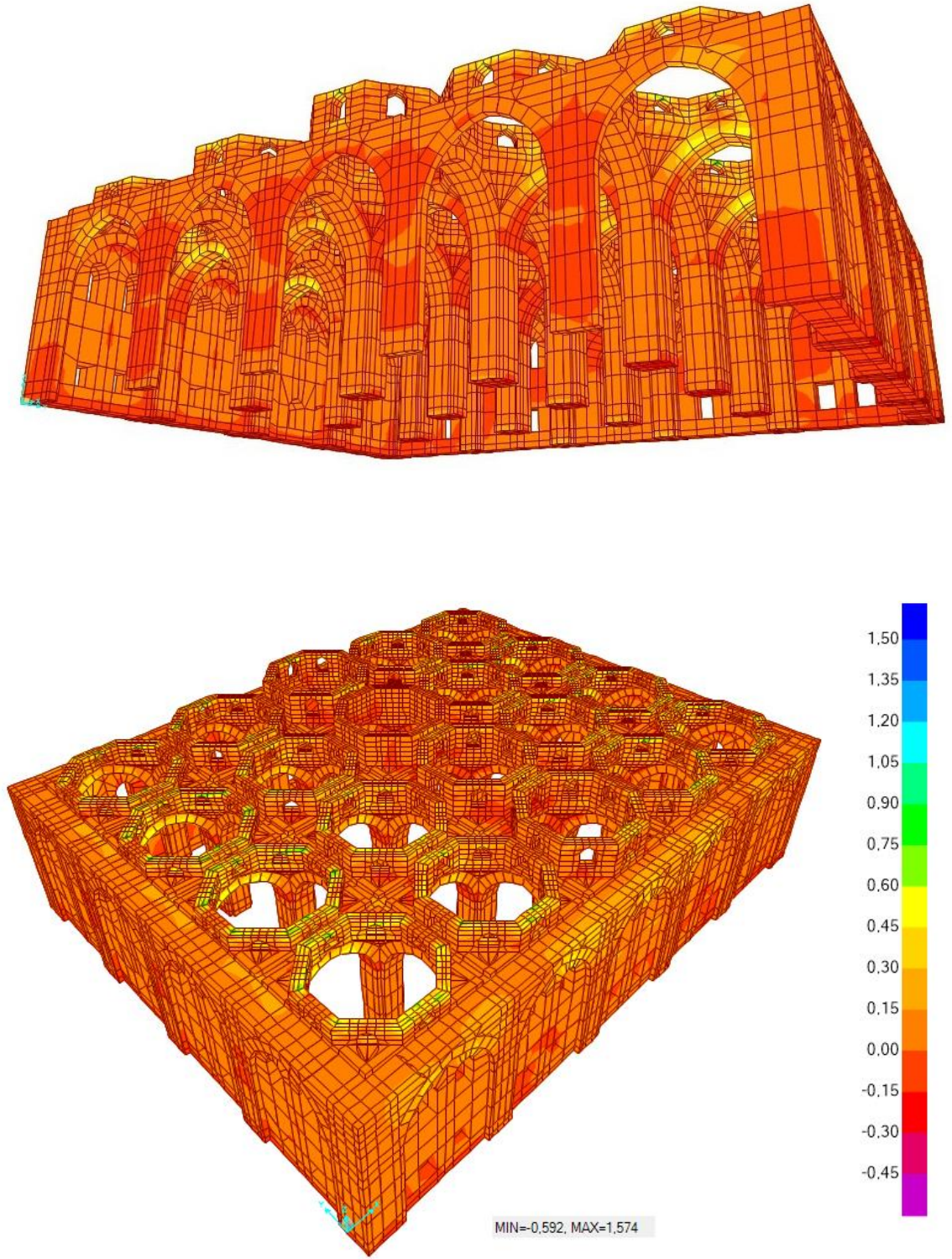
Şekil 4. 27 $G + E_x$ yüklemesi S12 maksimum gerilme dağılımı (MPa)



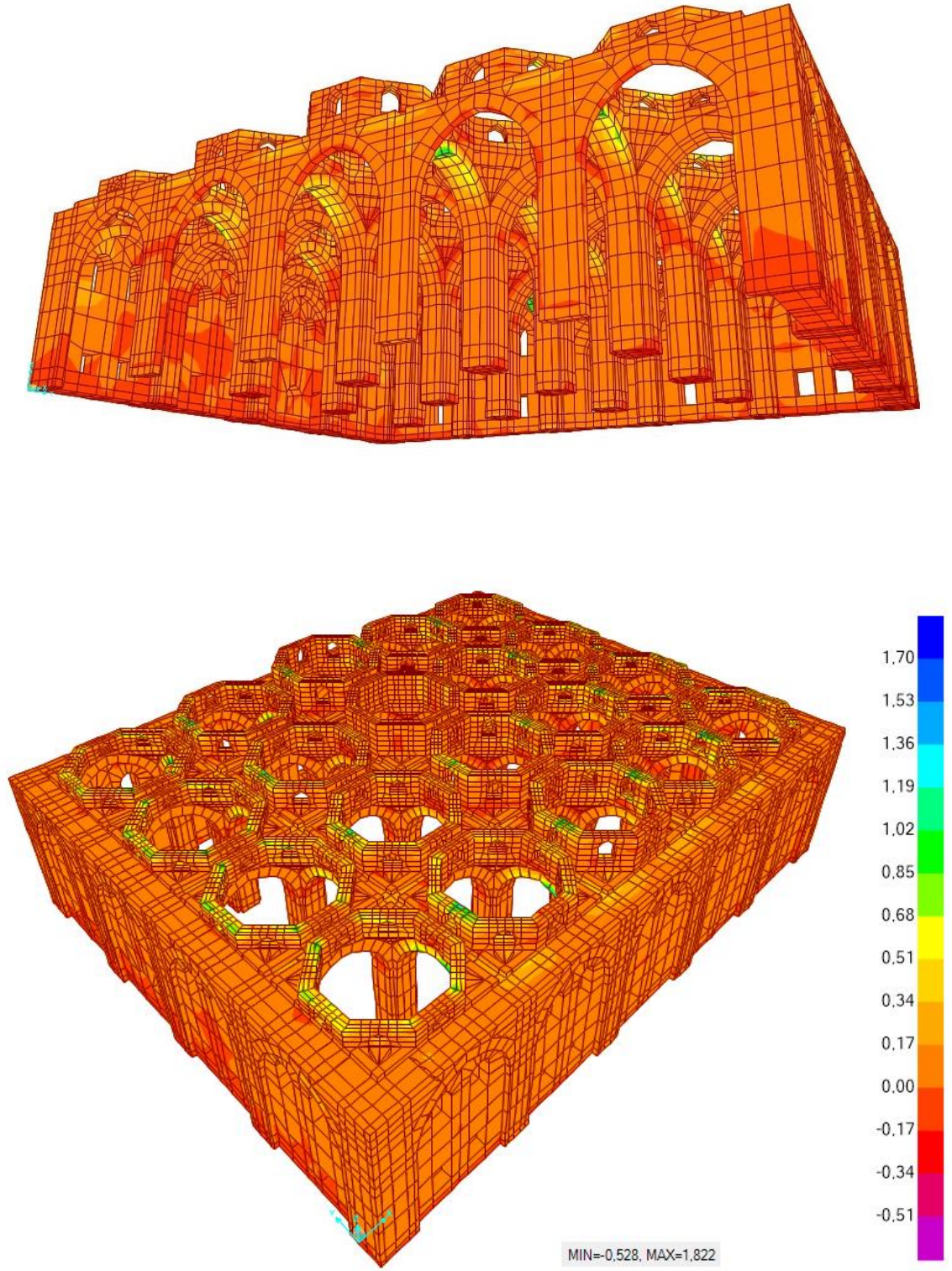
Şekil 4. 28 $G + E_x$ yüklemesi S13 maksimum gerilme dağılımı (MPa)



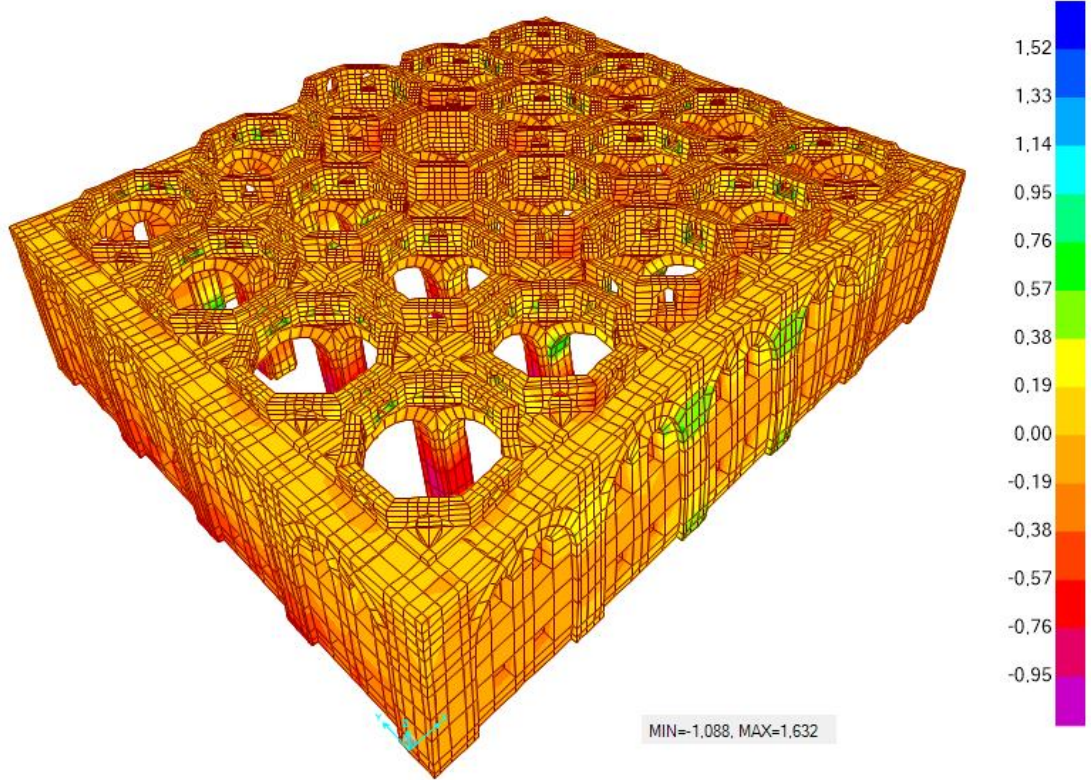
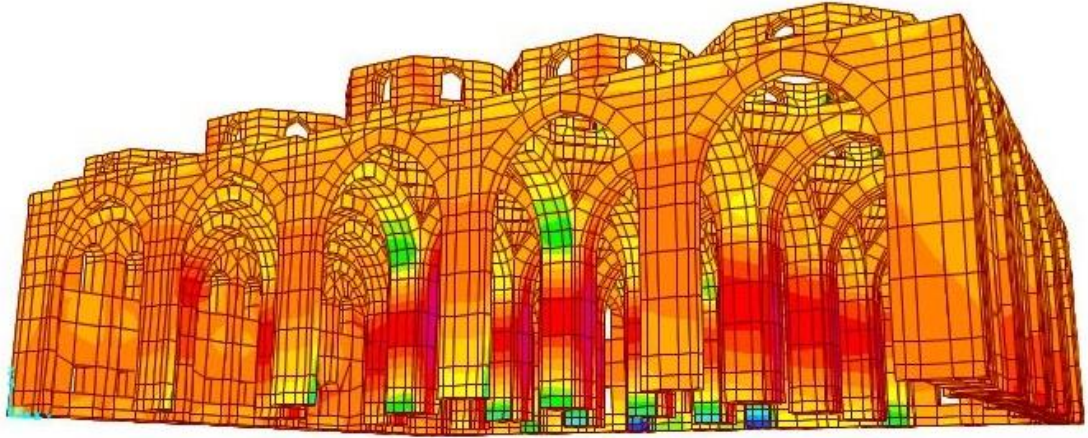
Şekil 4. 29 $G + E_x$ yüklemesi S23 maksimum gerilme dağılımı (MPa)



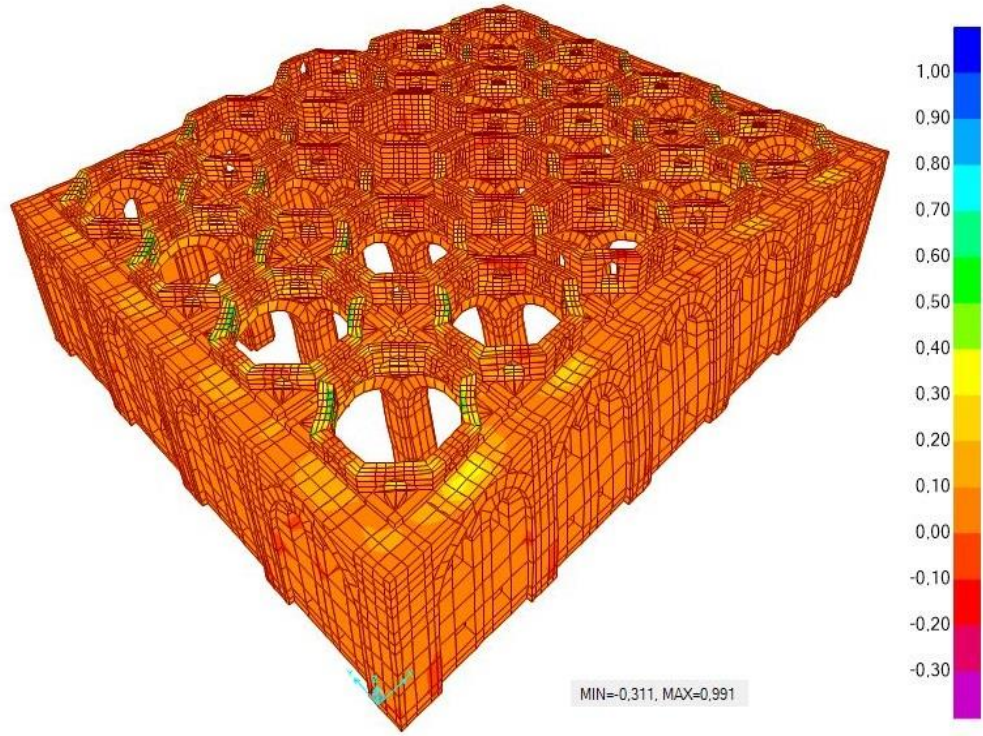
Şekil 4. 30 G + E_y yüklemesi S11(X doğrultusu) maksimum gerilme dağılımı (MPa)



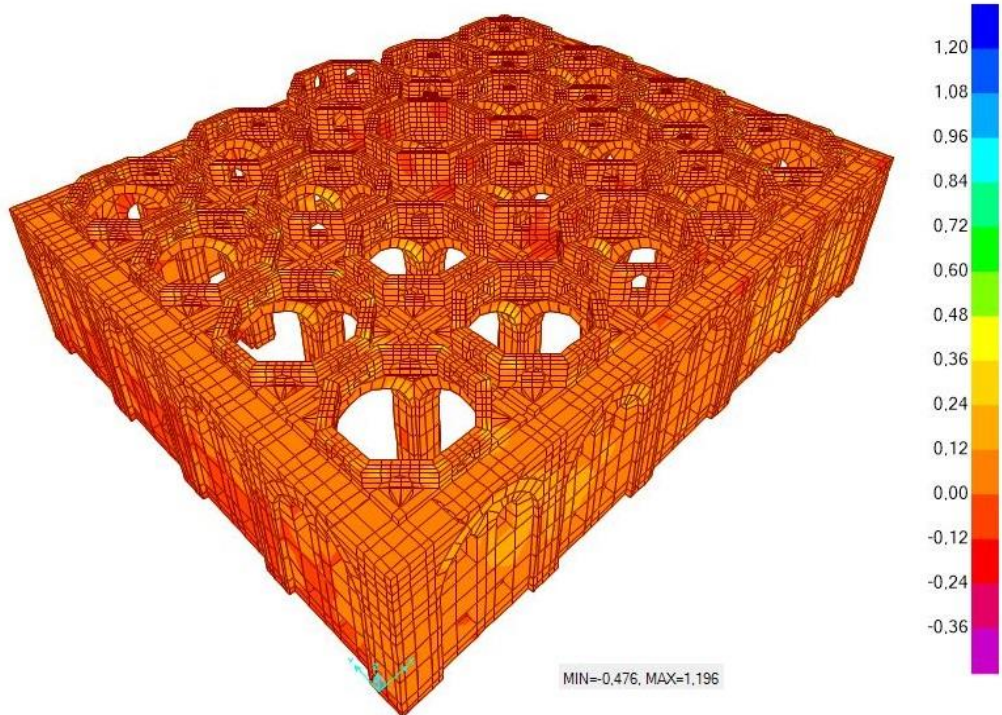
Şekil 4. 31 G + E_y yüklemesi S22(Y doğrultusu) maksimum gerilme dağılımı (MPa)



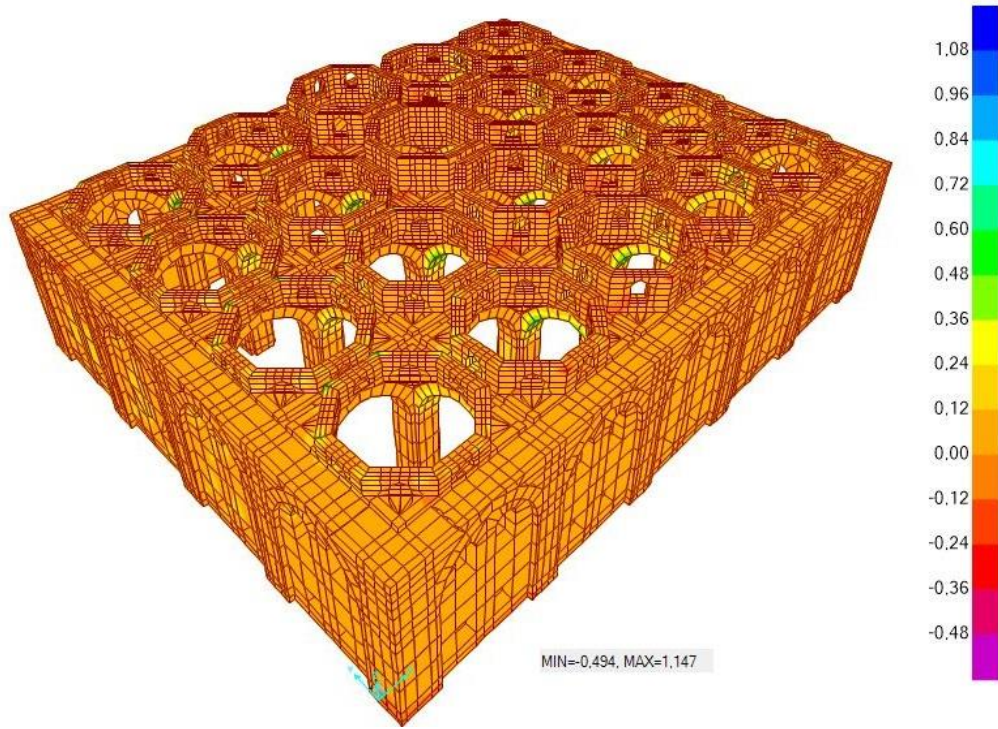
Şekil 4. 32 G + E_y yüklemesi S33 (Z doğrultusu) maksimum gerilme dağılımı (MPa)



Şekil 4. 33 G + E_y yüklemesi S12 maksimum gerilme dağılımı (MPa)



Şekil 4. 34 G + E_y yüklemesi S13 maksimum gerilme dağılımı (MPa)



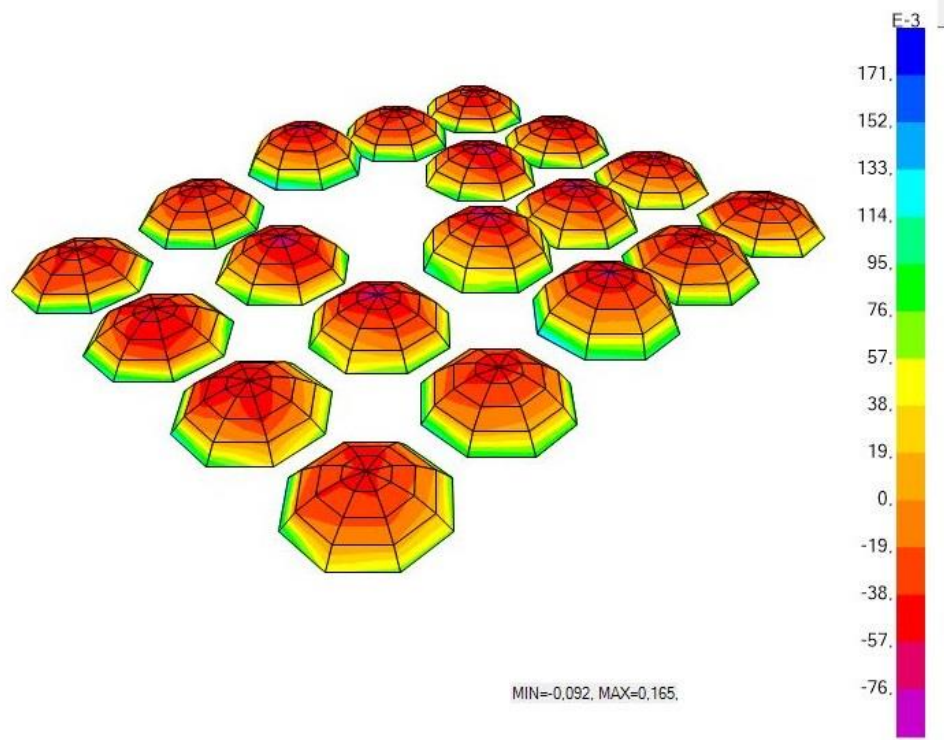
Şekil 4. 35 G + E_y yüklemesi S23 maksimum gerilme dağılımı (MPa)

Yukarıda şekillerde belirtilen Yapılan analizlere göre G + E_x ve G + E_y yüklemelerine ait katı (solid) elemanların gerilmelerinin maksimum ve minimum değerleri Çizelge 4. 3'te verilmiştir.

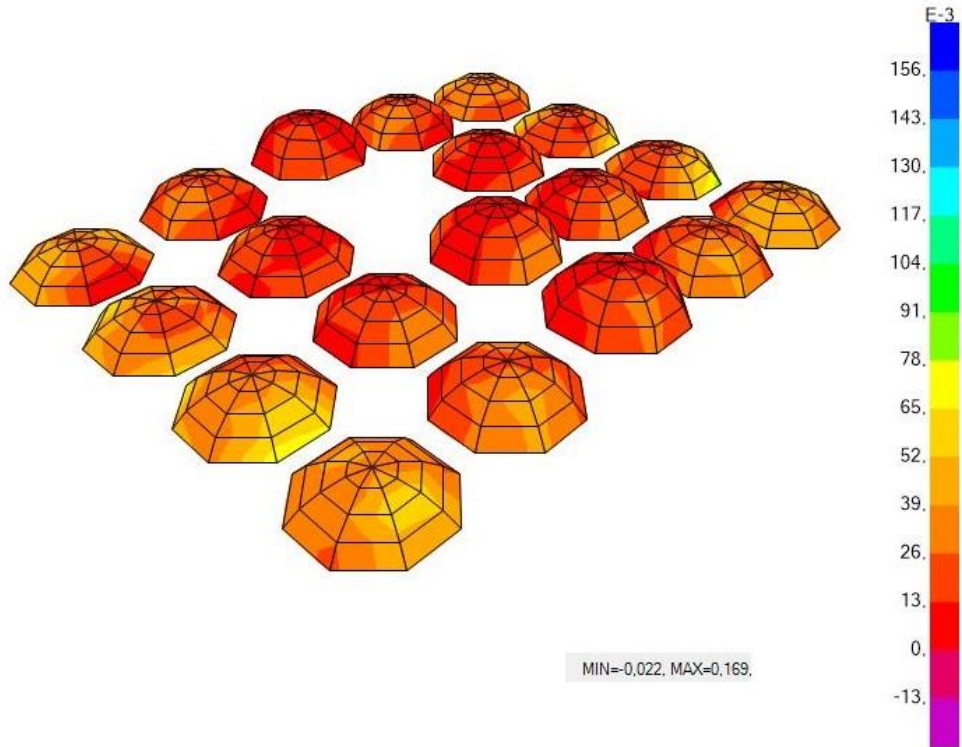
Çizelge 4. 3 Maksimum ve Minimum Gerilme Değerleri

		S11 (MPa)	S22 (MPa)	S33 (MPa)	S12 (MPa)	S13 (MPa)	S23 (MPa)
G+X	MAKSİMUM	1,939	1,817	1,416	1,126	1,252	1,229
G+Y	MAKSİMUM	1,574	1,822	1,632	0,991	1,196	1,147
G+X	MİNİMUM	-0,605	-0,698	-1,112	-0,342	-0,496	-0,469
G+Y	MİNİMUM	-0,592	-0,528	-1,088	-0,311	-0,476	-0,494

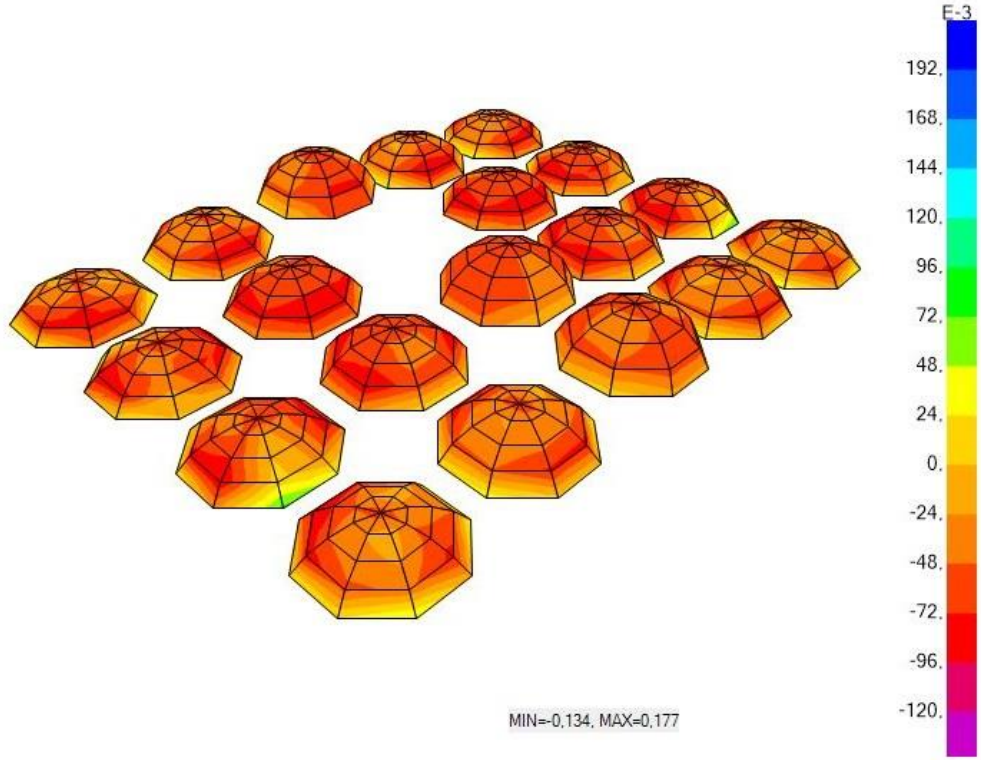
Kabuk (shell) elemanların G + E_x ve G + E_y yüklemeleri altındaki S11, S12 ve S22 gerilme dağılımları Şekil 4. 36 ile Şekil 4. 41 arasındaki şekillerde gösterilmiştir.



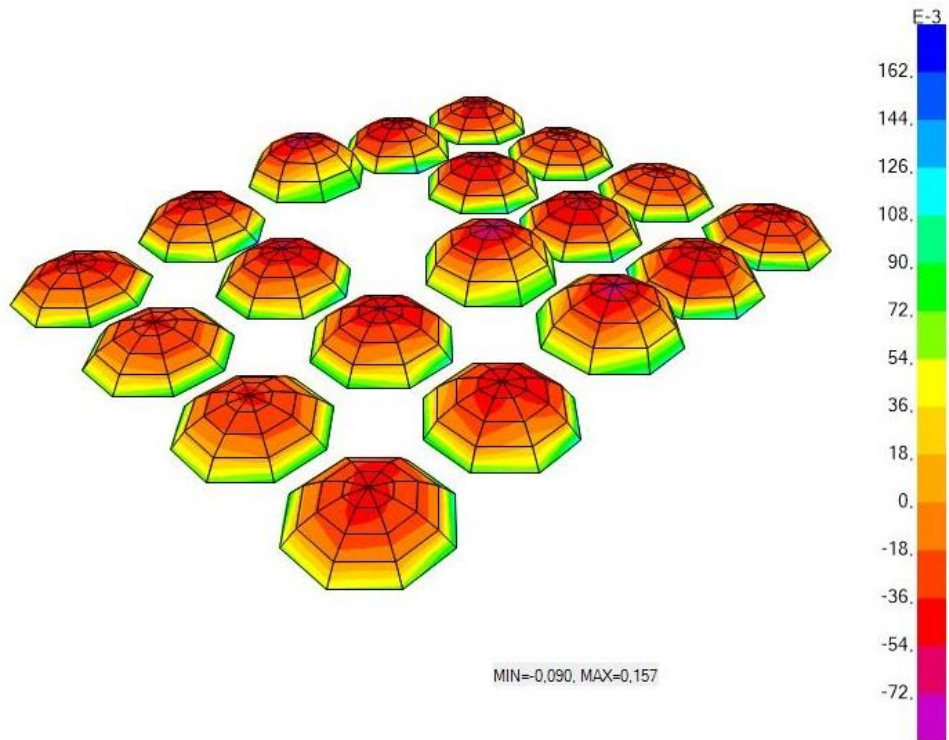
Şekil 4. 36 $G + E_x$ yüklemesi için S11 maksimum gerilme dağılımları (MPa)



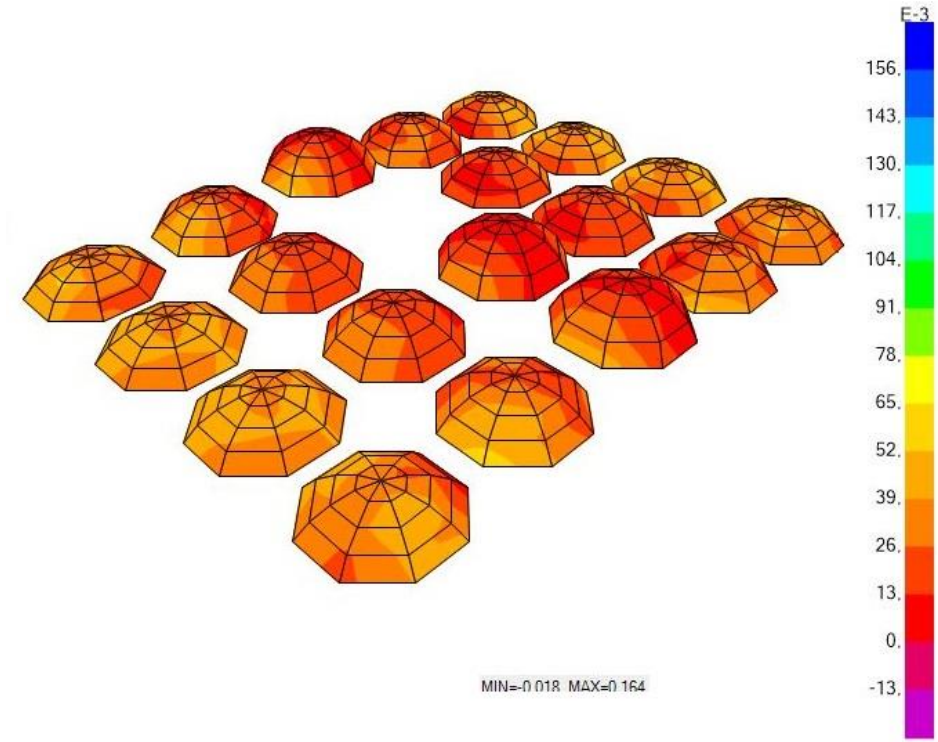
Şekil 4. 37 $G + E_x$ yüklemesi için S12 maksimum gerilme dağılımları (MPa)



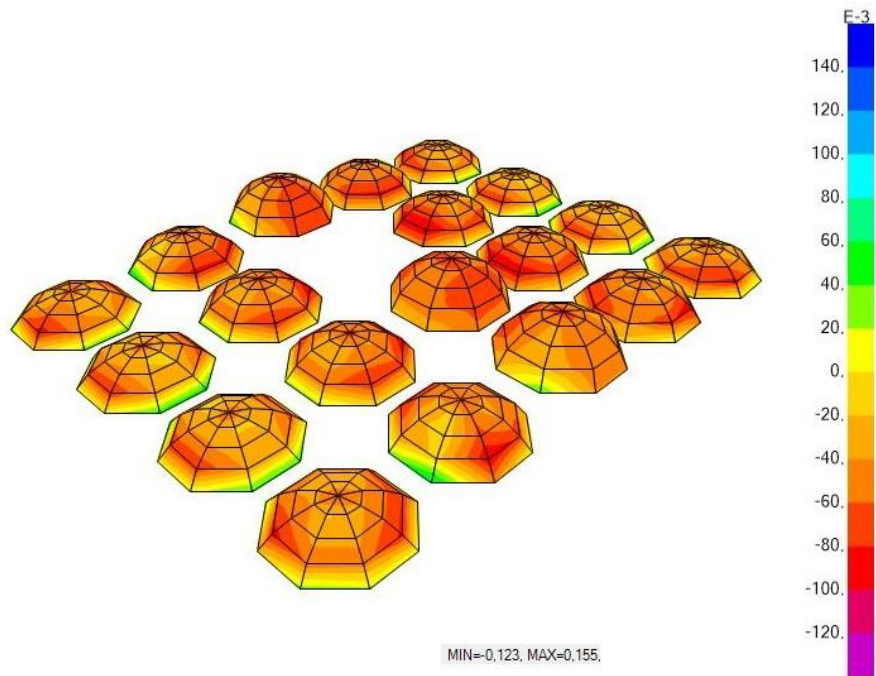
Şekil 4. 38 $G + E_x$ yüklemesi için S22 maksimum gerilme dağılımları (MPa)



Şekil 4. 39 $G + E_y$ yüklemesi için S11 maksimum gerilme dağılımları (MPa)



Şekil 4. 40 G + E_y yüklemesi için S12 maksimum gerilme dağılımları (MPa)



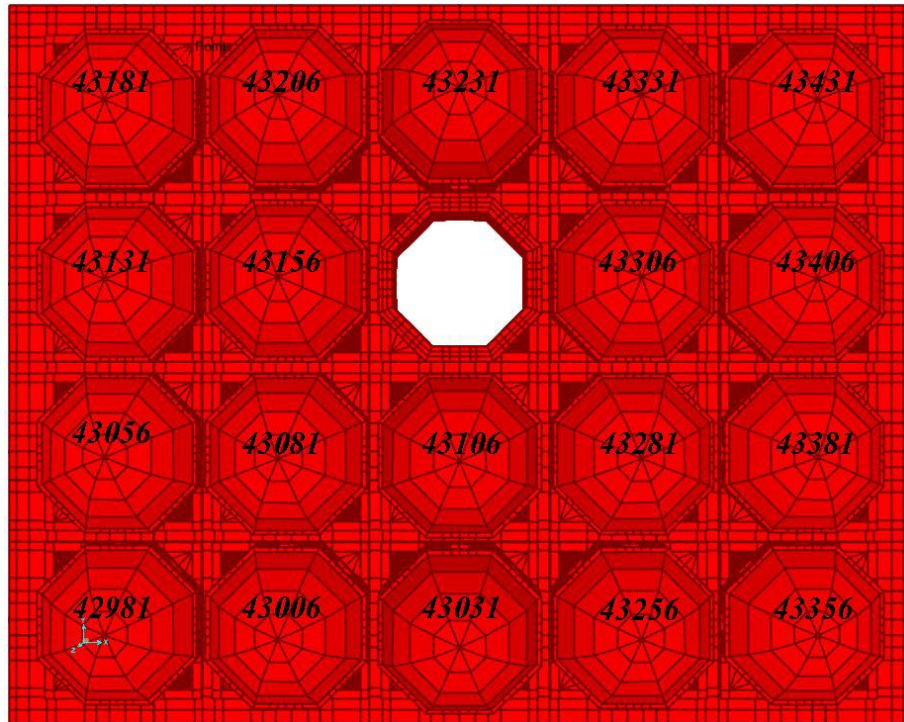
Şekil 4. 41 G + E_y yüklemesi için S22 maksimum gerilme dağılımları (MPa)

Yapılan analizlere göre $G + E_x$ ve $G + E_y$ yüklemelerine ait kabuk (shell) elemanların gerilmelerinin maksimum ve minimum değerleri Çizelge 4. 4'te verilmiştir.

Çizelge 4. 4 Kabuk Elemanları Maksimum ve Minimum Gerilme Değerleri

		S11 (MPa)	S12(MPa)	S22 (MPa)
G+X	MAKSİMUM	0,165	0,169	0,177
G+Y	MAKSİMUM	0,157	0,164	0,155
G+X	MİNİMUM	-0,092	-0,022	-0,134
G+Y	MİNİMUM	-0,090	-0,018	-0,123

Kubbelerin tepe noktalarının isimleri Şekil 4. 42'de gösterilmiştir. Buna göre $G + E_x$ ve $G + E_y$ yüklemeleri için kubbe tepe noktalarında meydana gelen x ve y yönündeki maksimum yer değiştirmeler Çizelge 4. 5'te verilmiştir.



Şekil 4. 42 Kubbe tepe nokta numaraları

Çizelge 4. 5 Kubbe uç düğüm noktalarının x ve y yönündeki maksimum yer değıştirme miktarı (mm)

<i>Düğüm Noktası</i>	(G+EX)		(G+EY)	
	U1	U2	U1	U2
42981	2,1836	0,4177	0,4814	1,8525
43006	1,9590	0,5237	0,1546	4,0274
43031	-2,0692	0,7543	0,0022	5,2851
43256	-2,0027	0,5026	-0,169	4,0066
43356	-2,1912	0,4127	-0,4563	1,8636
43056	4,0134	0,0648	0,4246	1,5745
43081	3,8610	0,0227	0,09	-3,7074
43106	<u>4,2119</u>	-0,0731	0,05	<u>-4,8859</u>
43281	-3,7921	0,02	-0,1035	-3,7007
43381	-3,9117	0,0687	-0,3825	1,592
43131	4,0130	-0,0611	0,4269	1,5568
43156	3,8386	-0,0309	0,367	-3,7233
43306	-3,7752	-0,033	-0,0542	-3,7169
43406	-3,9186	-0,0573	-0,3894	1,575
43181	2,2171	-0,3837	0,4993	-1,7807
43206	1,9908	-0,4784	0,1741	-4,0995
43231	-2,0565	-0,6053	0,0039	-5,3574
43331	-2,0373	-0,4587	-0,1889	-4,0853
43431	-2,2305	-0,382	-0,4756	-1,7924

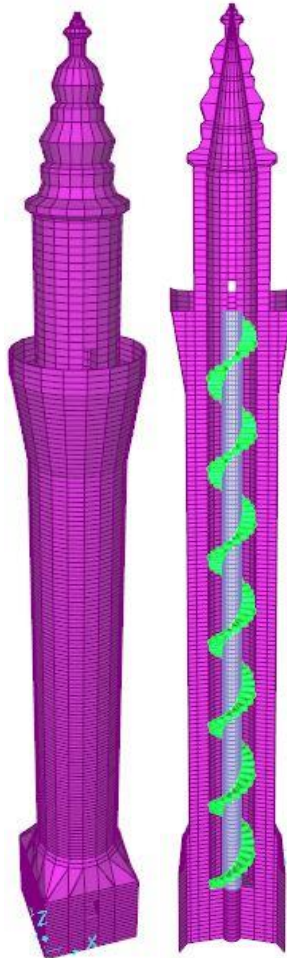
Çizelge 4.5'te görüldüğü üzere $G + E_x$ ve $G + E_y$ yüklemeleri için kubbe tepe noktalarında meydana gelen maksimum yerdeğıştirme orta kubbenin tepe noktası olan 43106 nolu düğüm noktasında $G + E_x$ yüklemesi için; 4,212 mm, $G + E_y$ yüklemesi için -4,886 mm olarak bulunmuştur.

4.4 Doğu Minare Model Ve Analizi

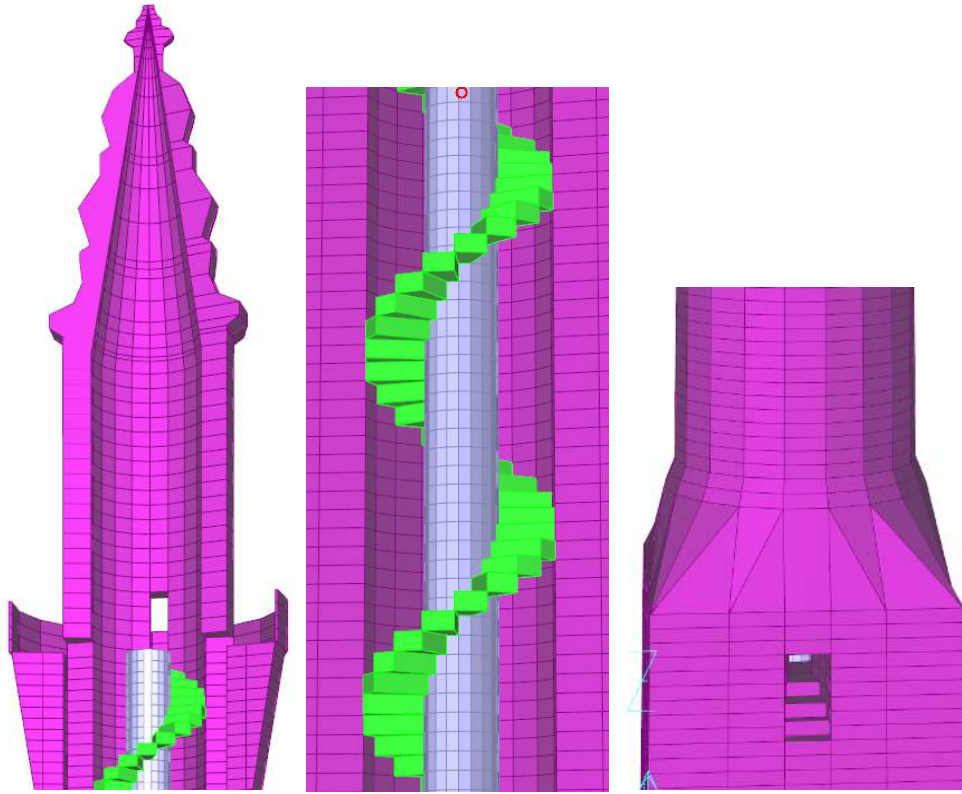
Doğu minare modelinde tüm elemanlar solid (katı) eleman olarak modellenmiştir (Şekil 4. 43 ve Şekil 4. 44). Modelde 14107 adet düğüm noktası sayısı ve 11085 adet katı (solid) eleman bulunmaktadır. Malzeme parametreleriyle ilgili kabuller çeşitli literatür araştırmaları sonucu Çizelge 4. 6'da sunulmuştur.

Çizelge 4. 6 Doğu Minare Malzeme Özellikleri [9]

Yapı Elemanı	Yapı Birimi	Eleman Tipi	Elastisite Modülü (MPa)	Özkütle (kg/m3)	Poisson Oranı
Merdiven, İç Gövde	Taş	Katı	10000	2200	0,20
Diğer Elemanlar	Tuğla	Kabuk	3000	1800	0,18



Şekil 4. 43 Bursa Ulu Camii doğu minare Sap2000 model görüntüleri-1



Şekil 4. 44 Bursa Ulu Camii doğu minare Sap2000 model görüntüleri-2

4.4.1 Modal Analiz

Bursa Ulu Camii doğu minaresinin modal analizinde yapının ilk 30 modu dikkate alınmıştır. Yapının tüm kütesinin salınım hareketine dahil edildiği kütle katılım oranlarına bakıldığında 30 modun yeterli olduğu görülmüştür.

Yapının modal analiz sonuçlarına bakıldığında ilk 30 modda (x) yönündeki kütle katılım oranları toplamının %87,6 ve (y) yönündeki kütle katılım oranları toplamının %87,8 olduğu görülmektedir. (Çizelge 4.7). 30 mod sayısı yeterli görülmüştür.

Çizelge 4. 7 Doğu Minare Modal Analiz Sonuçları

Mod	Period	Frekans	UX	ΣUX	UY	ΣUY	UZ	ΣUZ	RZ	ΣRZ
<u>1</u>	<u>1,595789</u>	<u>0,626649</u>	0,002165	0,002	<u>0,468000</u>	0,468	0,000000	0,000	0,000003	0,000
<u>2</u>	<u>1,591624</u>	<u>0,628289</u>	<u>0,468000</u>	0,470	0,002162	0,470	0,000000	0,000	0,000002	0,000
<u>3</u>	<u>0,312249</u>	<u>3,202572</u>	0,000185	0,470	<u>0,155000</u>	0,625	0,000001	0,000	0,000001	0,000
<u>4</u>	<u>0,310940</u>	<u>3,216055</u>	<u>0,156000</u>	0,626	0,000184	0,626	0,000000	0,000	0,000004	0,000
<u>5</u>	<u>0,186616</u>	<u>5,358597</u>	0,000011	0,626	0,000000	0,626	0,000005	0,000	<u>0,565000</u>	0,565
6	0,148802	6,720340	0,000090	0,626	0,068000	0,693	0,000039	0,000	0,000000	0,565
7	0,147609	6,774655	0,068000	0,694	0,000090	0,693	0,000001	0,000	0,000035	0,565
<u>8</u>	<u>0,116357</u>	<u>8,594240</u>	0,000001	0,694	0,000007	0,693	<u>0,656000</u>	0,656	0,000005	0,565

Çizelge 4. 7 Doğu Minare Modal Analiz Sonuçları (devamı)

9	0,087939	11,371519	0,055000	0,750	0,000120	0,693	0,000005	0,656	0,000002	0,565
10	0,087683	11,404719	0,000115	0,750	0,055000	0,749	0,000000	0,656	0,000000	0,565
11	0,063318	15,793297	0,011000	0,760	0,000003	0,749	0,000001	0,656	0,058000	0,623
12	0,061905	16,153784	0,000641	0,761	0,034000	0,783	0,000002	0,656	0,000513	0,624
13	0,061860	16,165535	0,025000	0,786	0,000810	0,784	0,000000	0,656	0,025000	0,649
14	0,046850	21,344717	0,031000	0,817	0,000276	0,784	0,000060	0,656	0,010000	0,659
15	0,046685	21,420156	0,000140	0,817	0,039000	0,823	0,000501	0,657	0,000241	0,659
16	0,046147	21,669881	0,008618	0,826	0,000057	0,823	0,000145	0,657	0,030000	0,689
17	0,045005	22,219753	0,000085	0,826	0,000248	0,824	0,062000	0,719	0,000045	0,689
18	0,035001	28,570612	0,028000	0,853	0,000304	0,824	0,000002	0,719	0,000024	0,689
19	0,034879	28,670547	0,000271	0,854	0,030000	0,854	0,000030	0,719	0,000002	0,689
20	0,033616	29,747739	0,000041	0,854	0,000001	0,854	0,000001	0,719	0,108000	0,797
21	0,031951	31,297925	0,000000	0,854	0,000001	0,854	0,060000	0,779	0,000001	0,797
22	0,031749	31,497055	0,000001	0,854	0,000000	0,854	0,000000	0,779	0,000000	0,797
23	0,031748	31,498047	0,000000	0,854	0,000000	0,854	0,000000	0,779	0,000000	0,797
24	0,029963	33,374495	0,007275	0,861	0,000004	0,854	0,000000	0,779	0,000124	0,797
25	0,029701	33,668900	0,000003	0,861	0,006510	0,860	0,000009	0,779	0,000000	0,797
26	0,027830	35,932447	0,000000	0,861	0,000000	0,860	0,000000	0,779	0,000000	0,797
27	0,027827	35,936321	0,000000	0,861	0,000000	0,860	0,000000	0,779	0,000000	0,797
28	0,026417	37,854412	0,015000	0,876	0,000195	0,861	0,000002	0,779	0,000192	0,798
29	0,026338	37,967955	0,000151	0,876	0,018000	0,878	0,000001	0,779	0,000025	0,798
30	0,026231	38,122832	0,000001	0,876	0,000000	0,878	0,000000	0,779	0,000000	0,798

Modal analiz sonuçları neticesinde Çizelge 4.7’de gösterilen değerler incelendiğinde, 1. modda y yönü hakim olup periyodu 1,595789 saniye, 2. modda x yönü hakim olup periyodu 1,591624 saniye, 3. modda y yönü haki olup periyodu 0,312249 saniye, 4. modda x yönü hakim olup periyodu 0,31094 saniye, 5. modda burulma modu olup periyodu 0,565 saniye ve 8 mod dönme modu olup periyodu 0,116357 saniyedir (Şekil 4.45).



Mod :1 (y)
T=1,595789, F=0,626649



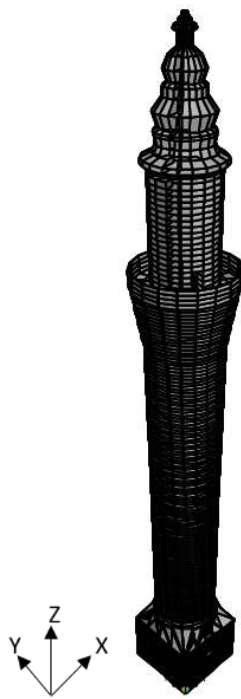
Mod : 2(x)
T=1,591624, F=0,628289



Mod:3 (y)
T=0,312249, F=3,202572



Mod :4 (x)
T=0,310940, F=3,21606



Mod : 5(burulma)
T=0,186616, F=5,35860

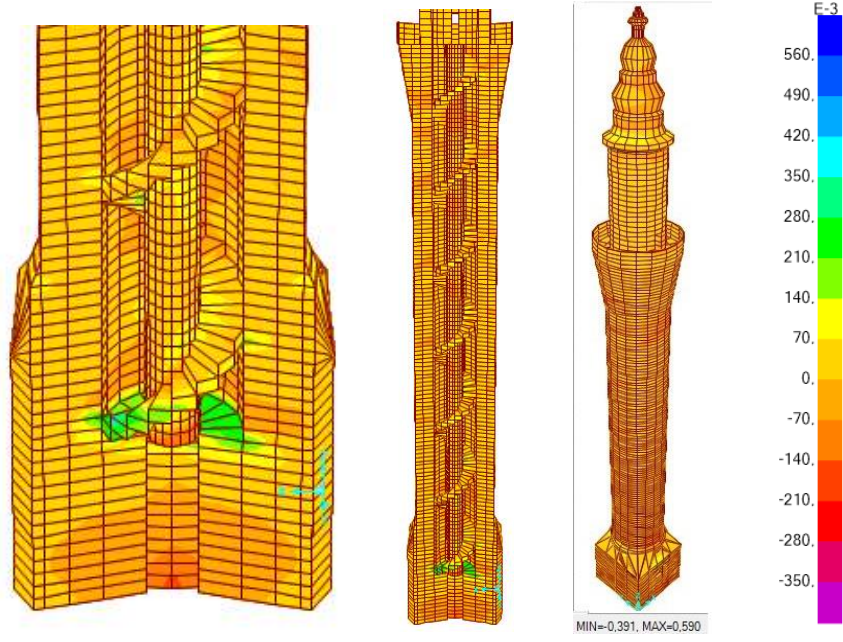


Mod: 8 (dönme)
T=0,116357, F=8,59424

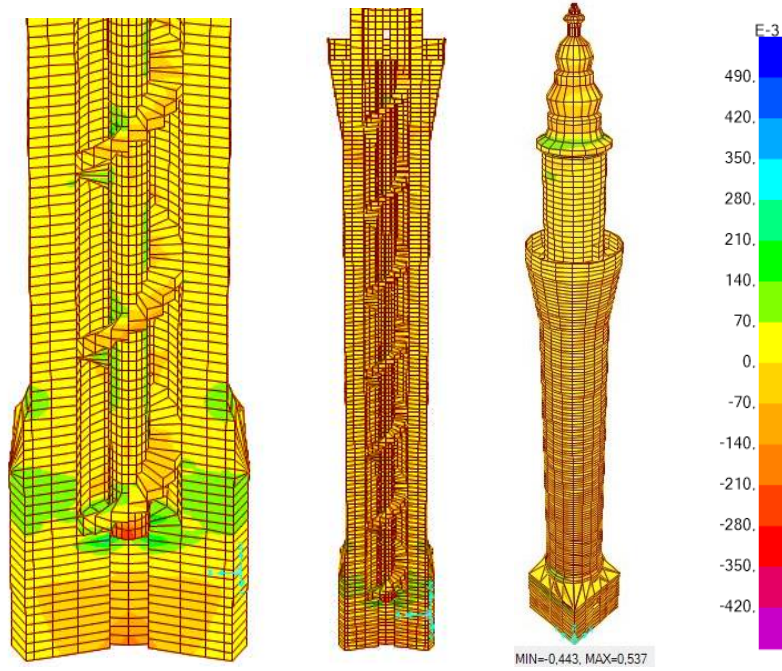
Şekil 4. 45 Doğu minare mod şekilleri

4.4.2 Deprem Analizi

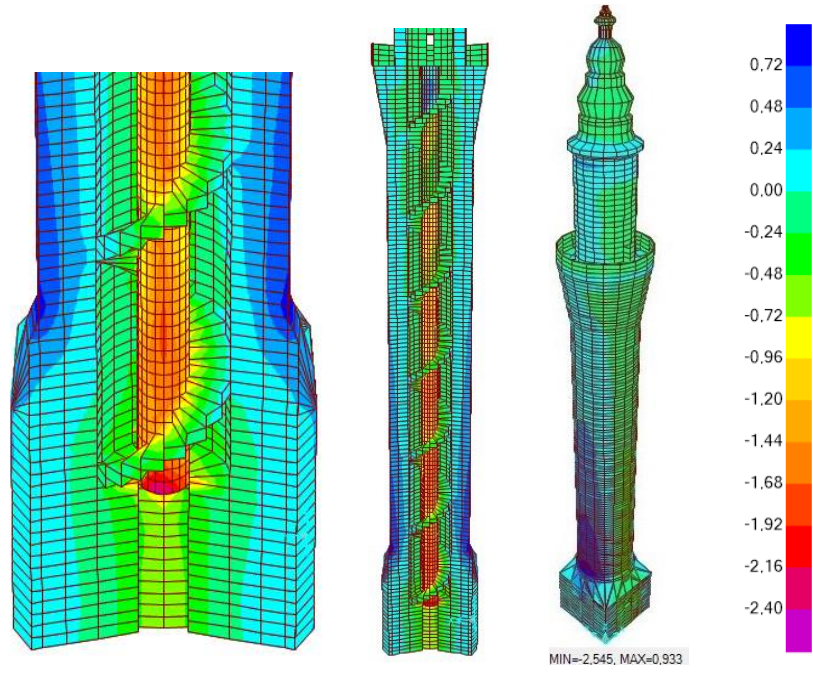
Kocaeli deprem kaydının doğu-batı ve kuzey-güney yönlerinin modele etki ettirilmesi sonucunda meydana gelen maksimum gerilmelerin dağılımı Şekil 4. 46'dan başlayarak Şekil 4. 51'e kadar gösterilmiştir. Çizelge 4.8'de gerilme değerlerinin max. ve min. değerleri tablo halinde verilmiştir.



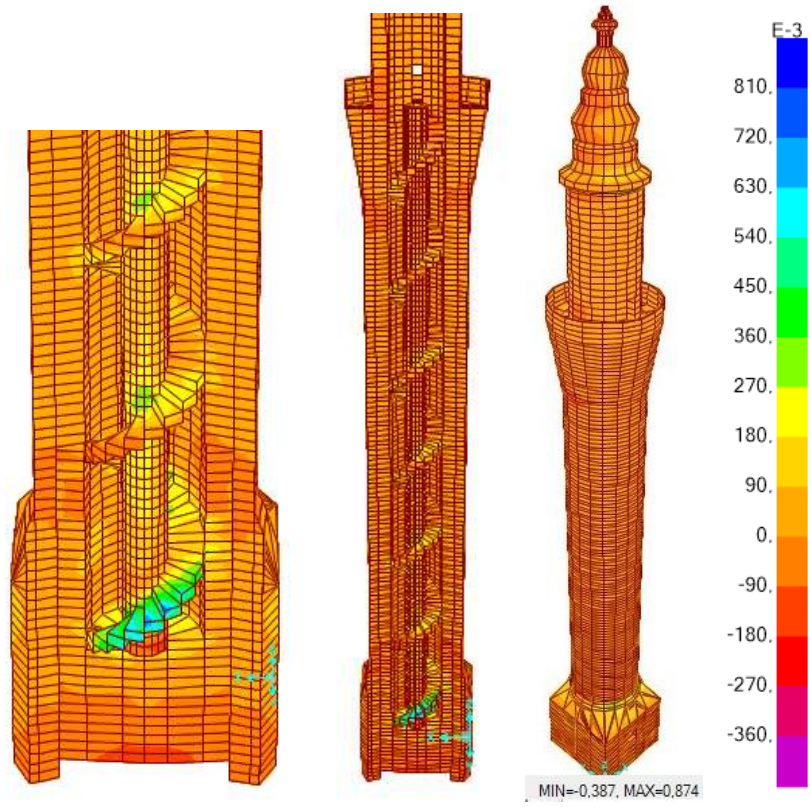
Şekil 4.46 G + E_x yüklemesi için S11 (X doğrultusu) maksimum gerilme dağılımı (MPa)



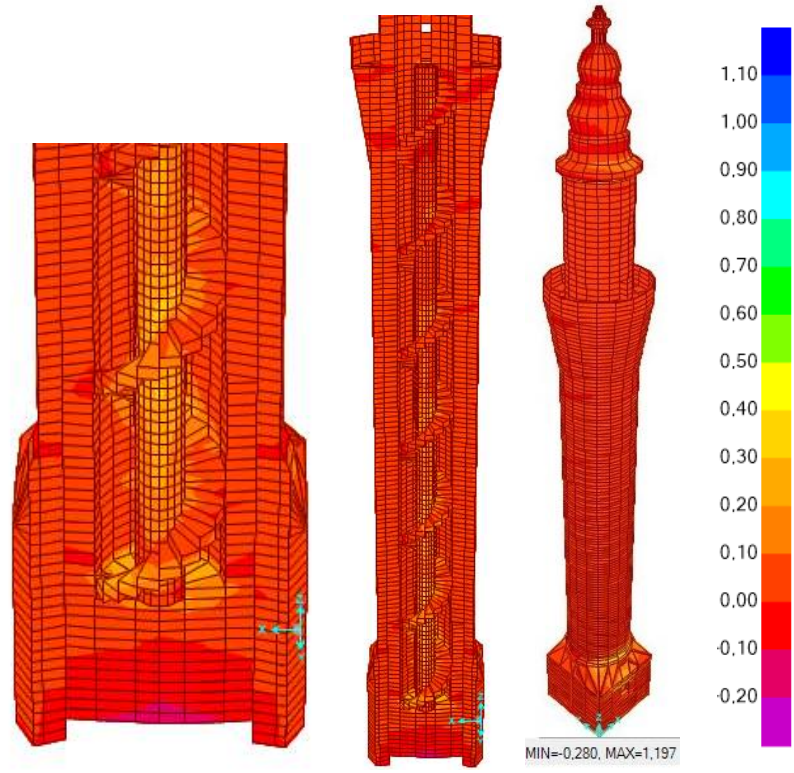
Şekil 4. 47 G + E_x yüklemesi için S22 (Y doğrultusu) maksimum gerilme dağılımı (MPa)



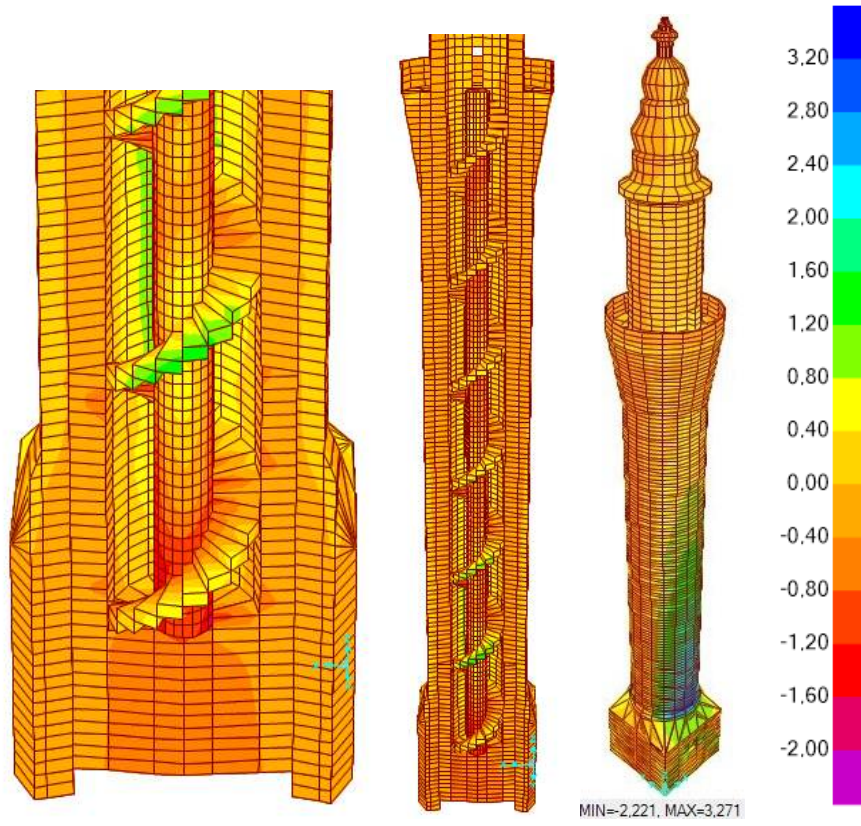
Şekil 4. 48 G + E_x yüklemesi S33 (Z doğrultusu) maksimum gerilme dağılımı (MPa)



Şekil 4. 49 G + E_y yüklemesi S11 (X doğrultusu) maksimum gerilme dağılımı (MPa)



Şekil 4. 50 G + E_y yüklemesi S22 (Y doğrultusu) maksimum gerilme dağılımı (MPa)



Şekil 4. 51 G + E_y yüklemesi S33 (Z doğrultusu) maksimum gerilme dağılımı (MPa)

Çizelge 4. 8 $G + E_x$ ve $G + E_y$ yüklemeleri için oluşan gerilme değerleri

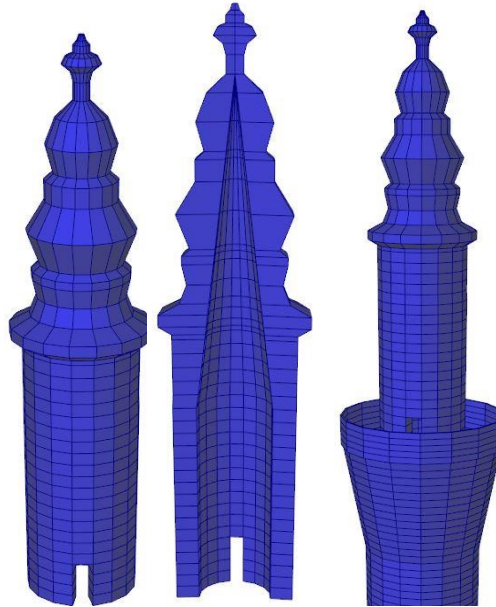
		<u>Gerilmeler</u>	<u>S11</u>	<u>S22</u>	<u>S33</u>
$(G+X)$	Maksimum	<i>Çekme Gerilmesi</i>	0,590	0,537	0,933
		<i>Basınç Gerilmesi</i>	-0,391	-0,443	-2,545
$(G+Y)$	Maksimum	<i>Çekme Gerilmesi</i>	0,874	1,197	3,271
		<i>Basınç Gerilmesi</i>	-0,387	-0,280	-2,221

4.5 Batı Minare Model Ve Analizi

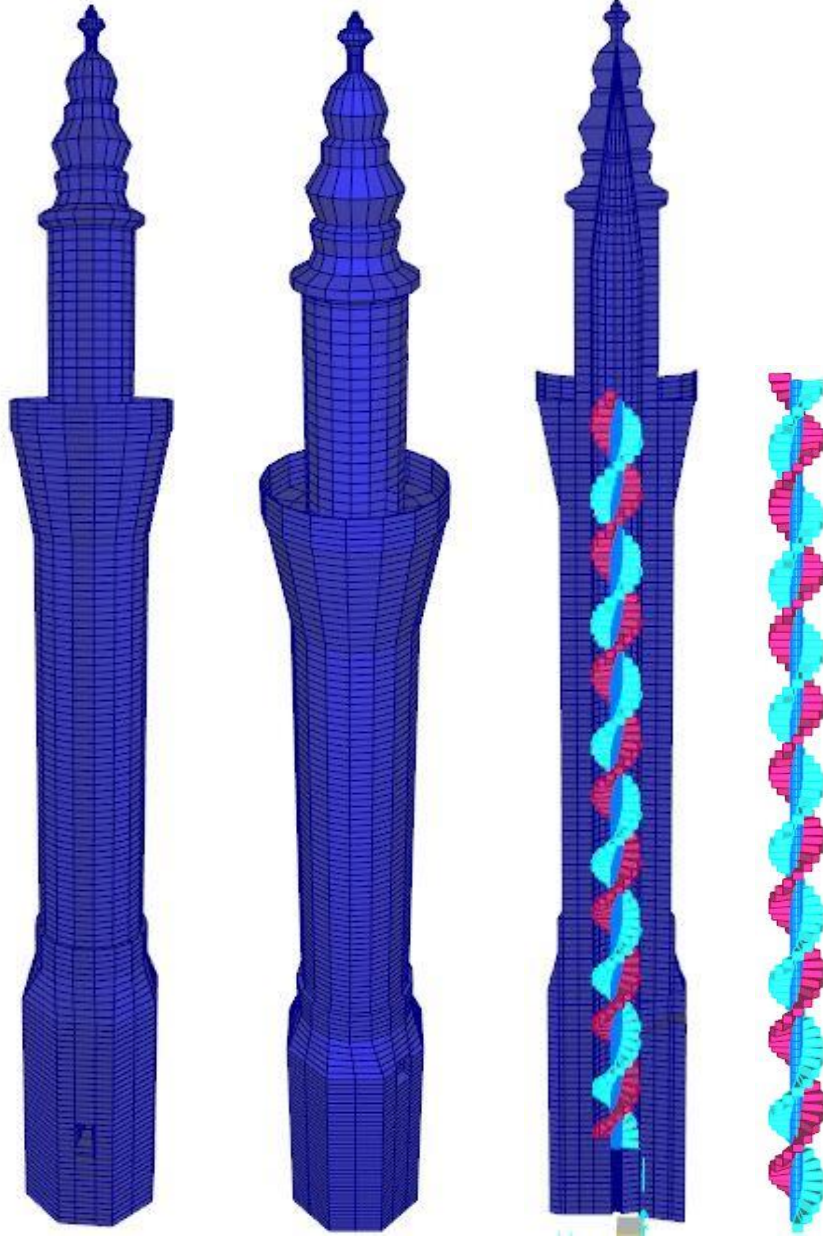
Batı minare modelinde tüm elemanlar solid (katı) eleman olarak modellenmiştir. Modelde 14.150 adet düğüm noktası sayısı ve 11.189 adet katı (solid) eleman bulunmaktadır.

Doğu minaresinde alınan malzeme özellikleri batı minare içinde aynı şekilde kabul edilmiştir (Çizelge 4.6).

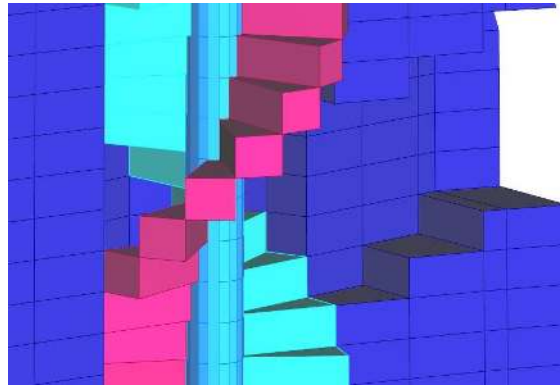
Sap2000’de oluşturulan model görüntüleri Şekil 4-52, 4-53 ve 4-54’te verilmiştir.



Şekil 4. 52 Ulu Camii batı minare Sap2000 modeli görüntüleri (külâh ve şerefe detayı)



Şekil 4. 53 Ulu Camii batı minare Sap2000 model görüntüleri



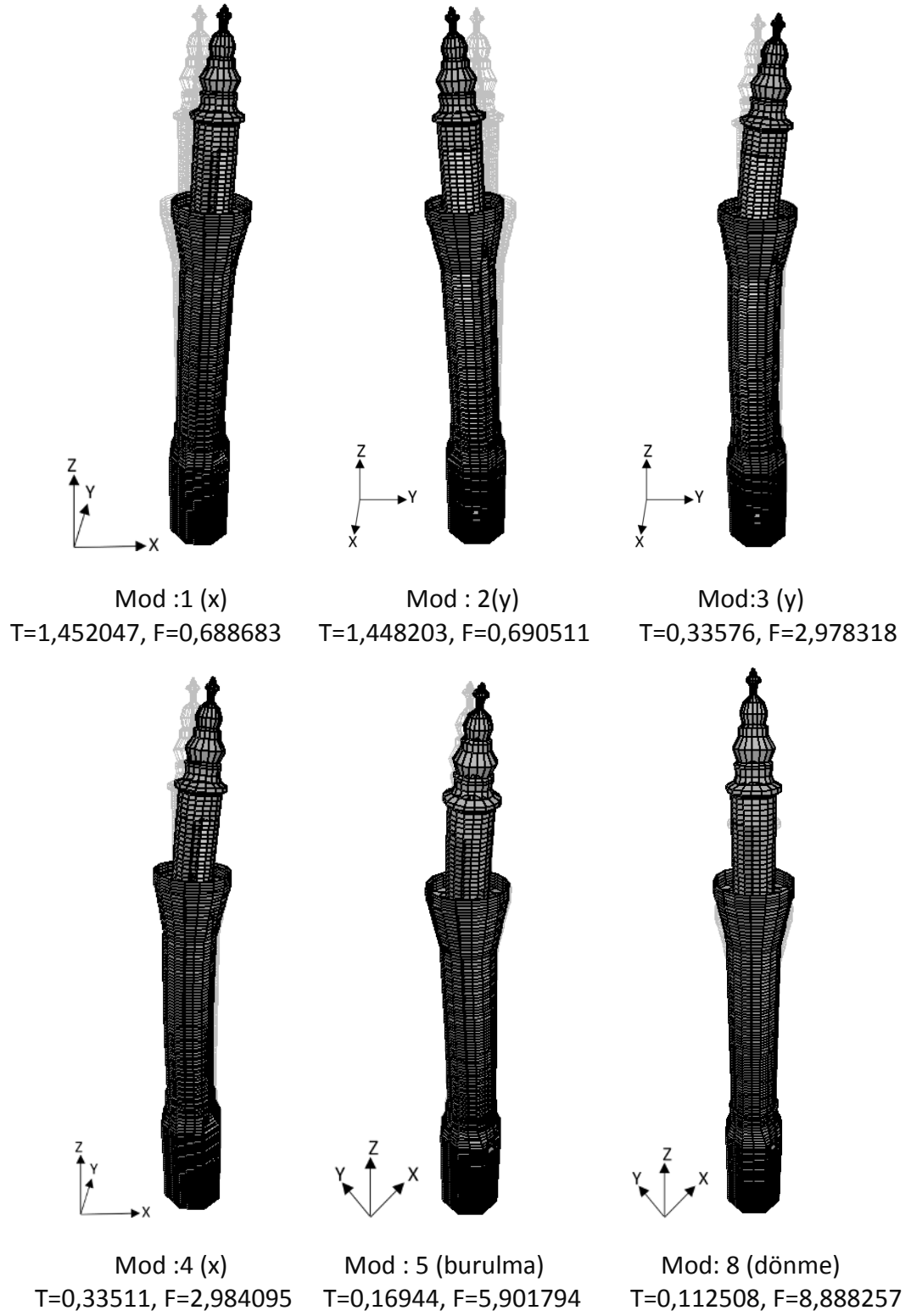
Şekil 4. 54 Ulu Camii batı minare Sap2000 modeli görüntüsü (merdiven detayı)

4.5.1 Modal Analiz

Bursa Ulu Camii batı minaresinin modal analizinde yapının ilk 30 modu dikkate alınmıştır. Yapının modal analiz sonuçlarına bakıldığında ilk 30 modda (x) yönündeki kütle katılım oranları toplamının %91 ve (y) yönündeki kütle katılım oranlarının toplamının da %91 olduğu görülmektedir (Çizelge 4.9). 30 modun yeterli olduğu görülmüştür. Çizelge 4.9’da belirtildiği gibi etkin mod şekilleri periyotları ve frekansları ile birlikte Şekil 4. 55’te verilmiştir.

Çizelge 4. 9 Batı Minare Modal Analiz Sonuçları

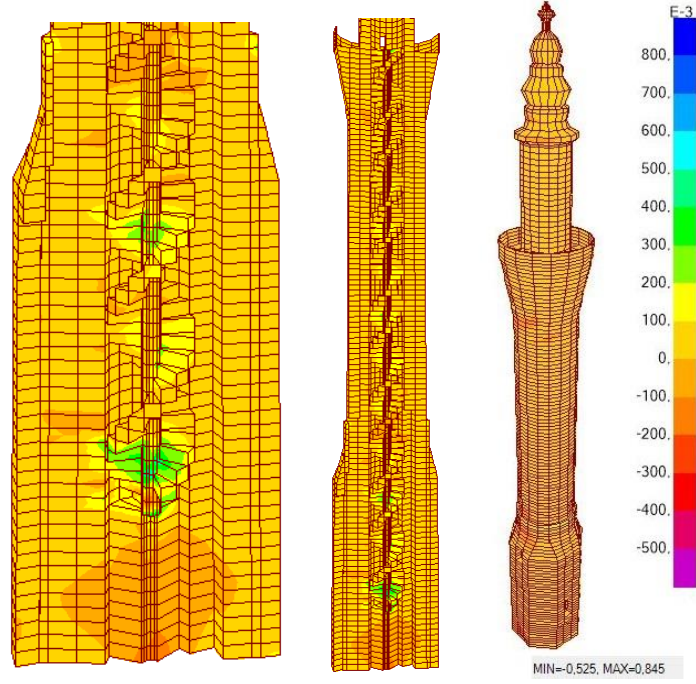
Mod	Periyot	Frekans	UX	ΣUX	UY	ΣUY	UZ	ΣUZ	RZ	ΣRZ
1	1,452047	0,688683	0,420000	0,42	0,011070	0,01	0,000000	0,00	0,000000	0,00
2	1,448203	0,690511	0,011100	0,44	0,420000	0,43	0,000000	0,00	0,000007	0,00
3	0,335760	2,978318	0,000501	0,44	0,190000	0,62	0,000000	0,00	0,000027	0,00
4	0,335110	2,984095	0,190000	0,63	0,000506	0,62	0,000005	0,00	0,000005	0,00
5	0,169440	5,901794	0,001200	0,63	0,060400	0,69	0,000012	0,00	0,230000	0,23
6	0,168319	5,941100	0,005590	0,63	0,047140	0,73	0,000028	0,00	0,270000	0,50
7	0,167227	5,979896	0,097220	0,73	0,000617	0,73	0,000002	0,00	0,033350	0,53
8	0,112508	8,888257	0,000011	0,73	0,000043	0,73	0,640000	0,64	0,000035	0,53
9	0,092581	10,801352	0,000006	0,73	0,070630	0,80	0,000201	0,64	0,000021	0,53
10	0,091939	10,876777	0,067910	0,80	0,000007	0,80	0,000002	0,64	0,000040	0,53
11	0,065395	15,291689	0,000040	0,80	0,000011	0,80	0,000006	0,64	0,250000	0,78
12	0,058986	16,953175	0,029670	0,83	0,000088	0,80	0,000001	0,64	0,002231	0,78
13	0,058770	17,015484	0,000094	0,83	0,029630	0,83	0,000008	0,64	0,000711	0,78
14	0,052111	19,189806	0,000772	0,83	0,000007	0,83	0,000002	0,64	0,063710	0,85
15	0,047188	21,191828	0,000002	0,83	0,024860	0,86	0,000408	0,64	0,000281	0,85
16	0,046939	21,304246	0,028170	0,86	0,000002	0,86	0,000043	0,64	0,000045	0,85
17	0,043760	22,851920	0,000000	0,86	0,000146	0,86	0,140000	0,78	0,000010	0,85
18	0,038441	26,013891	0,000001	0,86	0,000003	0,86	0,000020	0,78	0,039470	0,89
19	0,036929	27,078989	0,015840	0,87	0,000079	0,86	0,000007	0,78	0,000099	0,89
20	0,036763	27,201262	0,000098	0,87	0,015020	0,87	0,000006	0,78	0,000225	0,89
21	0,033642	29,724749	0,019240	0,89	0,000055	0,87	0,000040	0,78	0,000000	0,89
22	0,033584	29,776084	0,000055	0,89	0,017130	0,89	0,000457	0,78	0,000093	0,89
23	0,032263	30,995258	0,000022	0,89	0,000083	0,89	0,079150	0,86	0,000001	0,89
24	0,029582	33,804340	0,000000	0,89	0,000000	0,89	0,000000	0,86	0,000000	0,89
25	0,029582	33,804340	0,000000	0,89	0,000000	0,89	0,000000	0,86	0,000000	0,89
26	0,028003	35,710460	0,000002	0,89	0,000000	0,89	0,000000	0,86	0,000000	0,89
27	0,027998	35,716837	0,000000	0,89	0,000000	0,89	0,000000	0,86	0,000000	0,89
28	0,027055	36,961745	0,013810	0,91	0,000031	0,89	0,000024	0,86	0,000020	0,89
29	0,026789	37,328754	0,000044	0,91	0,016100	0,91	0,000005	0,86	0,000048	0,89
30	0,025026	39,958443	0,000020	0,91	0,000010	0,91	0,000001	0,86	0,017240	0,91



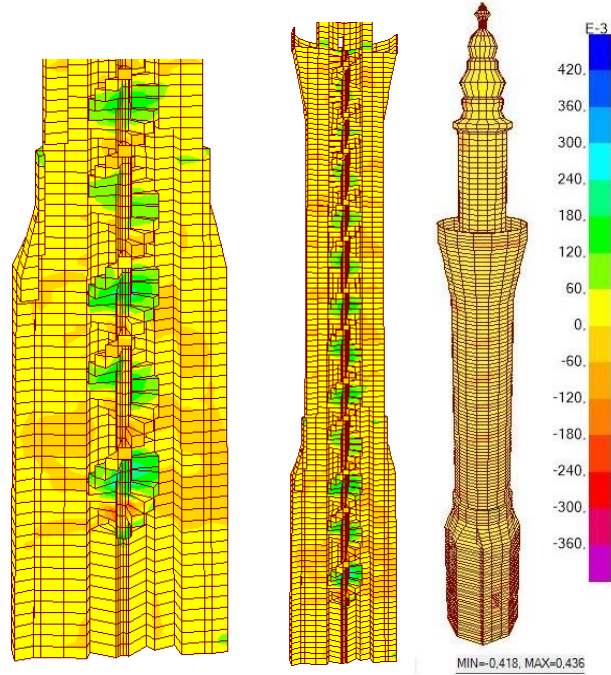
Şekil 4. 55 Bursa Ulu Camii batı minaresinin etkin mod şekilleri

4.5.2 Deprem Analizi

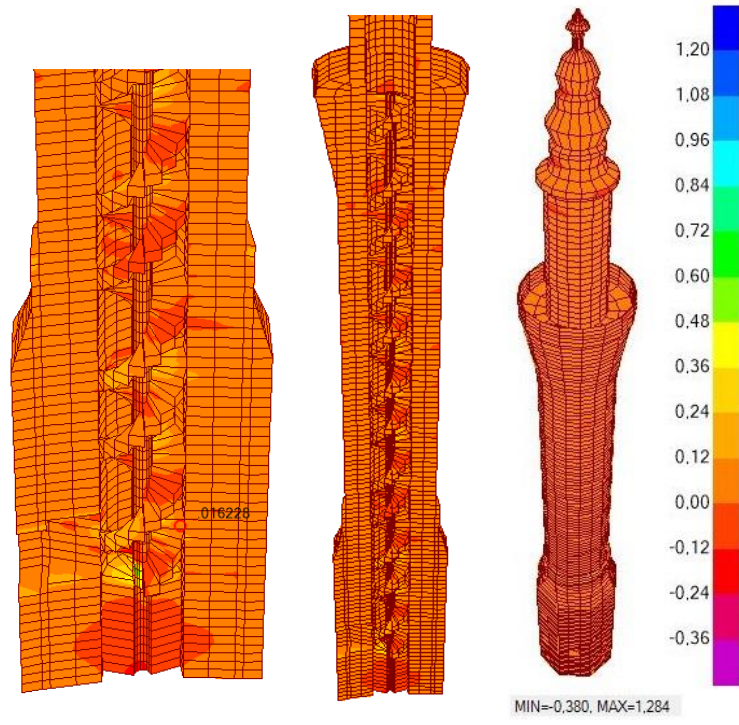
Kocaeli deprem kaydının doğu-batı ve kuzey-güney bileşeninin, üretilen modele etki ettirilmesi sonucunda meydana gelen maksimum ve minimum gerilmelerin dağılımı Şekil 4. 56’tan başlayarak Şekil 4. 63 arasında gösterilmiştir. Çizelge 4.10’da gerilme değerlerinin max. ve min. değerleri tablo halinde verilmiştir.



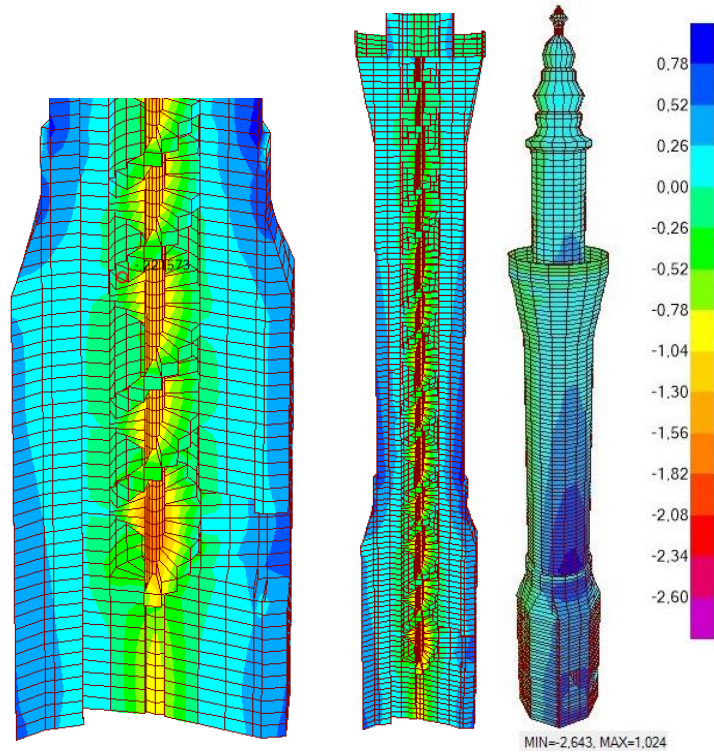
Şekil 4. 56 G + E_x yüklemesi için S11 (X doğrultusu) maksimum gerilme dağılımı (MPa)



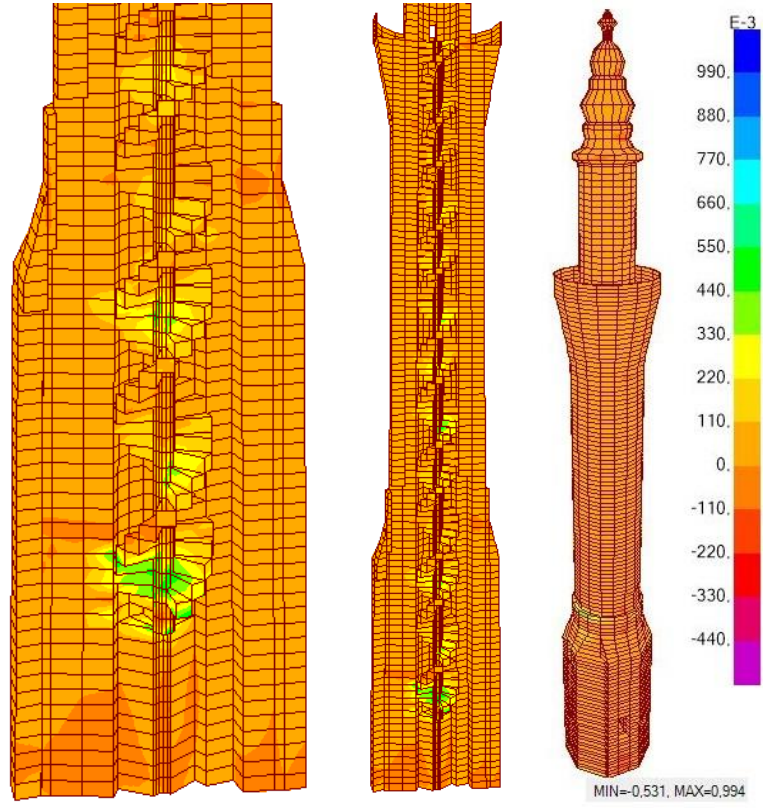
Şekil 4. 57 G + E_x yüklemesi için S12 maksimum gerilme dağılımı (MPa)



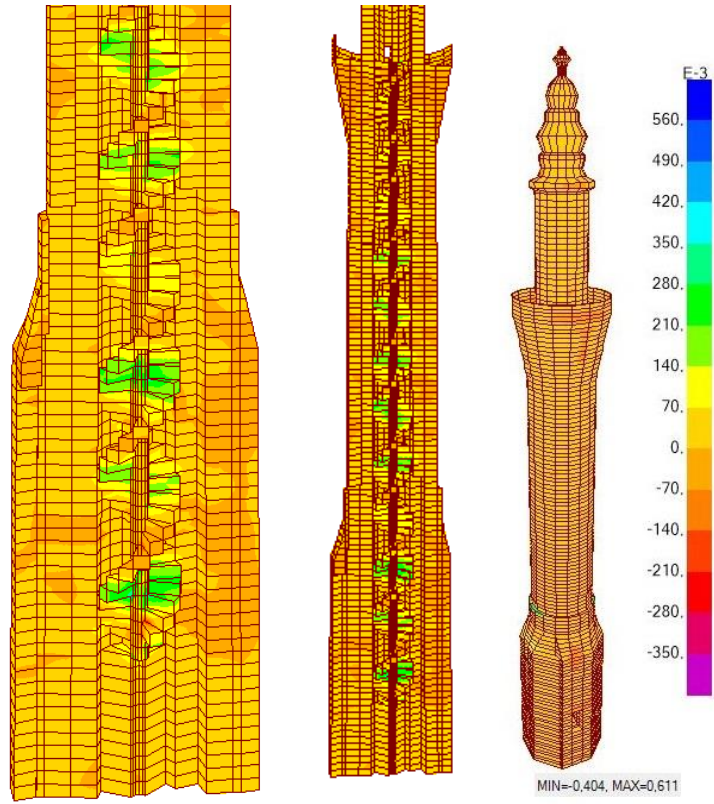
Şekil 4. 58 G + E_x yüklemesi için S22 (Y doğrultusu) maksimum gerilme dağılımı (MPa)



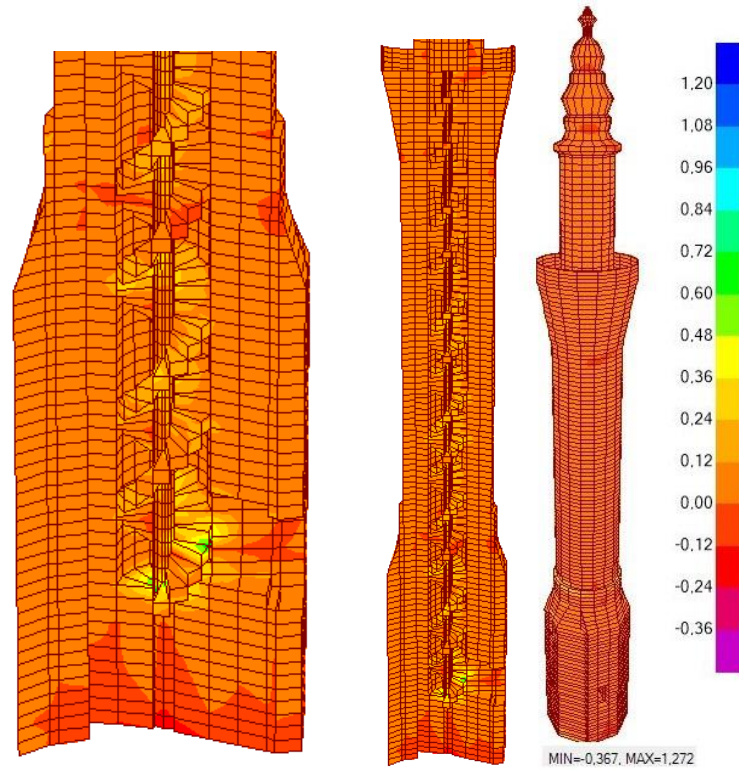
Şekil 4. 59 G + E_x yüklemesi için S33 (Z doğrultusu) maksimum gerilme dağılımı (MPa)



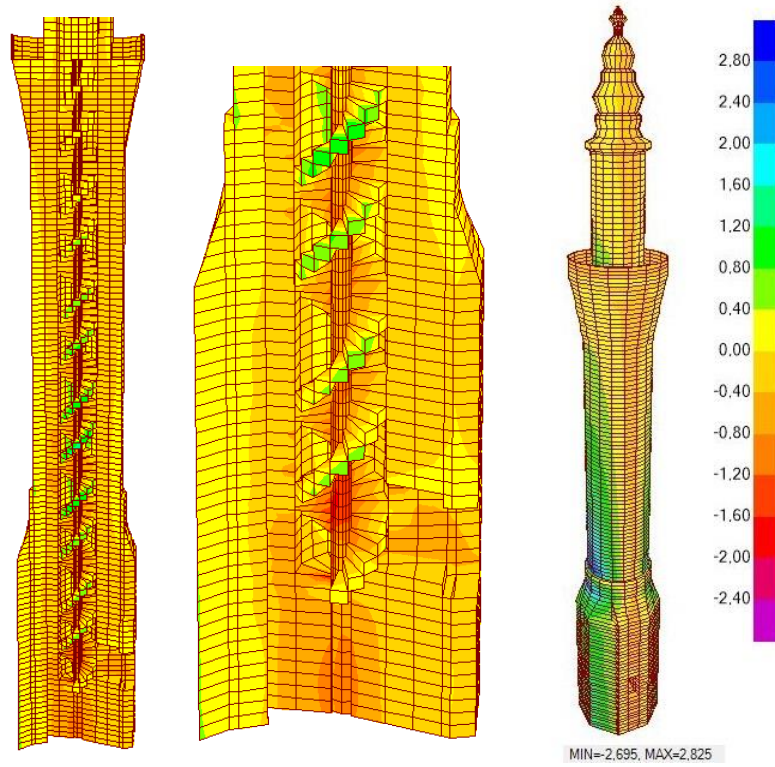
Şekil 4. 60 G + E_y yüklemesi için S11 (X doğrultusu) maksimum gerilme dağılımı (MPa)



Şekil 4. 61 G + E_y yüklemesi için S12 maksimum gerilme dağılımı (MPa)



Şekil 4. 62 G + E_y yüklemesi için S22 (Y doğrultusu) maksimum gerilme dağılımı (MPa)



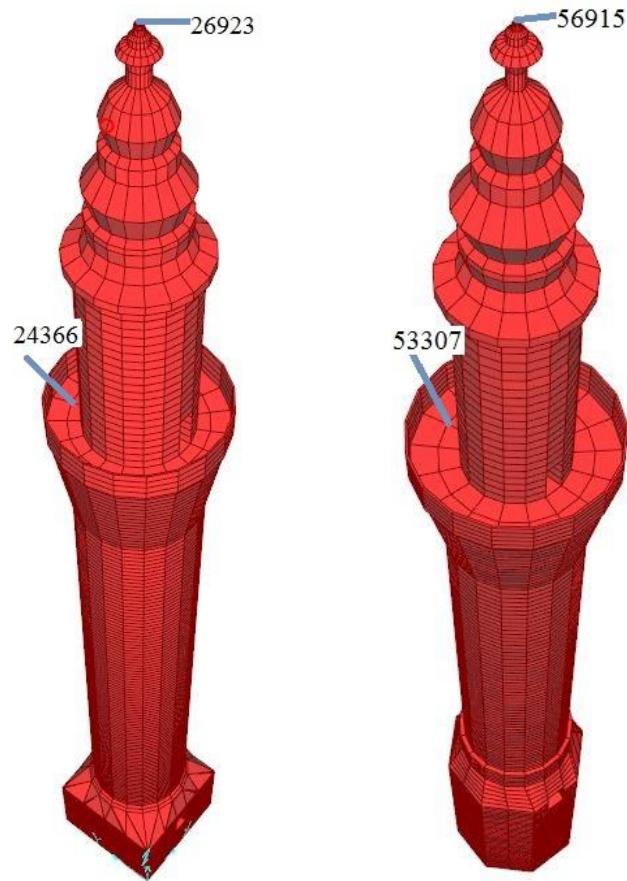
Şekil 4. 63 G + E_y yüklemesi için S33 (Z doğrultusu) maksimum gerilme dağılımı (MPa)

Çizelge 4. 10 G + E_x ve G + E_y yükleri için meydana gelen maksimum gerilme değerleri

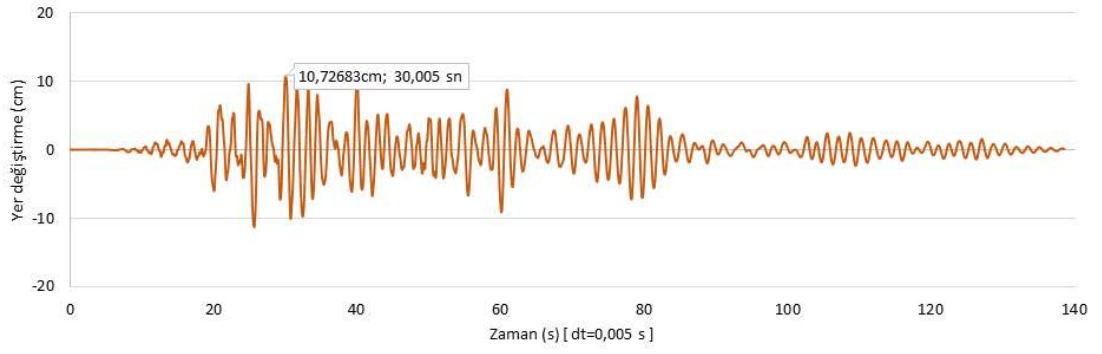
			S11 (MPa)	S12(MPa)	S22 (MPa)	S33 (MPa)
G+X	Maksimum	Çekme	0,845	0,436	1,284	1,024
		Basınç	-0,525	-0,418	-0,380	-2,643
G+Y	Maksimum	Çekme	0,994	0,611	1,272	2,825
		Basınç	-0,531	-0,404	-0,367	-2,695

4.6 Doğu Minare ve Batı Minarenin Deprem Etkisi Altındaki Yer Değiştirmeleri

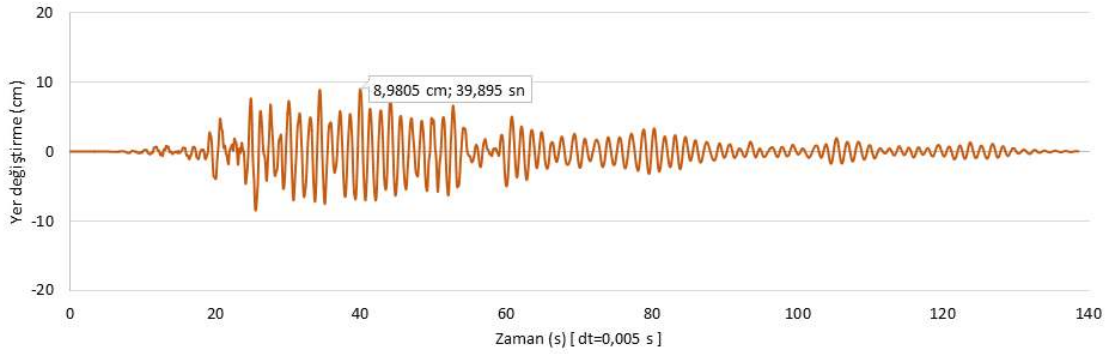
Bursa Ulu Camii doğu minare ve batı minarelerinin uygulanan depremin kuzey-güney ve doğu-batı bileşenlerine göre örnek olarak seçilen düğüm noktalarının (Şekil 4. 64) yer değiştirme grafikleri ve maksimum yer değiştirme ve gerçekleştiği zaman grafik üzerinde Şekil 4. 65 ile Şekil 4. 72 arasında verilmiştir.



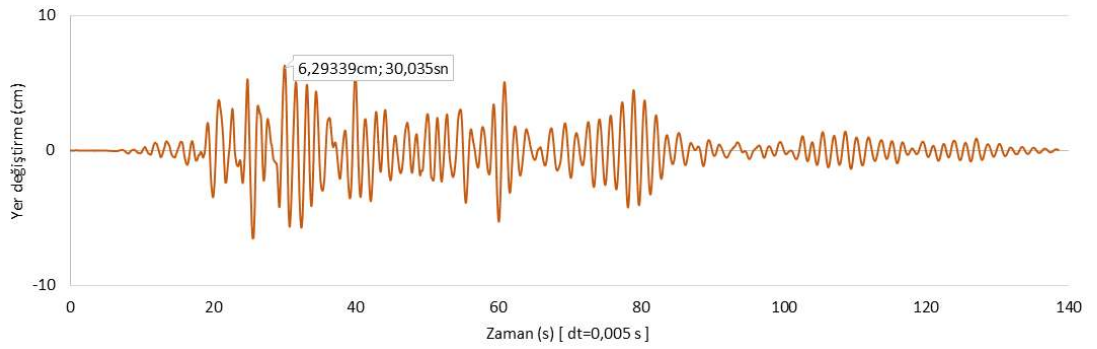
Şekil 4. 64 Doğu minare ve batı minarenin örnek olarak alınan şerefe ve tepe düğüm noktaları



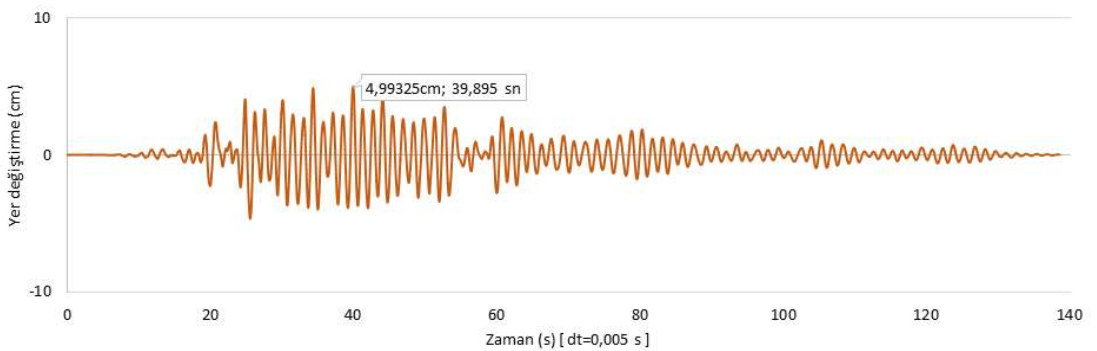
şekil 4. 65 26923 nolu dğđm noktasının doğu-batı deprem yđnđnde x doğrultusunda meydana gelen yer değiştirme grafiği (doğu minare)



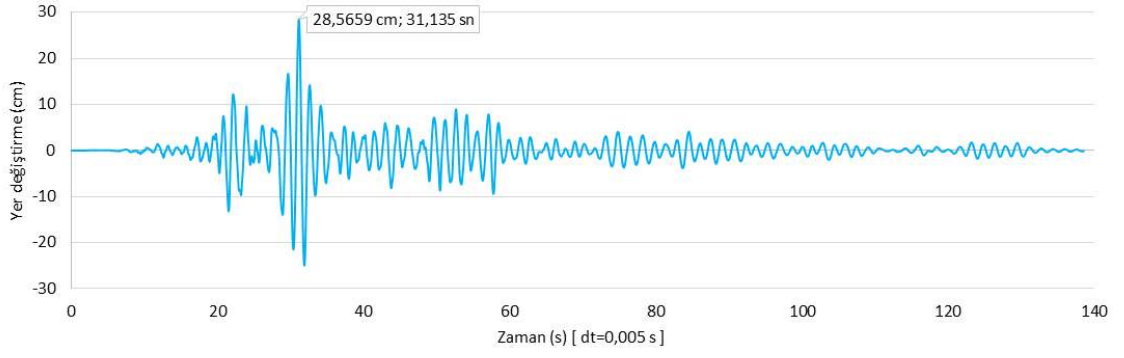
şekil 4. 66 56915 nolu dğđm noktasının doğu-batı deprem yđnđnde x doğrultusunda meydana gelen yer değiştirme grafiği (batı minare)



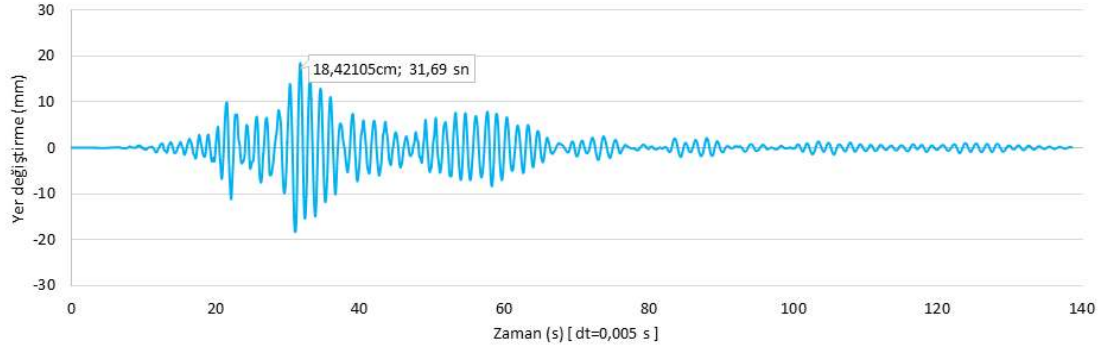
şekil 4. 67 24366 nolu dğđm noktasının doğu-batı deprem bileşeninin x doğrultusunda meydana gelen yer değiştirme grafiği (doğu minare)



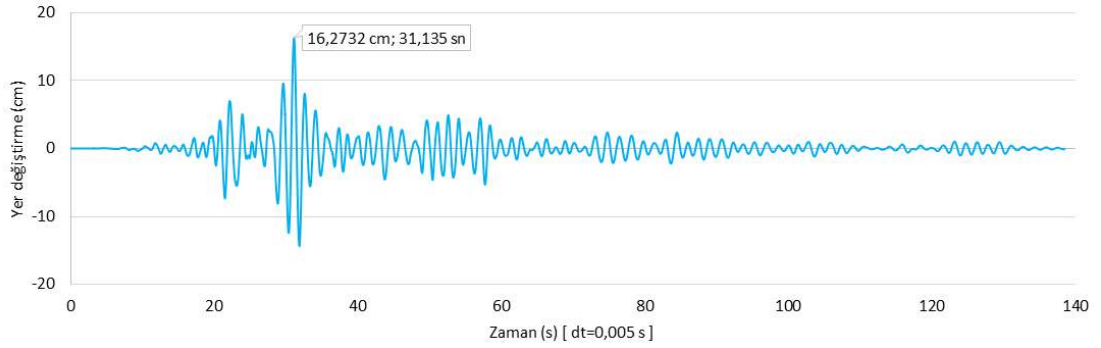
şekil 4. 68 53307 nolu dğđm noktasının doğu-batı deprem bileşeninin x doğrultusunda meydana gelen yer değiştirme grafiği (batı minare)



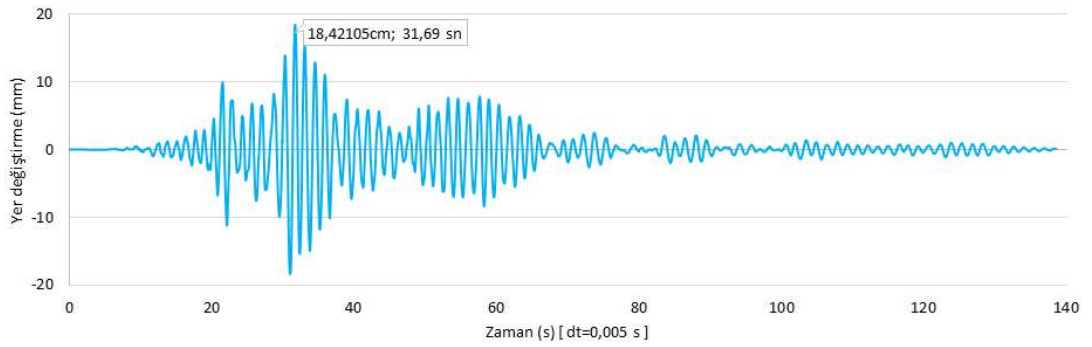
şekil 4. 69 26923 nolu dğđm noktasının kuzey-güney deprem yönünde y doğrultusunda meydana gelen yer değiştirme grafiği (doğu minare)



şekil 4. 70 56915 nolu dğđm noktasının kuzey-güney deprem yönünde y doğrultusunda meydana gelen yer değiştirme grafiği (batı minare)



şekil 4. 71 24366 nolu dğđm noktasının kuzey-güney deprem yönünde y doğrultusunda meydana gelen yer değiştirme grafiği (doğu minare)



şekil 4. 72 53307 nolu dğđm noktasının kuzey-güney deprem yönünde y doğrultusunda meydana gelen yer değiştirme grafiği (batı minare)

Şekil 4. 42 ve Şekil 4. 64’te belirtilen; kubbe tepe noktası (43106), doğu minare tepe noktası (26923), ve batı minare tepe noktasının (56915), x ve y yönündeki deprem etkisi altında zamana bağlı yer değiştirmeleri Çizelge 4. 11’de verilmiştir.

Çizelge 4. 11 Cami ve minarelerin tepe noktalarının deprem etkisi altında zamana bağlı yer değiştirmeleri (mm)

Zaman (s)	EX Deprem Yüğü Altında			EY Deprem Yüğü Altında		
	43106 nolu (kubbe tepe)	26923 nolu (doğu minare tepe)	56915 nolu (batı minare tepe)	43106 nolu (kubbe tepe)	26923 nolu (doğu minare tepe)	56915 nolu (batı minare tepe)
10	0,1299	-0,9303	0,6362	0,2124	-0,0389	-2,1252
20	0,0003	-60,1906	-39,5447	-2,8208	2,2285	8,2523
30	-0,5475	107,2598	70,8578	-0,9452	10,9399	61,3264
40	0,3264	96,1436	79,6465	1,6008	25,8440	0,8722
50	0,3334	45,2576	39,6950	-0,3271	21,4075	-11,7930
60	0,0335	-85,7117	-49,5681	0,0554	19,4600	13,7225
70	-0,0195	-26,0322	-22,6688	-0,0467	10,2009	-18,9079
80	-0,0445	-35,8051	15,5624	-0,0210	13,5932	-1,9593
90	-0,0341	-0,0637	-7,6018	-0,0327	-20,1981	-7,3836
100	-0,0512	1,7008	-3,9627	-0,0184	7,4671	-2,1141
110	0,0542	9,3849	7,6723	-0,0366	-3,6006	-7,2715
120	-0,0333	-1,2352	-6,2755	-0,0179	1,9263	-3,3643
130	-0,0154	4,1019	0,4708	0,0410	-6,4882	3,9766

4.7 Yeşil Camii Modeli

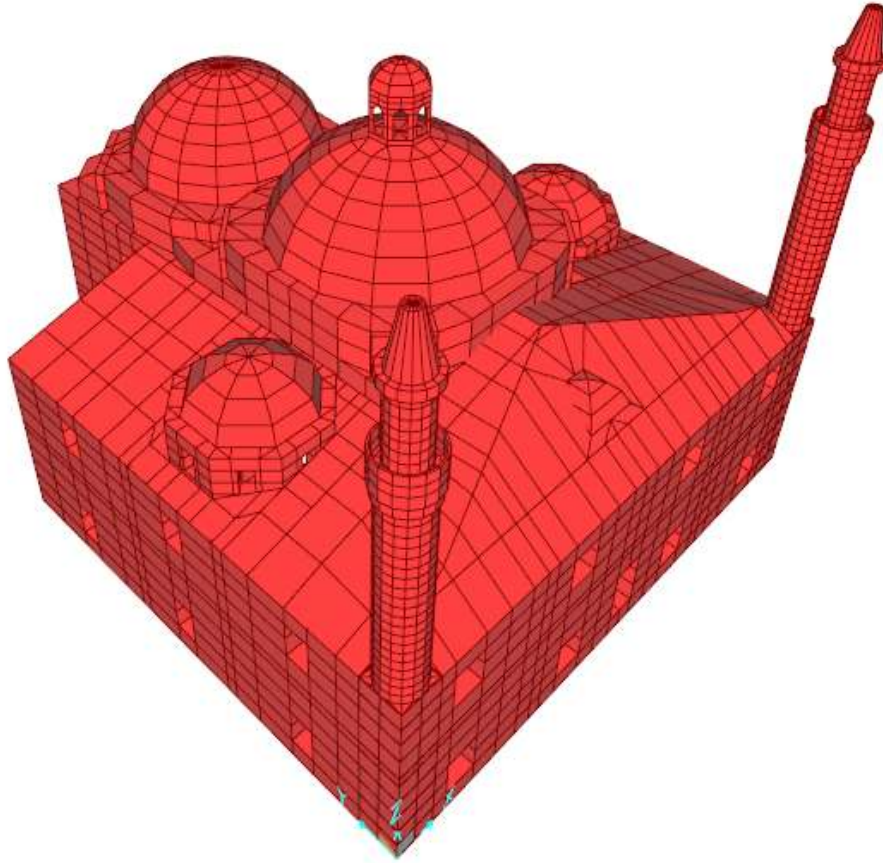
Yeşil Camii’nin modeli oluşturulurken kubbe, fener, örtü; shell (kabuk) eleman, duvarlar, kemerler, kasnaklar ise solid (katı) eleman kullanılarak modellenmiştir. Yapıdaki döşemeler ihmal edilmiştir. Yapı modeline ait resimler Şekil 4.73’ten 4.76’ya kadar gösterilmiştir.

Modelde kullanılan eleman sayısı; kabuk (Shell) eleman sayısı : 668, katı (solid) eleman sayısı :6465, düğüm noktası sayısı : 10761 ’dir.

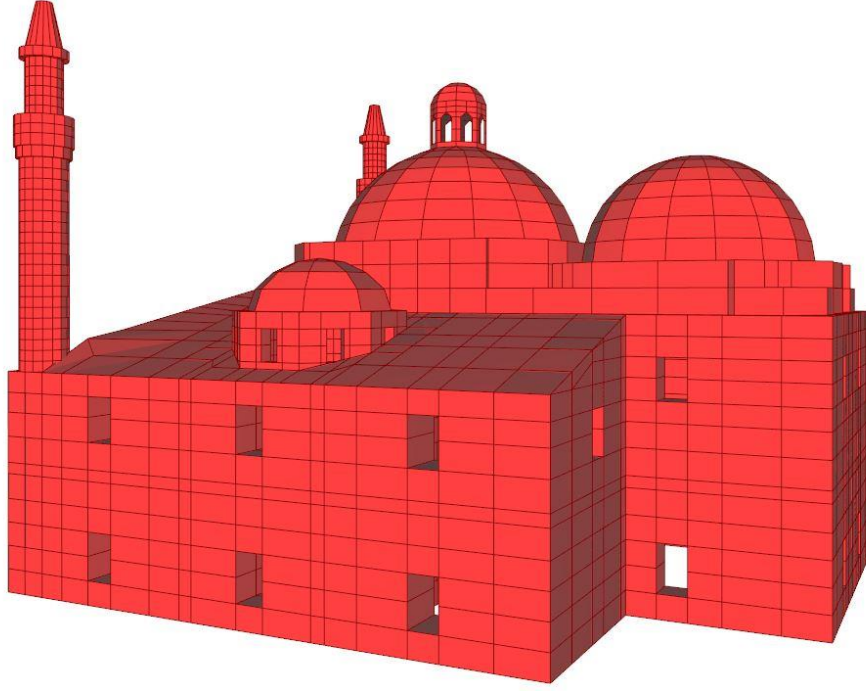
Malzeme parametreleriyle ilgili kabuller çeşitli literatür araştırmaları sonucu Çizelge 4.12’de sunulmuştur.

Çizelge 4. 12 Yeşil Camii Malzeme Özellikleri [9], [21]

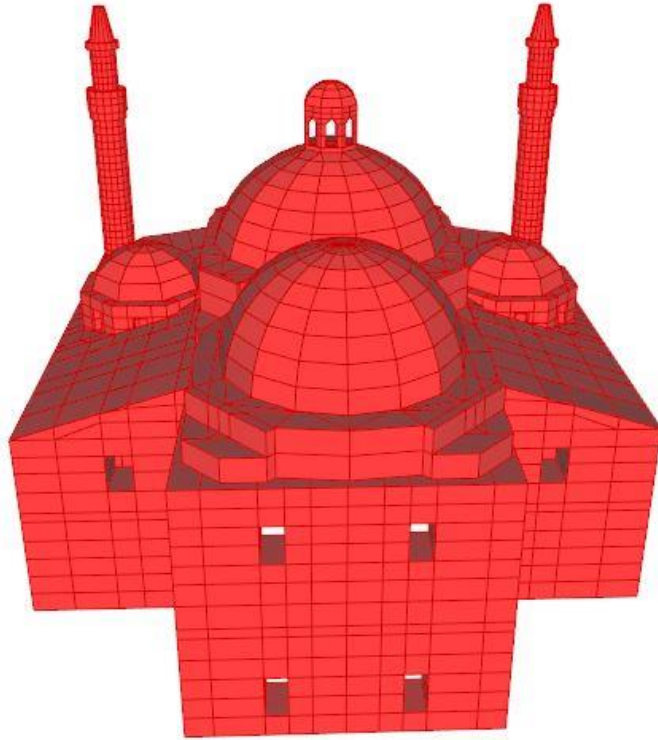
Yapı Elemanı	Yapı Birimi	Eleman Tipi	Elastisite Modülü (MPa)	Özkütle (kg/m ³)	Poisson Oranı
Beden Duvarları, Kemerler	Taş	Katı	10000	2200	0,22
Örtü Malzemesi	Tuğla	Kabuk	13000	220	0,16



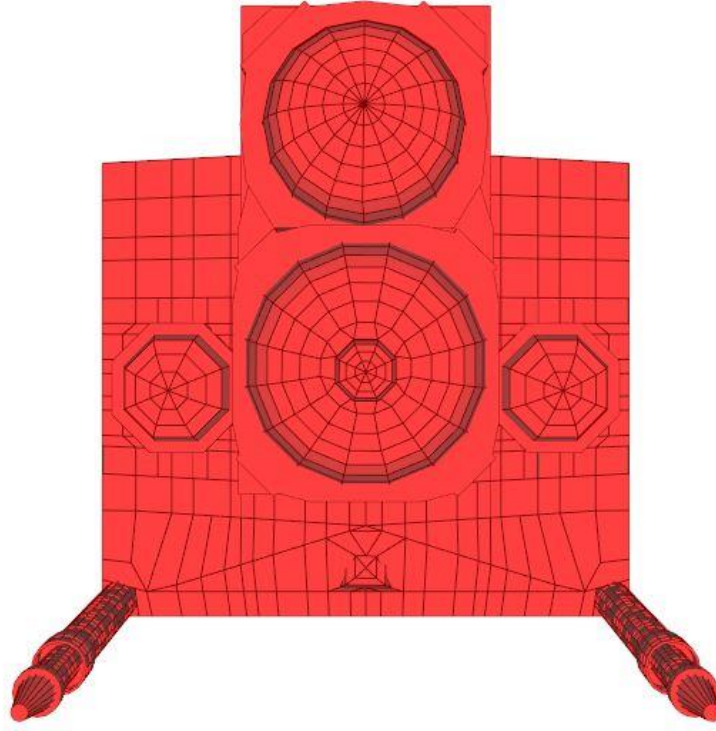
Şekil 4. 73 Yeşil Camii Model Resimleri-1



Şekil 4. 74 Yeşil Camii Model Resimleri-2



Şekil 4. 75 Yeşil Camii Model Resimleri-3



Şekil 4. 76 Yeşil Camii Model Resimleri-4

4.7.1 Modal Analizi

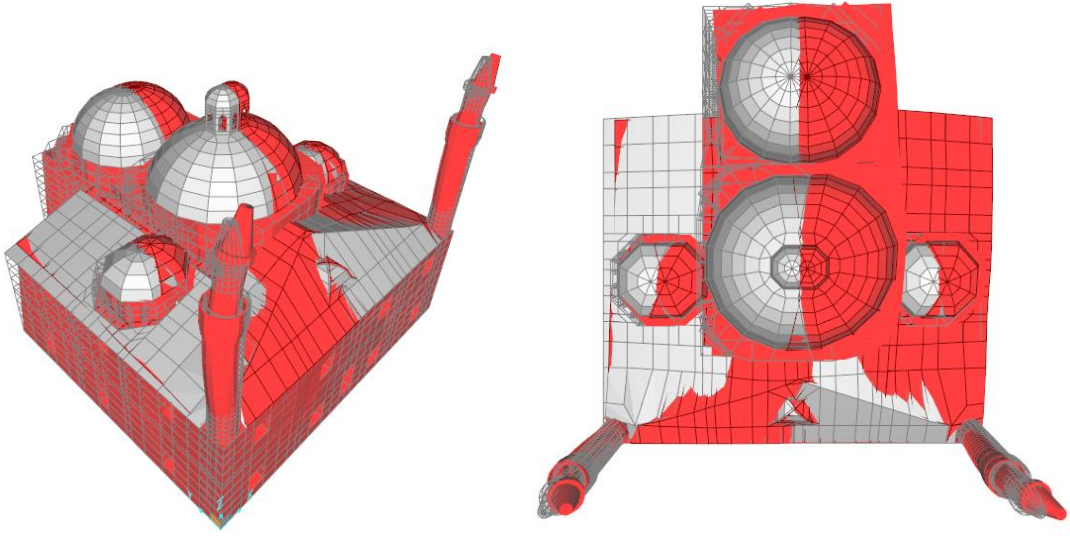
Yeşil Camii'nin modal analizinde yapının ilk 50 modu dikkate alınmıştır. Yapının modal analiz sonuçlarına bakıldığında ilk 50 modda (x) yönündeki kütle katılım oranları toplamının %81,4 ve (y) yönündeki kütle katılım oranları toplamının %81,1 olduğu görülmektedir (Çizelge 4.13). 50 mod sayısı yeterli görülmüştür.

Çizelge 4-13 Yeşil Camii Modal Analiz Sonuçları

Mod	Periyot	Frekans	UX	ΣUX	UY	ΣUY	UZ	ΣUZ	RZ	ΣRZ
1	0,39117	2,55641	0,00715	0,007	0,00000	0,000	0,00000	0,000	0,00056	0,001
2	0,39095	2,55785	0,00001	0,007	0,00393	0,004	0,00000	0,000	0,00000	0,001
3	0,38548	2,59415	0,00350	0,011	0,00001	0,004	0,00000	0,000	0,02100	0,021
4	0,38540	2,59472	0,00000	0,011	0,00678	0,011	0,00000	0,000	0,00002	0,021
5	0,08552	11,69331	0,01500	0,025	0,00000	0,011	0,00000	0,000	0,00034	0,022
6	0,08531	11,72209	0,00001	0,025	0,01300	0,024	0,00003	0,000	0,00000	0,022
7	0,08442	11,84553	0,00415	0,030	0,00000	0,024	0,00000	0,000	0,01600	0,037
8	0,08431	11,86141	0,00000	0,030	0,00842	0,032	0,00000	0,000	0,00000	0,037
9	0,07416	13,48363	0,55100	0,581	0,00000	0,032	0,00000	0,000	0,03100	0,068

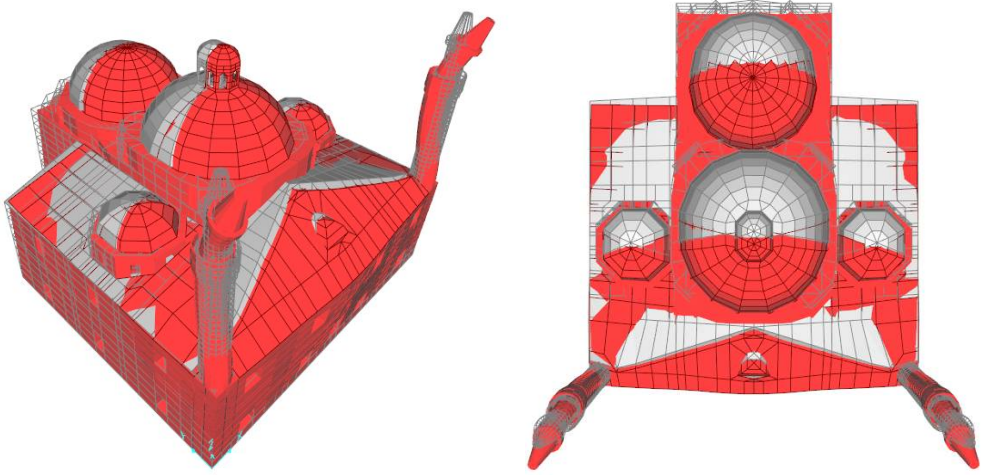
Çizelge 4. 13 Yeşil Camii Modal Analiz Sonuçları (devamı)

10	0,06977	14,33384	0,00001	0,581	0,63100	0,664	0,00004	0,000	0,00000	0,068
11	0,05808	17,21763	0,00154	0,582	0,00023	0,664	0,00000	0,000	0,33700	0,405
12	0,05482	18,24185	0,06300	0,646	0,00014	0,664	0,00000	0,000	0,05700	0,462
13	0,05325	18,77934	0,00022	0,646	0,00063	0,665	0,00033	0,000	0,00005	0,462
14	0,05006	19,97483	0,02100	0,666	0,00011	0,665	0,00000	0,000	0,10000	0,561
15	0,04992	20,03406	0,00000	0,666	0,00015	0,665	0,00000	0,000	0,00000	0,561
16	0,04978	20,08799	0,02200	0,688	0,00004	0,665	0,00000	0,000	0,10700	0,668
17	0,04689	21,32787	0,00152	0,690	0,00058	0,665	0,00000	0,000	0,00499	0,673
18	0,04458	22,43259	0,00003	0,690	0,02400	0,689	0,00176	0,002	0,00000	0,673
19	0,04190	23,86521	0,02600	0,716	0,00012	0,690	0,00005	0,002	0,04900	0,722
20	0,04133	24,19667	0,00027	0,716	0,03900	0,729	0,00051	0,003	0,00105	0,723
21	0,04048	24,70417	0,00653	0,723	0,00030	0,729	0,00000	0,003	0,01600	0,739
22	0,03976	25,15407	0,00000	0,723	0,01100	0,740	0,00874	0,011	0,00002	0,739
23	0,03812	26,23226	0,00008	0,723	0,00056	0,741	0,00063	0,012	0,00014	0,739
24	0,03714	26,92515	0,00484	0,728	0,00004	0,741	0,00014	0,012	0,00125	0,740
25	0,03630	27,54821	0,00249	0,730	0,00013	0,741	0,00933	0,022	0,00069	0,741
26	0,03620	27,62813	0,00558	0,736	0,00016	0,741	0,00022	0,022	0,00003	0,741
27	0,03615	27,66022	0,00045	0,736	0,00969	0,751	0,05200	0,073	0,00086	0,742
28	0,03599	27,78936	0,01800	0,754	0,00240	0,753	0,01600	0,090	0,03300	0,775
29	0,03582	27,92048	0,00305	0,758	0,01900	0,772	0,14700	0,237	0,00331	0,778
30	0,03550	28,16822	0,00161	0,759	0,02300	0,795	0,06000	0,297	0,00350	0,781
31	0,03530	28,33022	0,00246	0,762	0,00293	0,798	0,03300	0,330	0,02700	0,809
32	0,03443	29,04866	0,00002	0,762	0,00014	0,798	0,01200	0,342	0,00074	0,809
33	0,03364	29,73094	0,00011	0,762	0,00057	0,799	0,00262	0,345	0,00012	0,810
34	0,03278	30,50268	0,00070	0,762	0,00300	0,802	0,00399	0,349	0,00002	0,810
35	0,03260	30,67296	0,01300	0,775	0,00011	0,802	0,00000	0,349	0,00054	0,810
36	0,03196	31,28520	0,00609	0,781	0,00163	0,804	0,03200	0,381	0,00008	0,810
37	0,03162	31,62755	0,01100	0,792	0,00147	0,805	0,01600	0,397	0,00103	0,811
38	0,03131	31,93664	0,00600	0,798	0,00117	0,806	0,02500	0,423	0,00019	0,811
39	0,03129	31,96216	0,00454	0,803	0,00000	0,806	0,00254	0,425	0,00032	0,812
40	0,03111	32,13987	0,00685	0,810	0,00004	0,806	0,00000	0,425	0,00554	0,817
41	0,03078	32,49285	0,00028	0,810	0,00005	0,806	0,00265	0,428	0,00044	0,818
42	0,03041	32,88500	0,00030	0,810	0,00015	0,807	0,00769	0,435	0,00009	0,818
43	0,02992	33,42581	0,00159	0,812	0,00000	0,807	0,00157	0,437	0,00013	0,818
44	0,02970	33,67344	0,00052	0,812	0,00000	0,807	0,00003	0,437	0,00203	0,820
45	0,02884	34,67406	0,00019	0,813	0,00120	0,808	0,00217	0,439	0,00002	0,820
46	0,02832	35,31697	0,00105	0,814	0,00016	0,808	0,00061	0,440	0,00250	0,822
47	0,02823	35,42456	0,00021	0,814	0,00000	0,808	0,00036	0,440	0,00009	0,823
48	0,02812	35,56188	0,00011	0,814	0,00189	0,810	0,04000	0,480	0,00053	0,823
49	0,02747	36,40865	0,00002	0,814	0,00136	0,811	0,00025	0,481	0,00000	0,823
50	0,02686	37,23563	0,00014	0,814	0,00006	0,811	0,00044	0,481	0,00000	0,823



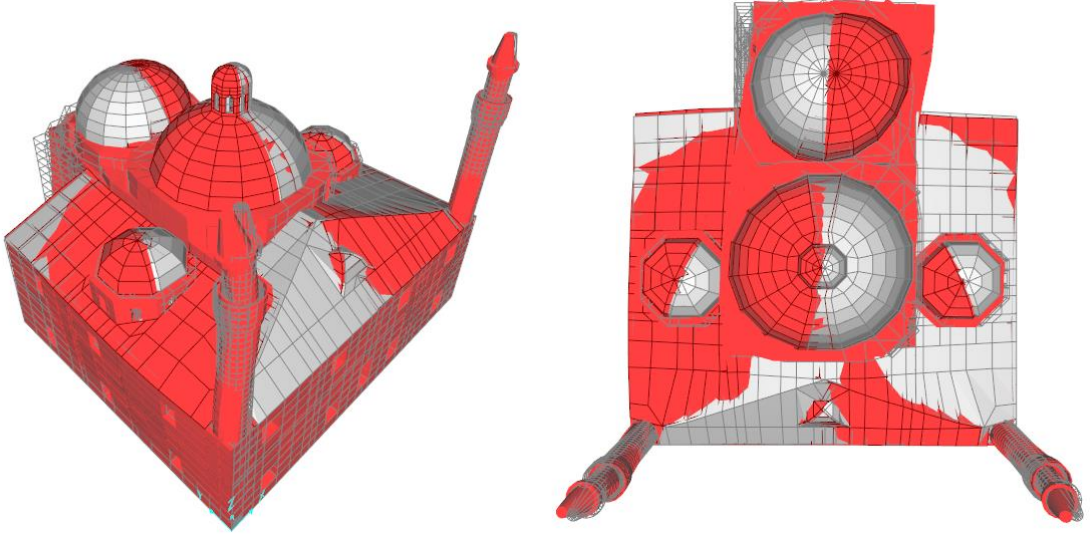
$T=0,07416$, $F=13,48363$

Şekil 4. 77 Yeşil Camii 9. mod şekli (x yönünde ötelenme)



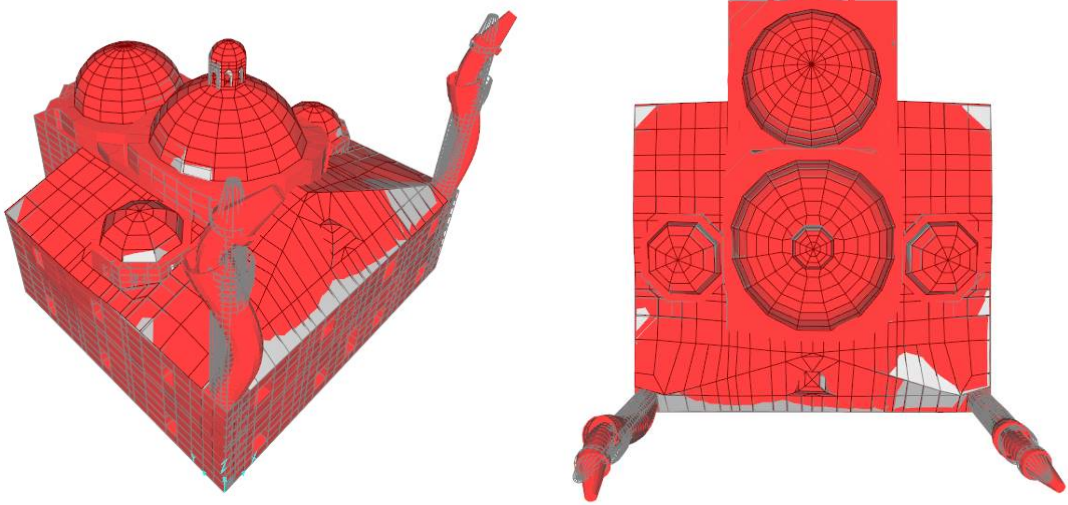
$T=0,06977$, $F=14,33384$

Şekil 4. 78 Yeşil Camii 10. mod şekli (y yönünde ötelenme)



$T=0,05808$, $F=17,21763$

Şekil 4. 79 Yeşil Camii 11. mod şekli (burulma)



$T=0,03582$, $F=27,92048$

Şekil 4. 80 Yeşil Camii 29. mod şekli (dönme)

Çizelge 4. 13’de görüldüğü gibi yapının 9. Modu x yönünde hakim olup periyodu 0,07416 saniye (Şekil 4. 77), 10. Mod y yönünde harekete sahip olup periyodu 0,06977 saniyedir (Şekil 4. 78). Burulma modu olan 11. Modun periyodu ise 0,05808 saniyedir (Şekil 4. 79). 29.mod olarak da 0,03582 saniye ile dönme modu hakim mod olarak ele alınabilir (Şekil 4. 80).

BÖLÜM 5

SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında öncelikli olarak yığma yapıların tasarım ilkeleri ve yığma yapı davranışı hakkında kısa bilgiler verilmiştir. Tarihi yapıların doğru modellenmesi için öncelikli olarak taşıyıcı sistem elemanlarının ve bu elemanların özelliklerinin iyi bilinmesi gerektiği düşünüldüğünden kısaca tarihi yapı elemanları tanıtılmıştır. Bursa Ulu Camii ve Yeşil Cami'nin makro modelleme yaklaşımıyla Sap2000 programında sonlu elemanlar yöntemi ile modelleri oluşturulmuştur.

Bursa Ulu Camii'nin modeli oluşturulurken minarelerin caminin beden duvarına oturmadiğı bilindiğı için cami ve minareler ayrı ayrı modellenmiştir. Birçok model oluşturulmuş ve yapıyı en iyi yansıtan modeller tez çalışmasına eklenmiştir. Malzeme özellikleri seçilirken bu alanda yapılan çalışmalar taranarak bu çalışmalar ışığında ortalama değerler alınmıştır. Oluşturulan modeller üzerinde ilk olarak yapıların modal analizleri yapılmış ve hakim modları ve periyotları belirlenerek tablolar halinde verilmiştir.

Ulu Camii'de uygulanan modal analiz neticesinde, yapının 1. modunun y yönünde öteleme, 2. modunun x yönünde öteleme ve 3. modunda düşey eksen etrafında burulma olduğu gözlemlenmiştir. Yapının simetrik ve düzgün bir geometriye sahip olmasından dolayı bu davranış beklendiğı gibidir.

Ulu Camii doğu minaresi modal davranışı incelendiğinde, 1. modu y yönünde, 2. modu x, 3. modu y 4. modu x yönünde hareket etmektedir. 5. mod ise burulma davranışı

göstermektedir. X ve y yönlerindeki hareketler incelendiğinde konsol elemanın 1. Ve 2. Mod davranışları gözlemlenmiştir.

Ulu Camii batı minaresi modal davranışı incelendiğinde, 1. modu x yönünde, 2. modu y, 3. modu y 4. modu x yönünde hareket etmektedir. 5. mod ise burulma davranışı göstermektedir. X ve y yönlerindeki hareketler incelendiğinde konsol elemanın 1. ve 2. mod davranışları gözlemlenmiştir. Batı minaresinin modal davranışı ile doğu minaresinin modal davranışı arasındaki farklılığın, batı minaresindeki çift sıra merdivenin kütle ve rijitliğe doğrudan etki etmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Yeşil Camii'nin modal davranışı incelendiğinde, hakim olan 1. modun x yönünde, 2. modun y yönünde , 3. modunda burulma davranışı gösterdiği gözlemlenmiştir.

Yapıların mod şekilleri belirlenir iken kütle katılım oranları dikkate alınmış, Ulu Camii'de toplam kütle x yönünde %81'i , y yönünde % 80'i, burulma doğrultusunda % 77'si harekete katılmıştır. Ulu Camii doğu minaresinde x ve y yönünde %88, burulma yönünde %80 kütle katılımı olmuştur. Ulu Camii batı minaresinde, x, y ve burulma yönlerinde %91 kütle katılımı olmuştur.

Ulu Camii'ye uygulanan deprem etkisi incelendiğinde; deprem analizleri sonucunda yapının en fazla kubbe ve kasnakların birleşim yerlerinde ve kemer üst bölgelerinde çekme gerilmelerinin yoğun olarak olduğu gözlemlenmiştir. Elde edilen gerilme sonuçlarının maksimum ve minimum değerleri tablo ve grafikler ile sunulmuştur. Taşıyıcı sütunların ve duvarların alt kısımlarında basınç gerilmelerinin yoğunlaştığı gözlemlenmiştir.

En fazla yer değiştirmelerin kubbe tepe noktalarında meydana geldiği gözlemlenmiştir. 43106 numaralı düğüm noktasında X yönünde 4.21 mm y yönünde ise 4.89 mm yer değiştirme gözlemlenmiştir.

Ulu Camii minareleri incelendiğinde, merdiven ile iç gövdenin birleşim yerlerinde, kapı ve pencere boşluklarında, gövdenin kürsü ile birleşim kısmında çekme gerilmelerinin yoğunlaştığı gözlemlenmiştir. Deprem hareket yönüne bağlı olarak minare tabanında yoğun basınç gerilmeleri gözlemlenmiştir.

Doğu minaresi tepe noktasında x yönünde 10 cm, y yönünde 28 cm yer değiştirme elde edilmiştir. Batı minaresinde ise x yönünde 8,9 cm, y yönünde ise 18 cm yer değiştirme elde edilmiştir. Batı minaresinde çift sıra merdiven yapılmış olması dolayısı ile yapının rijitliğinde meydana gelen artışın deplasmanları sınırladığı gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak, Ulu Camii'nin deprem etkisi altında oldukça başarılı bir performans gösterdiği, oldukça kalın olan taşıyıcı duvarlar sebebi ile çok düşük seviyede yer değiştirme yaptığı gözlemlenmiştir. Yapı kendi içerisinde de, ayak ve kemerler ile taşınmaktadır ve stabilitesi sağlam rijit bir yapıdır. Yapı için risk teşkil edecek olan husus, yüksek seviyede bir deprem etkisi altında kubbelerde çökme olasılığı ve minarelerde çekme gerilme sınırının aşılması sonucu hasarların görülme olasılığıdır. Minarelerin devrilmesi sonucunda cami de birtakım hasarlar meydana gelebilir. Özellikle, doğu minaresinin batı minaresine oranla daha zayıf olduğu ve deprem etkisi altında diğer minareye göre daha fazla risk taşıdığı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Lourenço, P.B., (2002). "Computations on Historic Masonry Structures", Progress in Structural Engineering and Materials, 4 : 301-319, University of Minho, Portugal.
- [2] Akan, A., ve Özen, Ö., (2005). "Bursa Yeşil Türbe'nin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Deprem Analizi", Deprem Sempozyumu, 23-25 Mart 2005, Kocaeli.
- [3] Yılmaz, P., (2006). Tarihi Yapıların Modellenmesi ve Deprem Güvenliklerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [4] Mahrebel H.A., (2006). Tarihi Yapılarda Taşıyıcı Sistem Özellikleri, Hasarlar, Onarım Ve Güçlendirme Teknikleri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [5] Türer, A., ve Boz, B., (2007). Aspendos Tarihi Tiyatrosunun Modellenmesi ve Deprem Yükleri Altındaki Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [6] Ertek,E., ve Fahjan, Y., (2007). "Osmanlı Minarelerinin Yapısal Sistemleri: Sınıflandırma, Modelleme ve Analizi", Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 16-20 Ekim 2007, İstanbul.
- [7] Celep, Z., Incecik, M., ve Pakdamar, F., (2008). Muradiye Camisi'nin yapısal ve deprem davranışının incelemesi, Uluslararası Plovdiv Cuma Camii Konferansı, 7 Haziran 2008, Plovdiv.
- [8] Sezen, H., Acar R., Doğangün A., ve Livaoglu, R., (2008). "Dynamic analysis and seismic performance of reinforced concrete minarets", Engineering Structures, 30: 2253–2264..

- [9] Dabanlı, Ö., (2008). Tarihi Yığma Yapıların Deprem Performansının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [10] Aköz, H., (2008). Deprem Etkisi Altındaki Tarihi Yığma Yapıların Onarımı ve Güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [11] Bağbancı, M., Bilal., (2009). Tarihi Yapıların Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Analizinin Bursa Ördekli Hamamı Örneğinde İncelenmesi, Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- [12] Kara, H.G., (2009). Tarihi Yığma Yapıların Taşıyıcı Sistemleri, Güvenliğinin İncelenmesi, Onarımı ve Güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [13] Kaya, Ç., (2010). Yığma Duvarların Elastik-Plastik Hesabı, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [14] Okuyu, D., ve Erdil, B., (2011). "Seismic Performance Evaluation of Adilcevaz Pasha (Tugrul Bey) Mosque", WCCE-ECCE-TCCE Joint Conference 2; Seismic Protection of Cultural Heritage, 31 October-1 November 2011, Antalya.
- [15] Şahin, A., Bayraktar, A., Özcan, D., Sevim, B., Altunışık, A., ve Türker, T., (2011). "Dynamic Field Test, System Identification, and Modal Validation of an RC Minaret: Preprocessing and Postprocessing the Wind-Induced Ambient Vibration Data", Journal of Performance of Constructed Facilities, 25(4): 336-356.
- [16] Akdeniz, Ö., (2011). Tarihi Yapıların Lineer Olmayan Dinamik Analizi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ.
- [17] Pergel, Ş., (2013). Tarihi Yapılarda Onarım-Güçlendirme Çalışmaları ve Amasya Taşhan Örneği, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- [18] Can, H., Kubin, J., ve Ünay A., İ., (2012). "Düzensiz Geometrik Şekile Sahip Tarihi Yığma Binaların Sismik Davranışı", Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 27(3):679-686, Ankara.
- [19] Armağan, K., (2012). Tarihi Yapılarında Kullanılan Fonksiyonelliğin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- [20] Baştürk, H., M., (2013). Bursa Tarihi Yığma Minarelerinin Dinamik Davranışlarının Modal Analiz Yöntemiyle Belirlenmesi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.

- [21] Korkmaz, K, A., Zabin, P., Çarhoğlu A., I., ve Nuhoğlu A., (2014). "Rize Merkez Kurşunlu Camisi'nin Deprem Davranışının İncelenmesi", Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 18(3):149-156.
- [22] Çarhoğlu, I., A., Zabin, P., ve Korkmaz, A., K., (2014). "Kars Kümbet Camisinin Deprem Davranışının İncelenmesi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part:C, Tasarım ve Teknoloji, 2(1):189-196.
- [23] Bayülke, N., (1992). Yığma Yapılar T.C İmar ve İskan Bakanlığı Deprem Araştırma Enstitüsü, Ankara.
- [24] Bayraktar, A., (2006). Tarihi Yapıların Analitik İncelenmesi ve Sismik Güçlendirme Metotları, Beta Yayınevi, İstanbul.
- [25] Bayraktar, A., (2011). Yığma Yapı Mühendisliğinin Gelişim Tarihi, Beta Yayınları, İstanbul.
- [26] Ünay, A. İ., (2002). Tarihi Yapıların Depreme Dayanımı, ODTÜ Mimarlık Fakültesi Basım İşbirliği, Ankara.
- [27] T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, 2013. İnşaat Teknolojisi, Taşın Mimaride Kullanımı, Ankara.
- [28] Köseoğlu, G., (2012). Kültürel Mirasın Depremden Korunması Ve Turizme Kazandırılması Amacı İle Uygulanabilecek Güçlendirme Teknikleri, Uzmanlık Tezi, Kültür ve Turizm Bakanlığı Yatırım ve İşletmeler Genel Müdürlüğü, Ankara.
- [29] http://depts.washington.edu/arch350/Assets/Slides/Lecture29.gallery/source/hagia_sophia_pendentive.htm, 10 Temmuz 2015.
- [30] TMMOB Şehir Plancıları Odası Bursa Şubesi, 2008. Deprem ve Bursa Raporu, Bursa.
- [31] T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı, <http://www.deprem.gov.tr/linkhart.htm>, 12.08.2015.
- [32] Özcan, B., (1999). Bursa Depremleri (2 Mart-12 Nisan 1855), Atatürk Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü Dergisi, 5: 73-118, Erzurum.
- [33] Kemikli B., (2012). Bursa Ulucami, Bursa Büyükşehir Belediyesi, Bursa.
- [34] Türkiye'nin Kubbeleri, Bursa Ulu Camii, <http://www.turkiyeninkubbeleri.com/2014/11/bursa-ulu-camii.html>, 03.05.2015.

- [35] Bursa Ulucami Minberi, <http://onedio.com/haber/bursa-ulu-cami-evrenin-sirrini-isik-tutuyor-288009>, 08.06.2015.
- [36] Bursa Büyükşehir Belediyesi Fotoğraf Arşivi, Bursa Hanlar Bölgesi, <http://fotograf.bursa.com.tr/hanlar-bolgesi/>, 08.04.2015.
- [37] Bursa Ulu Cami, <http://www.bursaulucami.org/index1.php>, 01.09.2015.
- [38] Bursa Vakıflar Bölge Müdürlüğü-Desem Mimarlık- Ulucami Röleve Çalışmaları.
- [39] Bursa Ulu Camii, https://tr.wikipedia.org/wiki/Bursa_Ulu_Camii, 08.04.2015.
- [40] Bursa Kronolojisi, <http://www.bursadakultur.org/kronoloji.htm>, 12.08.2015.
- [41] Bursa Tarihi Çarşı ve Hanlar Bölgesi, <http://www.btch.org.tr/>, 13.05.2015.
- [42] Bursa İl Kültür ve Turizm Bakanlığı, Bursa Yeşil Camii, <http://www.bursakulturturizm.gov.tr/TR,70236/camiler.html>, 21.08.2015.
- [43] <http://www.bursa.com.tr/yesil-camii-2-512.html>, 24.08.2015.
- [44] Bursa Vakıflar Bölge Müdürlüğü, Dor İnşaat, Bursa Yeşil Camii Röleve Çalışmaları.
- [45] Bursa İl Müftülüğü, Bursa Yeşil Camii, <http://www.bursamuftulugu.gov.tr/fotogaleri/yesil-camii/7/p-1.html>, 05.09.2015.
- [46] SAP2000, Structural Analysis Program, Computer and Structures Inc., Berkeley, California.
- [47] Peer Ground Motion Database, Pacific Eartquake Engineering Research Center, <http://ngawest2.berkeley.edu/>, 08.06.2015.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Özge MUTLU
Doğum Tarihi ve Yeri : 18.02.1991 BURSA
Yabancı Dili : İngilizce (Orta Seviye)
E-posta : ozgemutlu91@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	İnşaat Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2013
Lise	Sayısal	Bursa Anadolu Kız Lisesi	2009

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2013 -	Görsel Yapı Denetim Tic. Ltd. Şti.	İnşaat Mühendisi

YAYINLARI

Makale

1. Mutlu, Ö. ve Şahin, A. (2015). Tarihi Yığma Minarelerin Modelleme Yaklaşımlarının Deprem Davranışına Etkisinin İncelenmesi – Bursa Ulu Camii Örneği, Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, Kabul Edildi (Basım aşamasında)