

T.C.
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



TARİHİ YAPILARDA TAŞIYICI SİSTEMLERİN KARBON ELYAF
BANTLAR İLE GÜÇLENDİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gülizar TAŞ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
İnşaat Mühendisliği Programı

Şubat, 2021

T.C.
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



TARİHİ YAPILARDA TAŞIYICI SİSTEMLERİN KARBON ELYAF
BANTLAR İLE GÜÇLENDİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gülizar TAŞ
(Y1913.090001)

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
İnşaat Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Sepanta NAIMİ

Şubat, 2021

YEMİN METNİ

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum “Tarihi Yapılarda Taşıyıcı Sistemlerin Karbon Elyaf Bantlar İle Güçlendirilmesi ” adlı çalışmanın, tezin proje safhasından sonuçlanmasına kadarki bütün süreçlerde bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurulmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin Bibliyografya’ da gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve onurumla beyan ederim. (.../.../2020)

Gülizar TAŞ

ÖNSÖZ

Bu tezin gerçekleştirilmesinde, çalışmam boyunca benden bir an olsun yardımlarını esirgemeyen saygı değer danışman hocam Doç. Dr. Sepanta NAIMİ 'e teşekkür ederim.

Bu günlere gelmemi sağlayan yardımlarını esirgemeyen değerli aileme teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olan desteğini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili nişanlım Hilmi DEMİR ' e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Subat, 2021

Gülizar TAŞ
İnşaat Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
KISALTMALAR	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÖZET.....	xii
ABSTRACT	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Güçlendirme Yöntemleri.....	3
1.1.1 Dışarıdan Yapıştırılmış Donatı (EBR).....	3
1.1.2 Yüzeğe Yakın Monte Sistemler (NSM).....	5
1.1.3 Çelik Şeritlerle Güçlendirme	6
1.1.4 FRP ile Yeniden İşaretleme Tekniği	7
1.1.5 Çimento Esaslı Matris Izgara Sistemi	8
1.1.6 Birleşme Yerlerinin Mikro ve Makro Güçlendirilmesi.....	9
1.1.7 Ard Germeli Güçlendirme Sistemi	9
1.1.8 Püskürtme FRP Kompozitler	10
1.2 Kompozit Malzemelerdeki Elyaf Tipleri	11
2. ÖRNEK BİR TARİHİ YAPININ FRP İLE GÜÇLENDİRİLMESİ.....	12
2.1 Yapının Genel Tanımı.....	13
2.2 Matematiksel Modelleme Çalışmaları	15
2.3 Analizlerde Kullanılan Yükler	16
2.4 Taşıyıcı Elemanları ve Kullanılan Malzemeler.....	16
2.5 Mimari Çizimler	17
2.6 Matematiksel Model ve Taşıyıcı Sistem Analizi	22
2.7 Kalıp Planı ve Statik Çizimler.....	22
2.8 Deprem Spektrumu	31
3. SONLU ELEMEN MODELİ.....	33
3.1 Üç Boyutlu Model İzometrik Cephe Görünüşleri	33
3.2 Statik Model İçin Yüklemeler	37
4. DEFORMASYON	38
4.1 Genel	38
4.2 Deformasyon Değerleri	39
4.3 Modal Analiz.....	41
4.4 Modal Analiz Değerleri.....	44
5. ELEMEN İÇ KUVVETLERİ.....	47
5.1 Yığılma Duvar İç Kuvvetleri.....	47
5.2 Ahşap Çatı Elemanların Tahkikleri.....	64
5.3 Çubuk Elemanların Tahkikleri	66
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	68

KAYNAKLAR	71
ÖZGEÇMİŞ.....	72

KISALTMALAR

CFRP	: Karbon Elyaf Takviyeli Polimer
EBR	: Dışarıdan Yapıştırılmış Donatı
FE	: Sonlu Elemanlar Yöntemi
FRP	: Fiber Takviyeli Polimer
GFRP	: Cam Elyaf Takviyeli Polimerler
MDOF	: Çoklu Serbestlik Dereceli
NSM	: Yüzeye Yakın Monte Sistemler
RC	: Betonarme
SDOF	: Tek Serbestlik Dereceli
SSRP	: Örümcek İpeği ile Güçlendirilmiş Polimer

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1: Elyafların tipik mekanik özellikleri.....	11
Çizelge 2.1: Duvarlar için verilen karakteristik değerler.....	16
Çizelge 2.2: Ahşap elemanların mekanik özellikleri.....	17

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Bir yığma duvar için harici bağlanmış takviye	4
Şekil 1.2: Yüzeye yakın sistemler	5
Şekil 1.3: Çelik şeritlerle güçlendirme	7
Şekil 1.4: FRP ile yeniden işaretleme tekniği	7
Şekil 1.5: Çimento esaslı matris ızgara sistemi	8
Şekil 1.6: Ek yerlerinin mikro ve makro takviyesi	9
Şekil 1.7: Ard germeli güçlendirme sistemi	10
Şekil 1.8: Püskürtmeli FRP kompozitler	10
Şekil 2.1: Yapının gravürlerden seçilmiş resmi (a)	13
Şekil 2.2: Yapının gravürlerden seçilmiş resmi (b)	13
Şekil 2.3: Yapının günümüze kalan kısmı (a)	14
Şekil 2.4: Yapının günümüze kalan kısmı (b)	14
Şekil 2.5: 1-1 kesiti	17
Şekil 2.6: 2-2 kesiti	17
Şekil 2.7: 3-3 kesiti	18
Şekil 2.8: 4-4 kesiti	18
Şekil 2.9: - 4.50 kotu planı	19
Şekil 2.10: +1.50 kotu planı	19
Şekil 2.11: Çatı planı	20
Şekil 2.12: +1.50 tavan planı	20
Şekil 2.13: Tavan konstrüksiyon planı	20
Şekil 2.14: Çatı konstrüksiyon planı	21
Şekil 2.15: Ön cephe	21
Şekil 2.16: Arka cephe	21
Şekil 2.17: Sol yan cephe	22
Şekil 2.18: Karbon band detayı (ölçek: 1/20)	23
Şekil 2.19: 0.00 kotu kalıp planı (ölçek: 1/50)	23
Şekil 2.20: Kalıp planı	24
Şekil 2.21: + 1.77 kotu kalıp planı	25
Şekil 2.22: + 4.90 kotu kalıp planı	25
Şekil 2.23: Tavan konstrüksiyon planı	26
Şekil 2.24: Çatı konstrüksiyon planı (a)	26
Şekil 2.25: Çatı konstrüksiyon planı (b)	27
Şekil 2.26: Kubbe kesitleri ve uygulama detayları	28
Şekil 2.27: 1-1 kesiti ölçek: 1/50	28
Şekil 2.28: 2-2 kesiti ölçek: 1/50	28
Şekil 2.29: 3-3 kesiti ölçek: 1/50	29
Şekil 2.30: Ön cephe ölçek: 1/50	29
Şekil 2.31: 5-5 kesiti ölçek: 1/50	29
Şekil 2.32: Takviye ahşap giriş ile mevcut giriş bağlantı detayı ö: 1/20	30

Şekil 2.33: Ahşap uygulama detayları ö: 1/50.....	30
Şekil 2.34: Deprem spektrumu	31
Şekil 3.1: Yapının altyapısız 3D gösterimi (1).....	33
Şekil 3.2: Yapının altyapısız 3D gösterimi (2).....	34
Şekil 3.3: Yapının altyapısız 3D gösterimi (3).....	34
Şekil 3.4: Yapının altyapı ile gösterimi	34
Şekil 3.5: Yapının altyapı ile 3D gösterimi (1).....	35
Şekil 3.6: Yapının altyapı ile 3D gösterimi (2).....	35
Şekil 3.7: Yapının altyapı ile 3D gösterimi (3).....	35
Şekil 3.8: Yapının altyapı ile 3D gösterimi (4).....	36
Şekil 3.9: Yapının altyapı ile 3D gösterimi (5).....	36
Şekil 3.10: Yapının altyapı ile 3D gösterimi (6).....	36
Şekil 3.11: Yapının altyapı ile 3D gösterimi (7).....	37
Şekil 3.12: Çatı analizi.....	37
Şekil 4.1: Yapının uzunlamasına deprem yükü (Spektrum X).....	38
Şekil 4.2: Yapının enine deprem yükü (Spektrum Y)	38
Şekil 4.3: Zati ağırlığı altındaki deformasyon şekilleri	39
Şekil 4.4: Düğüm deplasmanları.....	40
Şekil 4.5: Modelde değerleri gösterilen düğüm nokta numaraları	41
Şekil 4.6: Deforme şekil, mode 4 (a).....	41
Şekil 4.7: Deforme şekil, mode 4 (b).....	42
Şekil 4.8: Deforme şekil, mode 5	42
Şekil 4.9: Deforme şekil, mode 6	42
Şekil 4.10: Deforme şekil, mode 8	43
Şekil 4.11: Deforme şekil, mode 9	43
Şekil 4.12: Deforme şekil, mode 11	43
Şekil 4.13: Modal katılan kütle oranları	44
Şekil 4.14: Modal katılım faktörleri	44
Şekil 4.15: Modal periyotlar ve frekanslar	45
Şekil 4.16: Tepki spektrumu mod bilgileri (a).....	45
Şekil 4.17: Tepki spektrumu mod bilgileri (b)	46
Şekil 5.1: Duvar 1 Zati yüklemesi ve S33 Gerilmesi (düşey yönü)	47
Şekil 5.2: Duvar 1 Deprem yüklemesi ve S11 Gerilmesi (boyuna doğrultusu)	48
Şekil 5.3: Duvar 1 Deprem yüklemesi ve S22 Gerilmesi (enine doğrultusu)	48
Şekil 5.4: Duvar 1 Deprem yüklemesi ve S23 kayma Gerilmesi	49
Şekil 5.5: Duvar 1 Deprem yüklemesi ve S33 Gerilmesi (düşey).....	49
Şekil 5.6: Duvar 2 Deprem yüklemesi ve S11 Gerilmesi (boyuna doğrultusu)	50
Şekil 5.7: Duvar 2 Deprem yüklemesi ve S22 Gerilmesi (enine doğrultusu)	50
Şekil 5.8: Duvar 2 Deprem yüklemesi ve S23 Gerilmesi (kayma)	51
Şekil 5.9: Duvar 2 Deprem yüklemesi ve S33 Gerilmesi (düşey doğrultusu).....	51
Şekil 5.10: Duvar 3 Zati yüklemesi ve S33 Gerilmesi (düşey doğrultusu)	52
Şekil 5.11: Duvar 3 Deprem yüklemesi ve S11 Gerilmesi (boyuna doğrultusu)	52
Şekil 5.12: Duvar 3 Deprem yüklemesi ve S22 Gerilmesi (enine doğrultusu)	53
Şekil 5.13: Duvar 3 Deprem yüklemesi ve S23 Gerilmesi (kayma).....	53
Şekil 5.14: Duvar 3 Deprem yüklemesi ve S33 Gerilmesi (düşey doğrultusu).....	54
Şekil 5.15: Duvar 4 Zati yüklemesi ve S33 Gerilmesi (düşey doğrultusu)	54
Şekil 5.16: Duvar 4 Deprem yüklemesi ve S11 Gerilmesi (enine doğrultusu)	55
Şekil 5.17: Duvar 4 Deprem yüklemesi ve S22 Gerilmesi (boyuna doğrultusu)	55
Şekil 5.18: Duvar 4 Deprem yüklemesi ve S23 Gerilmesi (kayma).....	56
Şekil 5.19: Duvar 4 Deprem yüklemesi ve S33 Gerilmesi (düşey doğrultusu).....	56

Şekil 5.20: Duvar 5 Zati yüklemesi ve S33 Gerilmesi (düşey doğrultusu)	57
Şekil 5.21: Duvar 5 Deprem yüklemesi ve S11 Gerilmesi (enine doğrultusu)	57
Şekil 5.22: Duvar 5 Deprem yüklemesi ve S22 Gerilmesi (boyuna doğrultusu)	58
Şekil 5.23: Duvar 5 Deprem yüklemesi ve S23 Gerilmesi (kayma).....	58
Şekil 5.24: Duvar 5 Deprem yüklemesi ve S33 Gerilmesi (düşey doğrultusu).....	59
Şekil 5.25: Duvar 6 Zati yüklemesi ve S33 Gerilmesi (düşey doğrultusu)	59
Şekil 5.26: Duvar 6 Deprem yüklemesi ve S11 Gerilmesi (enine doğrultusu)	60
Şekil 5.27: Duvar 6 Deprem yüklemesi ve S22 Gerilmesi (boyuna doğrultusu)	60
Şekil 5.28: Duvar 6 Deprem yüklemesi ve S23 Gerilmesi (kayma).....	61
Şekil 5.29: Duvar 6 Deprem yüklemesi ve S33 Gerilmesi (düşey doğrultusu).....	61
Şekil 5.30: Duvar 7 Zati yüklemesi ve S33 Gerilmesi (düşey doğrultusu)	62
Şekil 5.31: Duvar 7 Deprem yüklemesi ve S11 Gerilmesi (enine doğrultusu)	62
Şekil 5.32: Duvar 7 Deprem yüklemesi ve S22 Gerilmesi (boyuna doğrultusu)	63
Şekil 5.33: Duvar 7 Deprem yüklemesi ve S23 Gerilmesi (kayma).....	63
Şekil 5.34: Çatının 3D görünümü	64
Şekil 5.35: Çatının iskeletini oluşturan çubuk elemanların görünüşü (a).....	64
Şekil 5.36: Çatının iskeletini oluşturan çubuk elemanların görünüşü (b)	65
Şekil 5.37: Çatının iskeletini oluşturan çubuk elemanların görünüşü (c).....	65
Şekil 5.38: Deforme şekil	65
Şekil 5.39: Çatıdaki S11 gerilmesi	66
Şekil 5.40: Bir kesitte elemanlarda eksen kuvvet diyagramını gösteren resim	66
Şekil 5.41: Ahşap giriş kesit tahkiki	67
Şekil 6. 1: Yığma file yerleştirilmesi	68

TARİHİ YAPILARDA TAŞIYICI SİSTEMLERİN KARBON ELYAF BANTLAR İLE GÜÇLENDİRİLMESİ

ÖZET

Genel olarak depremler sırasında oluşan yatay gerilmeler yığma duvarlarda çatlaklara sebep olur. Eski yapılarda çekme elemanı olarak genelde ahşap veya demir hatıllar konulurdu. İncelenen pek çok eski yapının duvarlarında bu hatıllar çürümüş ve çekme özelliğini kaybetmiştir. Özellikle daha fazla atmosferik kirliliğin olduğu yerlerde bu durum daha riskli olabilir ve bundan sonraki yüzyıllarda bu kirliliğin artması bu hatılların yaklaşık 300 yıl yerine 100 yıl veya daha az ömürlü olabilmeleri sonucunu doğurabilir. Bu çalışmada örnek bir tarihi yapı sonlu elemanlar yöntemi ile SAP2000 programında modellenerek analiz edilmiş ve yığma duvarların güçlendirilmesi için karbon elyaf bantlar ile karbon elyaf filelerin birlikte kullanıldığı karma bir sistem önerilmiştir. Böylece yapıya kazandırılan bu çekme elemanlarına yığma duvarların enine doğru açılmasını engelleyen etriye görevi yapan bir sistem diyebiliriz.

Anahtar Kelimeler: *Yığma duvar, Güçlendirme, Sismik Performans, Hatıl, Karbon Elyaf Malzeme.*

STRENGTHENING A HISTORICAL BUILDING WITH CARBON FIBER BANDS

ABSTRACT

In general, horizontal stresses that occur during earthquakes cause cracks in masonry walls. In old buildings, usually wooden or iron beams were used as tension members. These beams rotted on the walls of many old buildings examined and lost their tensile properties. This may be more risky, especially where there is more atmospheric pollution, and the increase in this pollution in the next centuries may result in these beams lasting 100 years or less instead of about 300 years. In this study, an exemplary historical building is modeled and analyzed in the SAP2000 program using finite element method, and a mixed system in which carbon fiber bands and carbon fiber meshes are used together is proposed to strengthen the masonry walls. Thus, we can say that these pull elements added to the structure are a system that acts as a stirrup that prevents the masonry walls from opening laterally.

Keywords: *Masonry Wall, Reinforcement, Seismic Performance, Beam, Carbon Fiber Material.*

1. GİRİŞ

Gelişmiş güçlendirme ve rehabilitasyon yöntemlerinin çoğu, fiber takviyeli polimer (FRP) kompozit ürünler gibi yeni ve verimli malzemeler kullansa da, bazı özel durumlarda, sadece geleneksel güçlendirme yöntemleri uygulanabilir. Zamanla, yığma duvarlar hem yapısal hem de yapısal olmayan elemanlar için farklı mühendislik uygulamalarında başarıyla kullanılmıştır:

- Temeller,
- Kaideler,
- Bodrumlar,
- Döşemeler,
- Duvarlar,
- İstinat Duvarları,
- Kolonlar,
- Bağlantı şeritleri,
- Lentolar,
- Kemer ayakları,
- Kemerler,
- Tonozlar,
- Kubbeler,
- Mimari anıtlar,
- Yatak katmanları,
- Parmaklıklar,
- Kanalizasyonlar,

- Drenaj sistemleri.

Farklı duvar birimlerinin (taş, pişmiş kil tuğlalar, beton / kül blokları), bağlayıcı malzemeler (kireç veya çimento esaslı harç) kullanılarak veya kullanılmadan tanımlanmış bir sırayla birleştirilmesiyle bir yığma duvar sistemi elde edilir. Genellikle, duvar rehabilitasyon yönteminin seçim aşamasında ölçülen ana parametreler, sistem bileşenlerinin fiziksel ve mekanik özelliklerine ve çevresel maruz kalma koşullarına atıfta bulunur. Çeşitli çalışmalar, FRP kompozit malzemelerinin, zaman ve malzeme kaynaklarının sınırlı kullanımı ile olumsuz çevresel koşullara maruz kalan yığma yapıların verimli bir şekilde güçlendirilmesi için kullanılabileceğini göstermiştir. Ayrıca, FRP kompozit ürünlere dayalı rehabilitasyon yöntemleri, daha uzun hizmet ömrü ve minimum ek ağırlık gibi diğer önemli avantajları da sunmaktadır. FRP ile güçlendirilmiş yığma yapıların, üstün potansiyelli uzun vadeli performansları nedeniyle hizmet ömrü sürelerini aşması beklenmektedir. Ayrıca, hem fiziksel bozulmaya (rüzgar etkisinden kaynaklanan aşınma, tuz kristalleşmesi ve donma-çözülme etkisiyle aşınma) hem de kimyasal bozulmaya (genellikle harçların çözünür tuzlarla reaksiyonundan kaynaklanan) dayanımları yüksektir. Duvar onarım ve iyileştirme işleri için FRP sistemleri, genellikle bir harç matrisi veya bir yapışkan ürün kullanılarak duvar elemanlarının dış veya iç yüzeyine uygulanan yüksek mukavemetli kompozit ürünlerden (tekstil, şerit, lamel) oluşur.

FRP kompozit ürünleri, örgü ağlar şeklinde düzenlenmiş veya bir epoksi, vinil-ester veya polyester reçine matrisi ile belirli bir modelde bantlanmış sürekli veya dispers elyaflardan oluşur. Pultrüde FRP kompozit ürünleri, en yaygın olarak kullanılan takviye edici elyaflar cam, karbon, aramid ve bazalttır, reçine ise genellikle bir epoksi, vinilester, fenol formaldehit veya polyester ısıyla sertleşen reçinedir. Ayrıca, FRP kompozit ürünlerinde yeni iplik türlerini tanıtmak için, hem bağımsız kendinden taşıyıcı elemanlar hem de yüksek mekanik özelliklere sahip güçlendirme sistemleri için malzemeler elde etmeyi amaçlayan kapsamlı araştırmalar yapılmıştır. Örneğin, kompozit ürünler için ana takviye elyafı olarak kullanılan en son iplik türlerinden biri örümcek ipeğidir. Örümcek ipeği ile güçlendirilmiş polimer (SSRP) kompozit elementler, gerilimle yüklenerek deneysel olarak test edildi. Deneysel sonuçlara dayanarak, SSRP kompozit ürünlerinin, yaygın FRP kompozit ürünler (cam elyaf takviyeli

polimerler GFRP, karbon elyaf takviyeli polimer CFRP) ile karşılaştırıldığında üstün mekanik özelliklere (son derece yüksek gerilme mukavemeti, yüksek dayanıklılık) sahip olduğu sonucuna varılabilir.

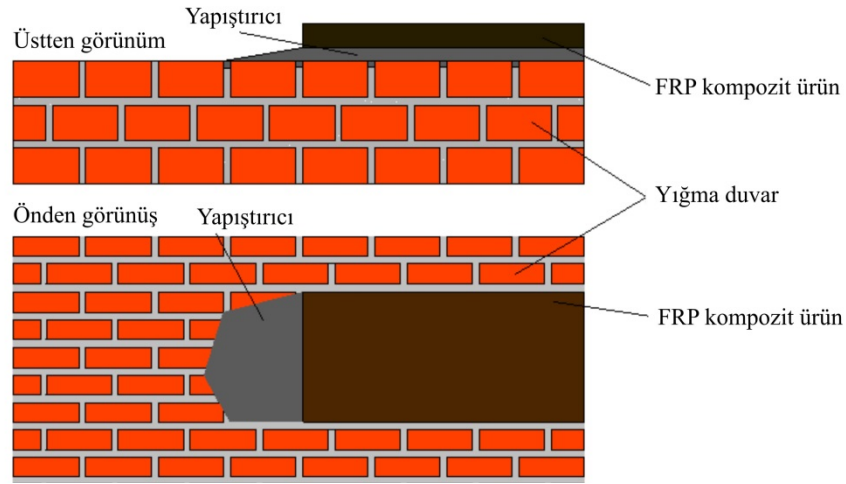
1.1 Güçlendirme Yöntemleri

Güçlendirme veya iyileştirme çalışmalarının temel amacı, hem yapının elastik olmayan deformasyon durumunda daha iyi davranma kabiliyetini hem de yapının yük taşıma kapasitesini ve bütünlüğünü arttırmaktır.

Yığma yapıları güçlendirmek için en sık kullanılan yöntemlerden biri, harici olarak bağlanmış FRP kompozit malzemelerin uygulanmasından oluşur. Bu malzemenin kullanımı, hafifliği ve avantajlı mekanik özellikleri nedeniyle popüler hale gelmiştir. Bununla birlikte, FRP güçlendirme tekniklerinin potansiyeli, uyumluluk sorunları nedeniyle yığma yapılara uygulandığında hala tam olarak kullanımdan uzaktır. Yığma yapı sistemlerine uygulanabilen en çok kullanılan FRP tabanlı güçlendirme yöntemlerinden bazıları aşağıdaki bölümlerde sunulmuştur.

1.1.1 Dışarıdan Yapıştırılmış Donatı (EBR)

Bu teknik, ıslak döşemeler kullanılarak uygulanan FRP tabakalarını veya bir yapıştırıcı ile duvar yüzeyine yapıştırılmış önceden sertleştirilmiş FRP laminatlarını kullanır. Laminatların oryantasyonu yatay, dikey, diyagonal veya bir ızgara modelinde olabilir; duvarın tek tarafına veya her iki tarafına da uygulanabilir. Islak yerleştirilmiş FRP'ler, duvar yapıları için güçlendirme tekniklerinde yaygın olarak kullanılmaktadır ve kuru tek yönlü veya çok yönlü fiber tabakaların yapıştırıcılarla empenye edilmesinden oluşur (Şekil 1.1).



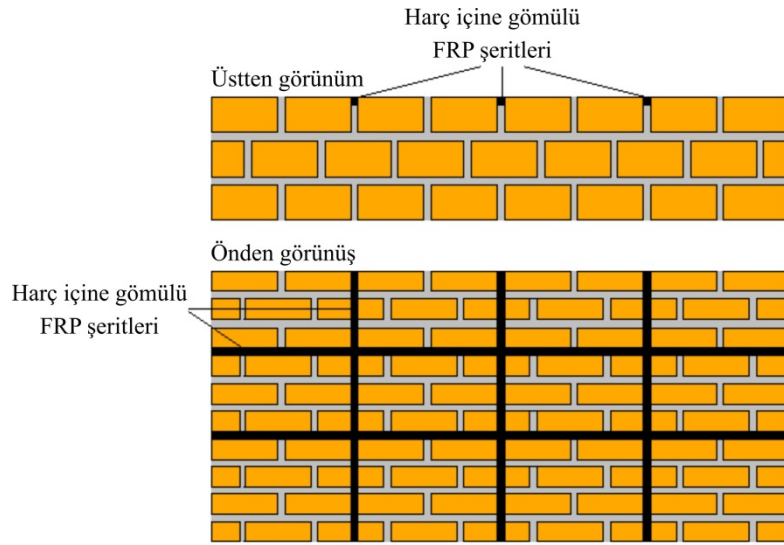
Şekil 1.1: Bir yığma duvar için harici bağlanmış takviye [1].

Genel olarak, yapışkan ürünler, bir reçine ve bir sertleştirme maddesinden oluşan iki kısımlı ısıyla sertleşen sistemlerdir. Öte yandan, önceden belirlenmiş FRP bazlı güçlendirme sistemleri, tipik olarak duvar yapılarına yapıştırıcılar, astarlar veya macunlar kullanılarak uygulanan plakalar, ızgaralar, şeritler veya kabuklar şeklinde çok çeşitli kompozit ürünlerden oluşur. Kurulumdan önce FRP kompozit laminatlar nominal boyutlarına göre kesilir ve duvar yüzeyi temizlenir. Yığma yüzeylerin temizliği, kirleticileri uzaklaştırmak için hem ıslak döşeme hem de emniyetli güçlendirme sistemleri için yapılmaktadır. Ayrıca yapıştırma yüzeyleri frezelenir ve temizleme işleminden önce, düz olmayan bölgeler macunla dengelenir. Harici olarak bağlanan FRP ürünleriyle ilgili çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmiştir ve şeritler, kumaşlar dahil olmak üzere çeşitli FRP kompozit malzemeleri, epoksi yapıştırıcılar kullanılarak duvar perde duvarına yapıştırılmıştır. Bazı durumlarda yığma duvarların düzlem içi deformasyon kapasitesinin % 300 artırılabilceği sonucuna varılmıştır. Son on yılda, duvar yapıları için EBR güçlendirme sistemlerinin etkinliğine odaklanan birçok araştırma çalışması yapıldı ve bu çalışmalar, çeşitli FRP kompozit malzemelerle güçlendirilmiş çeşitli duvar yüzeyleri (yani taş, pişmiş kil tuğlalar, beton / cüruf blokları) üzerinde gerçekleştirildi. Ayrıca bazı diğer çalışmalarda cam elyaf takviyeli polimer (GFRP) ve karbon elyaf takviyeli polimer (CFRP) kompozit laminatlar ile güçlendirilmiş kagir tuğlalar üzerinde tek ve çift bindirme kesme testleri gerçekleştirilmiştir. Deneysel sonuçlar, çoğu durumda, başarısızlığın, görece ince bir tuğla tabakasının bağlarının çözülmesinden kaynaklandığını göstermektedir. Daha yeni çalışmalar termal

uyumsuzluk (yapışkan kürlenme koşulları) ve nem saldırısı nedeniyle EBR sistemlerinde meydana gelebilecek bağ bozulması sorunları ve FRP delaminasyonu üzerine odaklanmıştır.

1.1.2 Yüzeye Yakın Monte Sistemler (NSM)

Yüzeye yakın montajlı (NSM) güçlendirme tekniği, duvar yüzeyinin derinliğindeki kesimlere veya oluklara yapıştırıcılarla bağlanan FRP çubukları veya şeritleri kullanır (Şekil 1.2).



Şekil 1.2: Yüzeye yakın sistemler [1].

Yığma duvarlarda kullanılan NSM güçlendirme sistemleri, çeşitli amaçlara ulaşmak için tasarlanabilir ve gerçekleştirilebilir. Genellikle, FRP ürünleri, duvarların düzlem içi davranışını iyileştirmek ve duvar elemanlarının yük taşıma ve deformasyon kapasitesini artırmak için duvar yapılarına yerleştirilir. Ayrıca NSM sistemleri, ortogonal duvarlar arasındaki bağlantıları geliştirerek bükülme momenti kapasitesini artırır, bu sayede yığma duvarların düzlem dışı davranışını iyileştirir. NSM güçlendirme yönteminin altı farklı aşaması vardır:

- Yüzey temizleme işleri,
- Harici olarak bağlanmış FRP için hazırlık,
- Reçine karıştırma,
- Bileşen malzemeleri için oluk açma,
- FRP çubuk veya şerit montajı,

- Koruyucu kaplamalar.

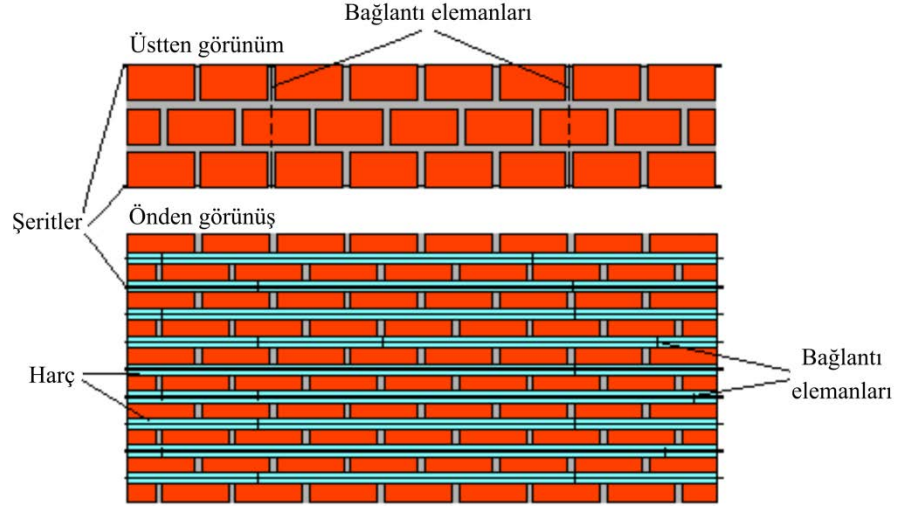
Temizleme aşaması genellikle duvar yüzeyine hava püskürtülerek gerçekleştirilir. Daha sonra tuğla veya taş birleşimlerinde çubuk çapının bir buçuk katı çapta oluklar veya yuvalar kesilir. FRP çubukları oluğa yerleştirilir ve epoksi reçine sıvı bileşiği, çimento ve çimentolu malzemelerden yapılmış harçla tamamen kapsülendir. Güçlendirilmiş duvarın eğilmesini veya bükülmesini önlemek için, FRP takviyesi duvarın her iki yüzüne simetrik olarak yerleştirilmelidir. Yığma yapılara uygulanan NSM güçlendirme sistemleri, yıpranma etkileri oldukça azaldığından ve bu nedenle sistemin uzun vadeli performansları oldukça arttığından, dıştan bağlı FRP sistemlerinden neredeyse üç kat daha verimlidir. Ayrıca, NSM FRP çubuklarında meydana gelebilecek iki tür ana yapıdan ayrılma hatası mevcuttur:

- Epoksi kaplamanın yarılmasından kaynaklanan,
- Epoksi yapıştırıcıyı çevreleyen taş veya tuğlanın çatlaması.

Bu olumsuz durum, epoksi kaplamanın kalınlığının artırılmasıyla veya yüksek gerilme mukavemetine sahip yapıştırıcıların kullanılmasıyla azaltılabilir.

1.1.3 Çelik Şeritlerle Güçlendirme

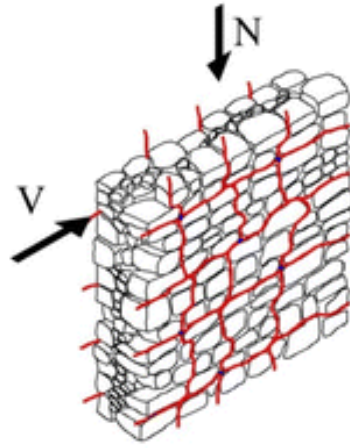
Bu yöntem küçük çaplı, yüksek mukavemetli paslanmaz çelik şeritlerden oluşur ve yapıştırma harcı içerisine gömülür. Daha sonra duvardan geçen paslanmaz çelik bağlantılarla duvar panellerine bağlanır. Bu şeritlerin kesişen nodları tam bir etkileşim sağlayabilen enine paslanmaz çelik çubuklar (tipik olarak m² başına 5 eleman) vasıtasıyla yığma duvarın karşı yüzüne rijit şekilde bağlanır. Bu tekniğin temel avantajı, moloz taş elemanların bir araya getirilmesiyle elde edilen düzensiz bileşenlerden yapılmış ve düz olmayan yüzeylere sahip tarihi yığma duvarlara da uygulanabilmesidir.



Şekil 1.3: Çelik şeritlerle güçlendirme [1].

1.1.4 FRP ile Yeniden İşaretleme Tekniği

Bu duvarla güçlendirme tekniği, harçlı dikey derzler, tuğla birimleri boyunca ve yataklama derzlerinde yatay olarak sürekli düz dikey oluklar açmayı içerir. Oluklar yaklaşık 1 inç derinliğinde ve harç kalınlığı kadar geniştir. Oluğu deldikten sonra, döküntü bir vakumla çıkarılır. Temizleme işleminden sonra epoksi astar uygulanır ve oluklar kısmen epoksi yapıştırıcı ile doldurulur. Takviye, oluklara yerleştirilmiş ve bir epoksi yapıştırıcı ürün ile kapsüllenmiş FRP çubuklarından oluşur.



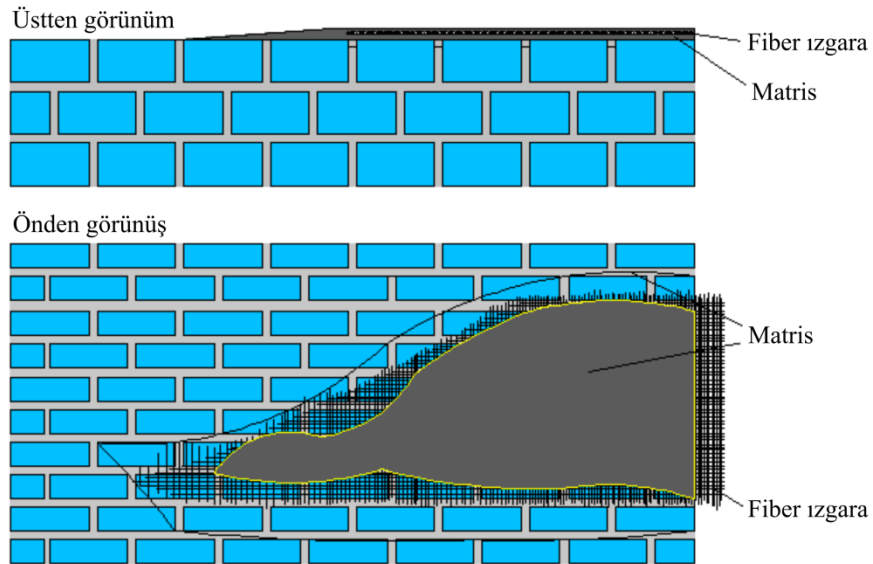
Şekil 1.4: FRP ile yeniden işaretleme tekniği [2].

Bazı özel durumlarda, FRP çubuklarını çatıya bağlamak için yanal bağlar kullanılır. Güçlendirilmiş homojen dikey kiriş, yığma duvarın düzlem içi ve düzlem dışı yüklemeye direnme kapasitesini artırır. Bu teknikle, takviyesiz yığma yapılara göre kapasite, deforme olabilirlik ve enerji dağılımında önemli

artış sağladığı görülmüştür. Tekniğin temel dezavantajı, farklı rijitlik ve mukavemet özelliklerine sahip bölgeler yaratmasıdır.

1.1.5 Çimento Esaslı Matris Izgara Sistemi

Bu teknik (Şekil 1.5), yığma duvarların yüzeyine kısmen veya tamamen yapıştırılmış bir çimentolu kompozit (ECC) tabakası kullanır. Kumaşla güçlendirilmiş çimentolu matris (FRCM) malzemeleri, kısa lifler içerebilen inorganik bir matris içine gömülü bir kuru elyaf ızgaradan oluşur. Bu malzemeler, alt tabaka ile yüksek uyumlulukları, buhar geçirgenlikleri ve çevresel etkenlere karşı dayanıklılıkları nedeniyle özellikle yığma yapıların güçlendirilmesi için çok uygundur.

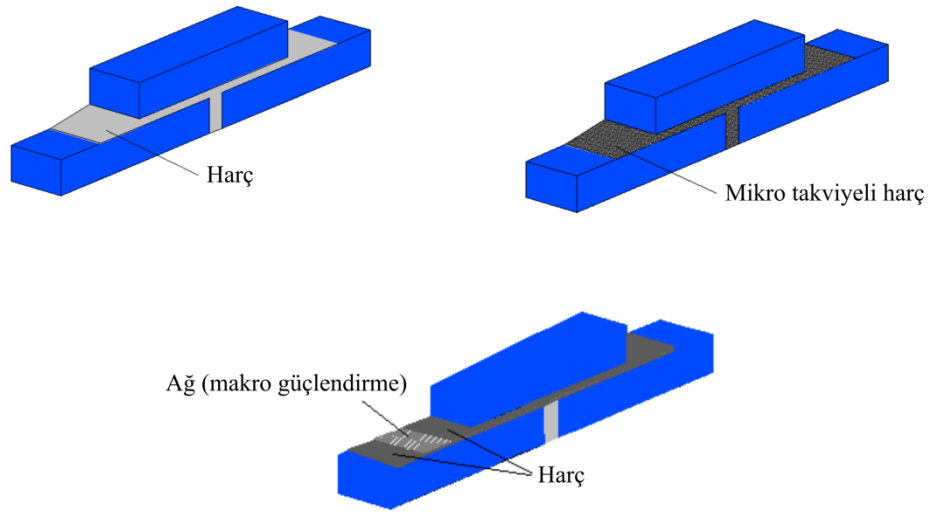


Şekil 1.5: Çimento esaslı matris ızgara sistemi [1].

Yapılan çalışmalar, FRCM malzemelerine dayalı duvar güçlendirme sistemlerinin kullanımının, mukavemeti ve sünekliği artırarak yapısal performansı iyileştirebileceğini göstermiştir. Üstelik bu güçlendirme sistemi, alt tabaka ile iyi bir uyum ve bağlanma sağlar, matris üzerinden hava ve nem transferine izin veren ve mala kullanımı ile montaj kolaylığı sağlayan nefes alabilir bir sistem sağlar. Menna ve diğerleri, (2015), iki farklı harçta gömülü olan çift yönlü kenevir lifi kullanan yenilikçi bir kompozit ızgara tanıttı. Deneysel sonuçlar, çapraz sıkıştırma davranışında panellerin mekanik özelliklerinin sarı tuf tuğlalarda 2 ila 3 kat, kil panellerde 5 kat arttığını göstermiştir.

1.1.6 Birleşme Yerlerinin Mikro ve Makro Güçlendirilmesi

Bu güçlendirme tekniği, duvar derzlerine uygulanan, polipropilen lifler ve metal olmayan ağlarla güçlendirilmiş çimento kireç bakımından zengin bir harç kullanır (Şekil 1.6). Harç derzleri olarak kullanılan karışım, sıradan harçta oluşan çatlakları azaltabilir ve elastikiyeti ve dayanıklılığı artırabilir. Ayrıca, Bosiljkov (2006) tarafından yapılan testler, mikro takviyeli duvarın basınç mukavemetinin neredeyse % 15 arttığını göstermiştir.

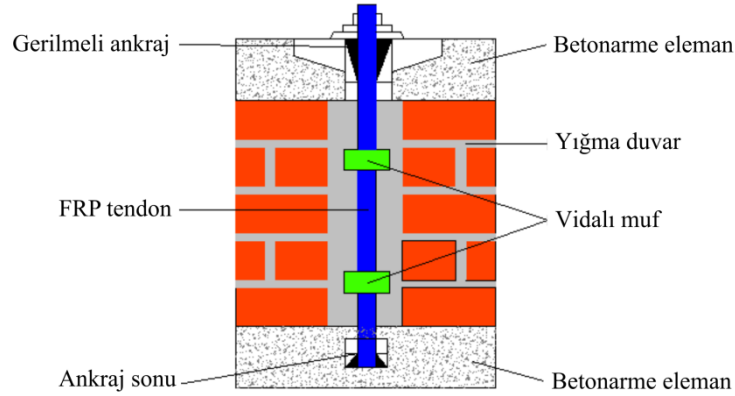


Şekil 1.6: Ek yerlerinin mikro ve makro takviyesi [1]

1.1.7 Ard Germeli Güçlendirme Sistemi

Art germe (P-T) güçlendirme tekniği, dış yüklerin etkilerinin bir kısmını veya tamamını dengeleyecek olan duvar yapı elemanlarına dış kuvvetlerin uygulanmasını içerir (Şekil 1.7). P-T ile güçlendirme, özellikle büyük yığma duvarlar ve yığma kubbe yapıları için daha etkili ve ekonomiktir. Ayrıca bükülme ve kesme direncini arttırmak ve aşırı eğilmeleri düzeltmek için önemli sonuçlar alınmıştır. Art gerdirmenin duvarla birleştirilmesi, basit ve potansiyel olarak uygun maliyetli bir yapısal sistem sunar. Art gerilme teknikleri, farklı tipteki duvar elemanlarına bağlı veya bağlanmamış donatı olarak uygulanabilir. Art gerilmeli duvarlar, döşenebilir, kısmen harçlanabilir veya tamamen harçlanabilir. Art gerdirme çubuklarını içeren hücrelerde harç kullanılan bağlanmamış kagir duvarlarda, PT çubuğu bir PVC tüp içine alınır ve bu nedenle harca gömülmez veya yapıştırılmaz. Bağlanmamış bir PT çubuğu, duvarı orijinal dikey hizalamasına geri döndürmek için bir geri yükleme kuvveti oluşturması için tasarlanmıştır, böylece artık bir sismik olaydan sonra

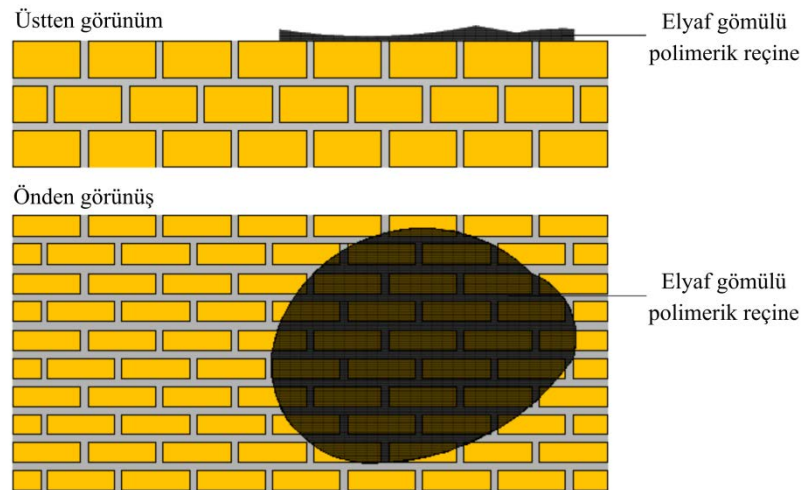
sürüklenmeleri azaltır. P-T güçlendirme yöntemi, bir yığma duvarın ortasından dikey olukların delinmesi ve ardından oluklar boyunca bir kanalın içine yerleştirilmiş FRP tendonlarının yerleştirilmesiyle harici veya dahili olarak uygulanabilir. FRP tendonları hafiftir ve yüksek mukavemete sahiptir, art gerdirme uygulamaları için çok uygundur. Yığma yapılar için P-T güçlendirme sistemlerinde en sık kullanılan kompozit malzemeler CFRP ve aramid FRP'dir.



Şekil 1.7: Ard germeli güçlendirme sistemi [1].

1.1.8 Püskürtme FRP Kompozitler

Yığma yapıların güçlendirilmesi için daha yeni bir yöntem, yüksek performanslı fiberlerin, dayanıklı bir hibrit polimerik reçine ile yığma duvarların yüzeyine yüksek hızlarda püskürtülmesini içerir, böylece yüksek mukavemetli, iyi sıkıştırılmış ve iyi bağlanmış bir kompozit ve rijitlik oluşur (Şekil 1.8).



Şekil 1.8: Püskürtmeli FRP kompozitler [1].

Fiberlerin 2 boyutlu olarak ortaya çıkan rastgele dağılımı ile FRP tabakası doğrusal olmayan gerilme-gerinim davranışını miras alır ve izotropik düzlem içi mukavemet performansına sahip olur.

1.2 Kompozit Malzemelerdeki Elyaf Tipleri

Kompozit malzemelerdeki elyaflar genellikle çok güçlü ve sert olup, bu durum kullanım sırasında uygulanan gerilme kuvvetlerini absorbe etmelerini sağlar. Ek olarak, kompozit uygulamaları için elyaf seçimi genellikle korozyon direnci, yüksek gerilme mukavemeti, yeterli bozulma gerilmesi, yorulma direnci ve boyutsal kararlılık gibi özelliklerle ilgilidir. Genel özellikleri göz önüne alındığında, güçlendirme için kullanılan birçok uzun elyaf türü vardır: karbon, cam, aramid, bazalt ve doğal elyaf.

Bu lifler genellikle çelik, titanyum ve alüminyuma kıyasla çok daha yüksek gerilme direncine sahiptir (Çizelge 1.1). İyi bilinen karbon veya cam elyafların yanı sıra, yüksek mukavemetli çelik elyaflar nispeten yeni elyaf türüdür. Bu elyaflar inorganik matrislerle (yani harçlar) daha iyi bir uyumluluğa sahiptir, ancak uygun şekilde korunmazlarsa oksidasyona maruz kalabilir [3].

Çizelge 1.1: Elyafların tipik mekanik özellikleri

Elyaf veya malzeme türü	Özgül ağırlık (g/cm ³)	Elastik modülü (GPa)	Çekme dayanımı (MPa)	Nihai Uzama (%)
Karbon fiber	1.7-2.13	230-830	1514-3890	0.42-2.2
Fiberglas	2.46-2.54	72-87	1357-1987	4.8-5.7
Aramid	1.44-1.54	70-124	1379-3620	2.4-4.6
Bazalt	2.8-3.0	93-110	2600-3200	2.7-3.4
Çelik	7.8	206	500-2000	-

2. ÖRNEK BİR TARİHİ YAPININ FRP İLE GÜÇLENDİRİLMESİ

Yığma duvarlara müdahalelerin tasarımı, FRP veya çelik kordonlarla sınırlandırılmış duvarların gerilme-gerinim davranışı hakkında bilgi eksikliği göz önüne alındığında zor bir görev oluşturabilir. FRP takviye tasarımı için önerilen denklemler, yanal sınırlama basıncına (f_1) maruz kalan FRP ile sınırlandırılmış üyeler için tasarım basınç dayanımının (f_{mcd}) aşağıdaki gibi yazılabileceğini göstermiştir [5].

$$f_{mcd} = f_{md} + k' \cdot f_1' \quad (2.1)$$

Burada f_{md} , sınırlandırılmamış duvarın tasarım basınç dayanımını temsil ederken, k' boyutsuz bir katsayıdır ve f_1' , etkili yanal sınırlama basıncıdır. Malzemeye ve uygulanan takviyenin tipolojisine bağlı olarak k' katsayısı farklı değerler alabilir. FRP takviyesi için, k' değeri $g_m/1250$ olarak belirtilir; burada g_m , kg/m^3 cinsinden ifade edilen duvarın özgül ağırlığıdır. Etkin basınç f_1' şu şekilde ifade edilir:

$$f_1' = k_{eff} \cdot f_1 = k_H k_V f_1 \quad (2.2)$$

Burada k_{eff} , etkinlik katsayısıdır. Bu değer yatay ve dikey etkililikle ilgili k_H ve k_V terimlerinin ürünüdür [6].



Şekil 2.1: Yapının gravürlerden seçilmiş resmi (a)



Şekil 2.2: Yapının gravürlerden seçilmiş resmi (b)

2.1 Yapının Genel Tanımı

Bu çalışmada yapının statik analizlerinin yapılması, yatay, düşey taşıyıcı sistemlerinin incelenmesi ve ayrıca binanın sonlu elemanlar yöntemi ile matematiksel modelinin oluşturulması konumuzdur. Binanın yapısal davranışı hakkında bilgi edinebilmek için sonlu elemanlar yöntemi ile modelleme çalışması yapılmıştır.



Şekil 2.3: Yapının günümüze kalan kısmı (a)



Şekil 2.4: Yapının günümüze kalan kısmı (b)

Yapısal davranışı en doğru şekilde belirleyebilmek amacıyla, modelleme çalışmalarında yapı geometrisine büyük ölçüde uyulmuş ve üç boyutlu olarak modellenmiştir. Topkapı sarayındaki yapının eski resimleri gravürlerden seçilmiş olup en uygun yapı sistemine bağlı kalarak modellenmiştir.

2.2 Matematiksel Modelleme Çalışmaları

Binanın matematiksel modelin oluşturulmasına, yapılan mimari çalışmalardan yararlanılması neticesinde CAD ortamında 3 boyutlu yapı modelinin oluşturulması ile başlanmıştır. Taşıyıcı elemanlara ilişkin bilgiler ve zemin etüt raporundan alınan veriler derlenmiş ve derlenen bu veriler hazırlanan model üzerine işlenmiştir. CAD ortamında yapının geometrisi tanımlandıktan sonra, hazırlanan geometrik model SAP2000 programına aktarılmıştır. Taşıyıcı duvarları SAP2000 programında DOLGU (solid) ve ahşap çatılar ve ufak 3 tane kubbe de yüzeysel (shell) elemanlar yardımıyla tanımlanmıştır. Çatıda kullanılan ahşap kolon ve kirişler ise çubuk (frame) elemanlar yardımıyla modele dâhil edilmiştir.

Modelleme çalışmalarında, statik açıdan kritik kesimlerde sonlu elemanlar daha fazla parçaya bölünerek bu bölgelerde daha hassas sonuçlar elde edilmesi amaçlanmıştır. Sonlu elemanlara ayrıştırma işlemi sırasında farklı elemanların birbirleriyle kesiştiği düğüm noktalarının birbiriyle uyumlu olması ve süreksizlik yaratmaması sağlanmıştır. Bundan sonraki aşamada ise, yapının belirlenmiş olan geometrik koşulları doğrultusunda sınır koşulları, mesnetlerin ve düğüm noktalarının serbestlik dereceleri ve model üzerine etkileyen yükler belirlenerek SAP2000 ortamında girilmiş ve böylece model analize hazır hale gelmiştir. Modelin analiz edilmesinde, yapının geometrik ve malzeme olarak lineer olmayan davranışı ve yapılabilecek hataların yanlış sonuçlar doğurabileceği ihtimaline karşı dikkate alınmamıştır. Sonuç olarak yapı lineer elastik teoriye göre analiz edilmiştir.

Lineer elastik teoride, yapı malzemelerinin çekme ve basınç gerilmelerine karşı lineer-elastik davranış gösterdiği kabulü ile hesap yapılmaktadır. Bina taşıyıcı kargir duvarı için, basınç gerilmeleri altında lineer elastik davranış kabulü gerçeğe yakın sonuçlar verebilen bir yaklaşımdır. Çekme gerilmeleri için benzer durum söz konusu olmamasına rağmen, duvarın çekme gerilmelerine maruz bölgelerinin belirlenmesi ve bu bölgelerde çekme gerilmelerine karşı önlem alınması (oluşabilecek çatlamlara karşı) için lineer elastik davranış yaklaşımı önemli olmaktadır.

2.3 Analizlerde Kullanılan Yükler

Yapının analizlerinde üç boyutlu model üzerinde kullanılan yükler aşağıda sıralanmıştır.

- Zati (Ölü) Yükler: Hesaplarda yapı zati ağırlıkları dikkate alınmış olup, bu yükler program tarafından otomatik olarak hesaba dâhil edilmiştir.
- Hareketli Yükler: TS 498 de mesken türü yapılarda hareketli yük olarak $q=5 \text{ kN/m}^2$ değeri verilmektedir. Bu yük değeri döşemeler üzerinde düzgün yayılı yük olarak tanımlanmıştır.
- Deprem Yükleri: Yapının deprem etkilerinin hesabında hem eşdeğer deprem yük yöntemi kullanılmış olup hem de deprem spektrum yük yöntemi de uygulanmıştır.

Deprem Yönetmeliğinde ahşap kargir binaların deprem analizlerinde spektral ivme analizi kullanılmaktadır. Bu durumu R katsayısı 2.5 alınabilir. Spektral analizde kullanılan zemin sınıfı ve deprem bölge derecesine göre spektral eğrisi kullanılarak yapılmıştır. Deprem yükleri binanın her iki asal doğrultusu için (X ve Y yönlerinde) ayrı ayrı analizlere dâhil edilmiştir.

2.4 Taşıyıcı Elemanları ve Kullanılan Malzemeler

Yapının mevcut taşıyıcı duvarları tuğladandır. Duvarlar için verilen karakteristik değerler aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 2.1: Duvarlar için verilen karakteristik değerler

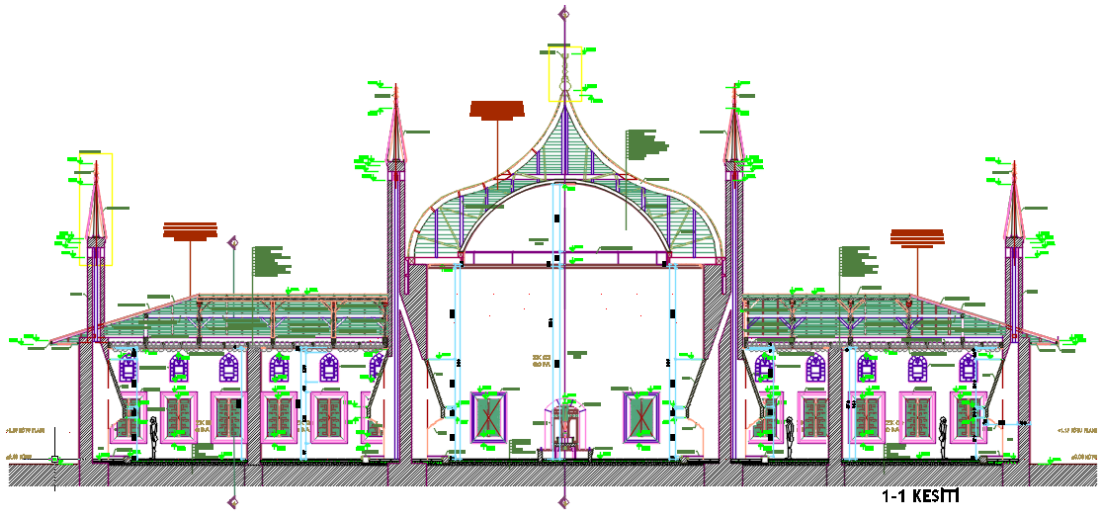
Fiziksel büyüklük	Değeri
Özgül Ağırlık	18 kN/m^3
Basınç Mukavemeti	1.000 kN/m^2
Elastisite Modülü	2 ile $4.000.000 \text{ kN/m}^2$
Çekme Mukavemeti	100 ile 150 kN/m^2

Ahşap eleman için birinci sınıf çam kullanılacaktır. Malzemenin mekanik özellikleri aşağıda verilmiştir.

Çizelge 2.2: Ahşap elemanların mekanik özellikleri

Fiziksel büyüklük	Değeri
Özgül Ağırlık	8 kN/m ³
Basınç Mukavemeti	11.000 kN/m ²
Elastisite Modülü	10.000.000 kN/m ²
Çekme Mukavemeti	10.000 kN/m ²

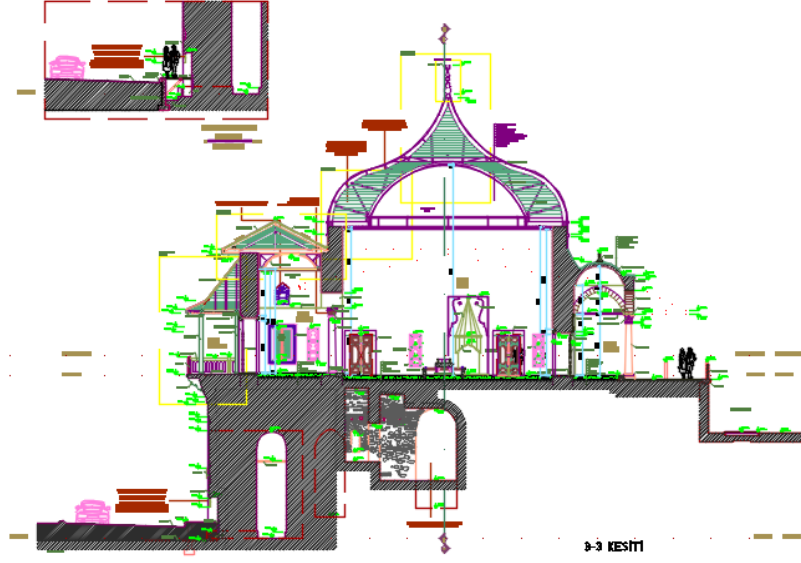
2.5 Mimari Çizimler



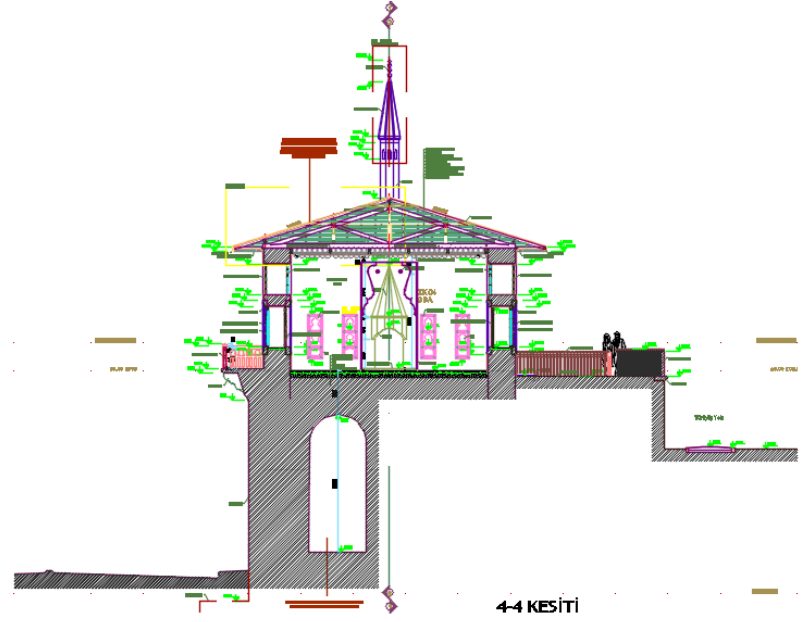
Şekil 2.5: 1-1 kesiti



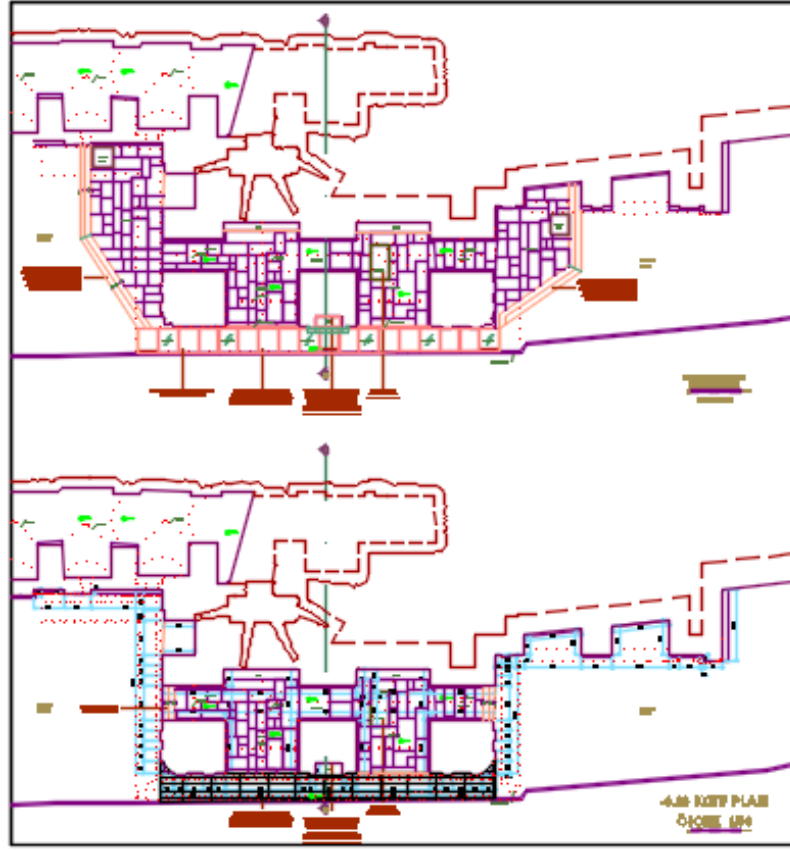
Şekil 2.6: 2-2 kesiti



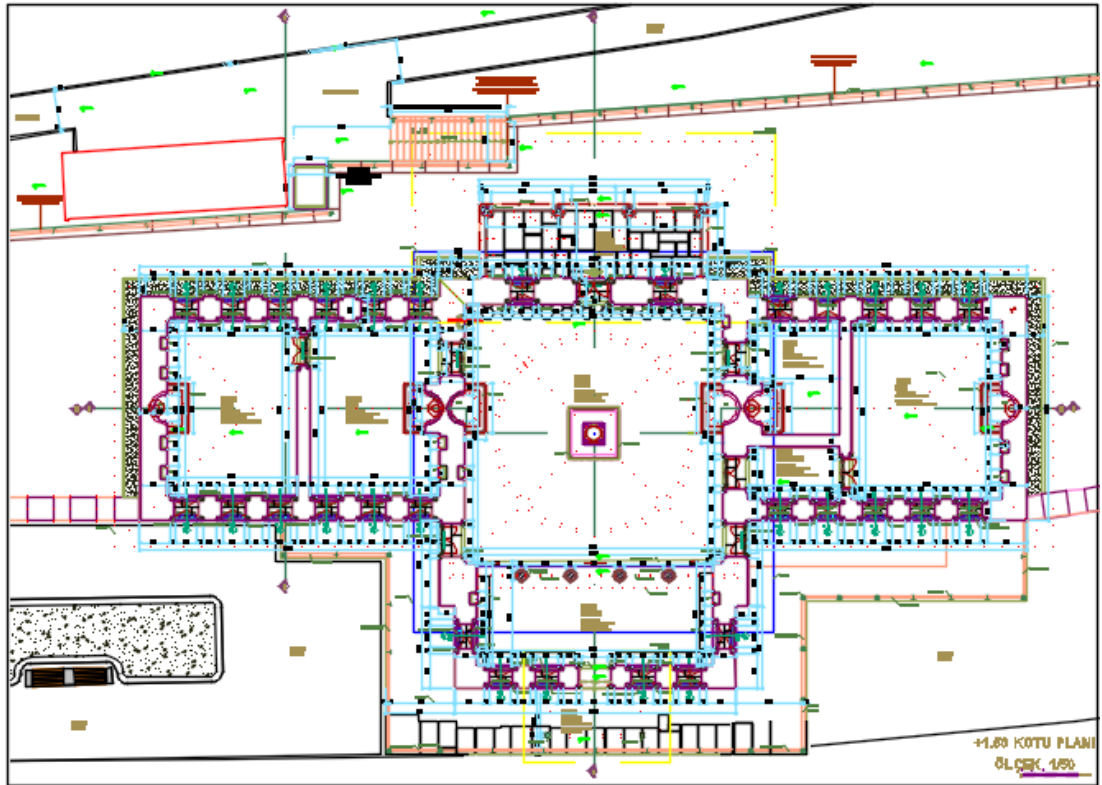
Şekil 2.7: 3-3 kesiti



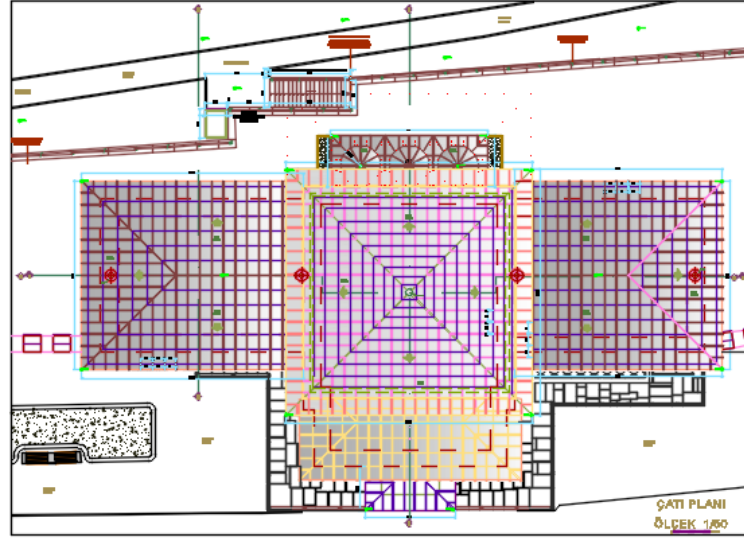
Şekil 2.8: 4-4 kesiti



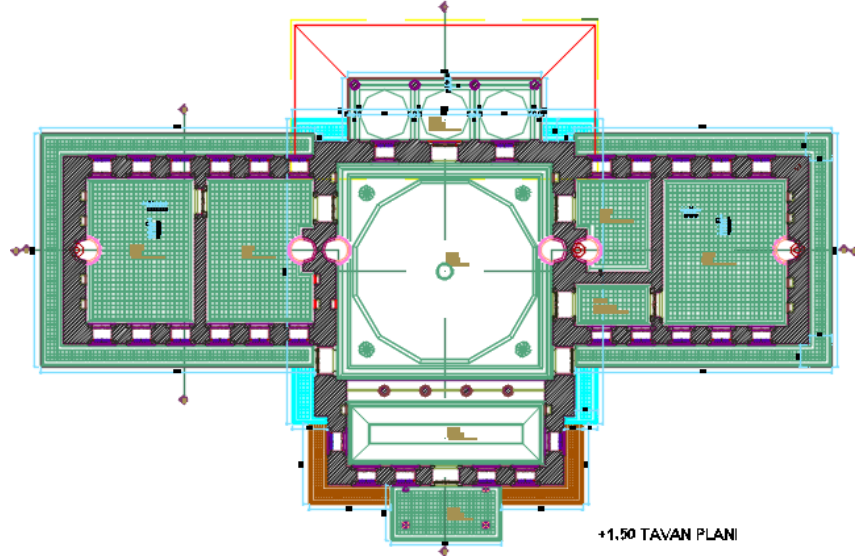
Şekil 2.9: - 4.50 kotu planı



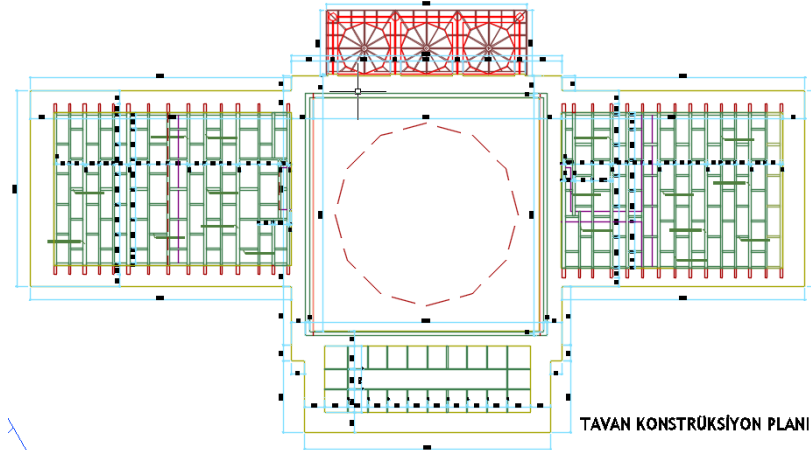
Şekil 2.10: +1.50 kotu planı



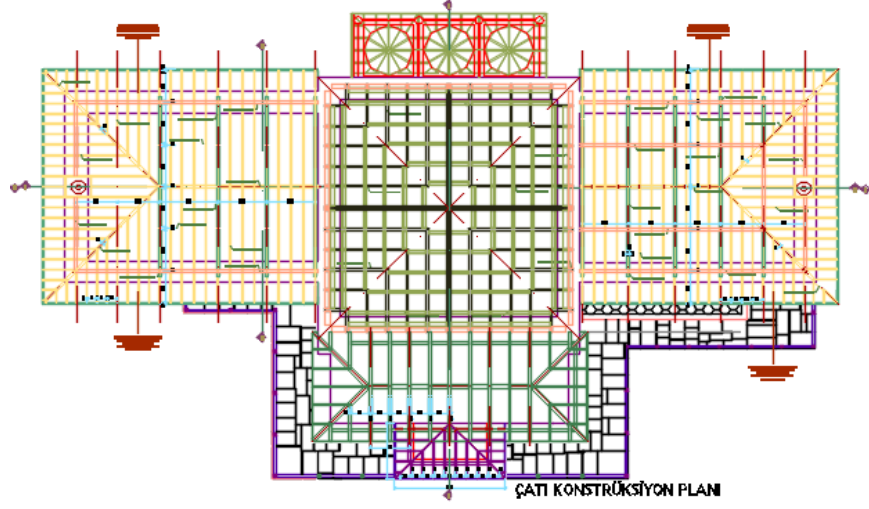
Şekil 2.11: Çatı planı



Şekil 2.12: +1.50 tavan planı



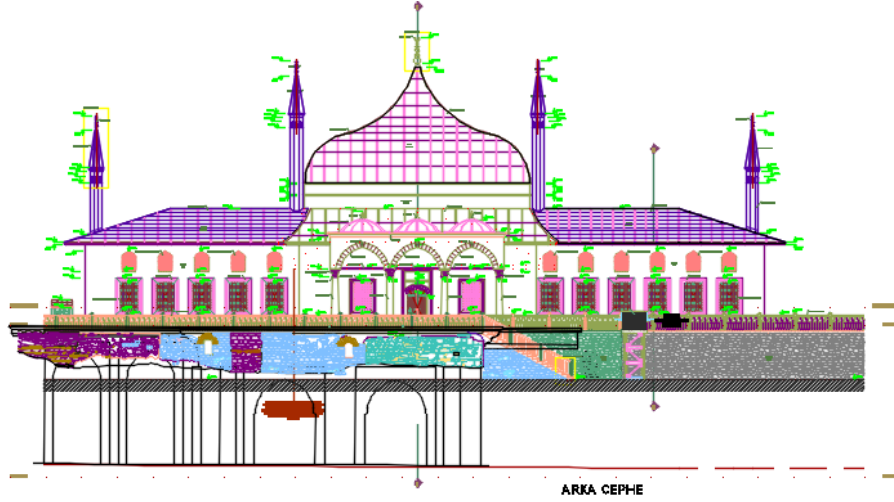
Şekil 2.13: Tavan konstrüksiyon planı



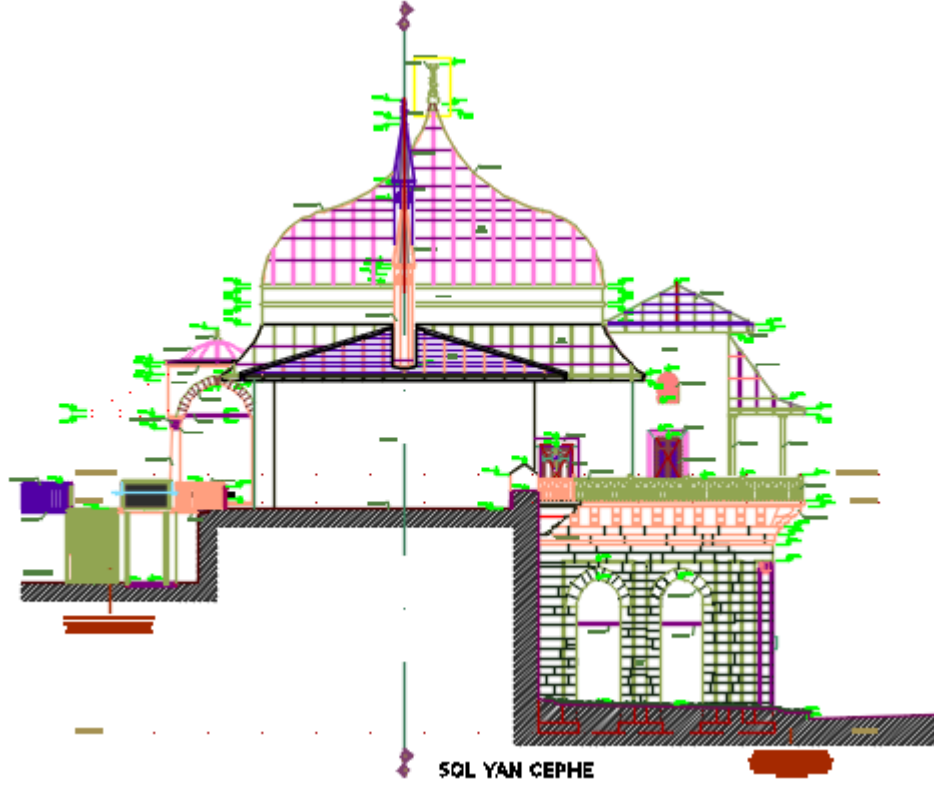
Şekil 2.14: Çatı konstrüksiyon planı



Şekil 2.15: Ön cephe



Şekil 2.16: Arka cephe



Şekil 2.17: Sol yan cephe

2.6 Matematiksel Model ve Taşıyıcı Sistem Analizi

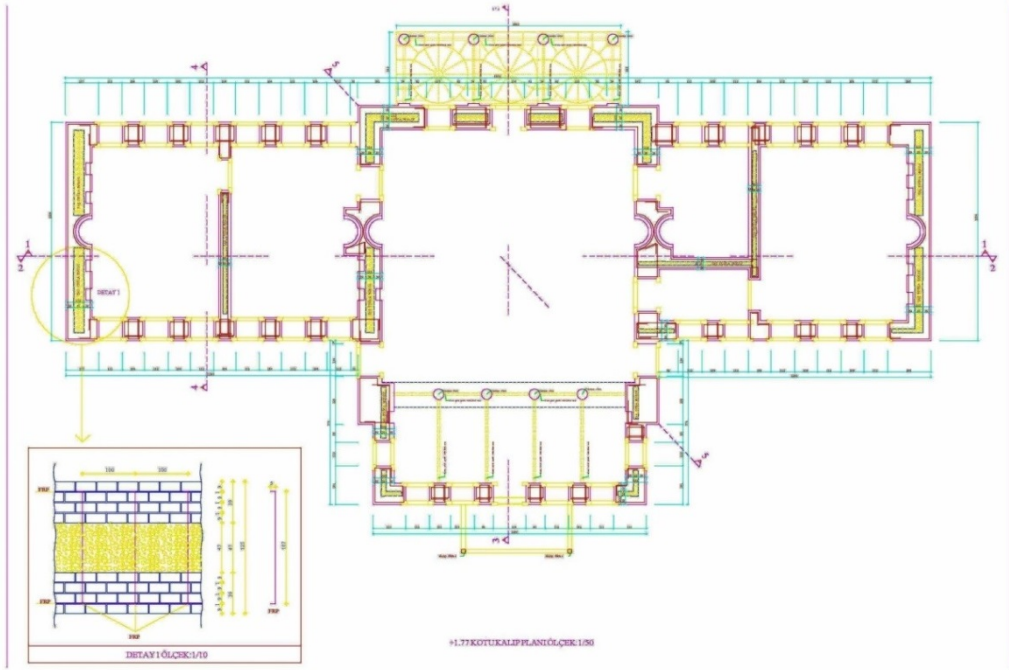
Yukarıda yapılan açıklamalar ışığında bina sonlu elemanlar yöntemi ile SAP2000 programında modellenmiştir. Yapının statik analizini yaparken rölövelerden elde ettiğimiz cephe ve plan çizimlerinden faydalanarak oluşturduğumuz üç boyutlu model analiz yapılmıştır. Yapısal sistemi gösteren program çıktıları müteakip sayfalarda verilmiştir. Modellemenin ardından sistem sınır koşullarına uygun olarak tanımlı yükler altında analiz edilmiştir. Analizlere ait program çıktıları da müteakip sayfalarda verilmiştir. Yapılan analizlerde taş duvarda taşıyabileceğinden fazla çekme ve basınç gerilmeleri oluşan bölgeler tespit edilmiştir.

2.7 Kalıp Planı ve Statik Çizimler

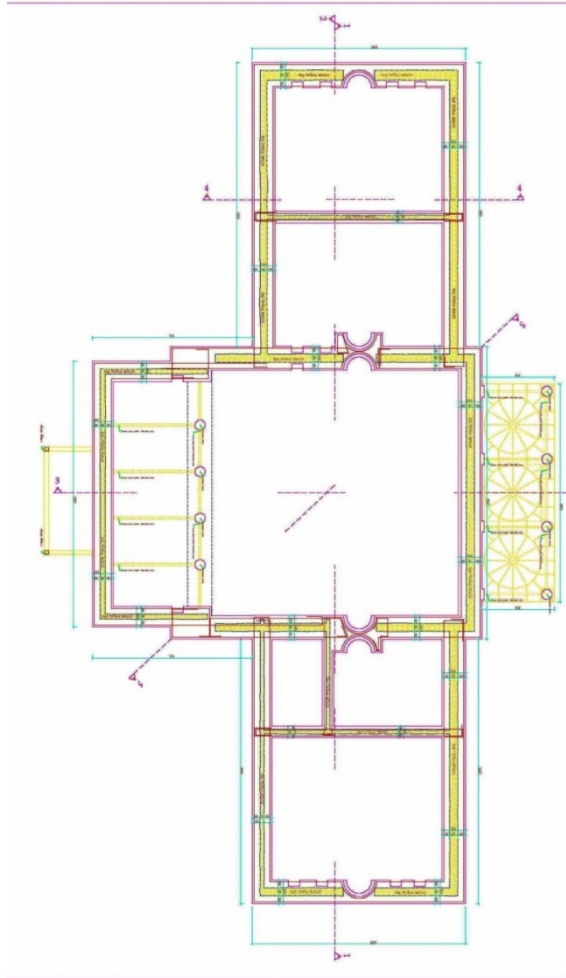
Burada yapılan statik hesaplara göre kalıp planı ve güçlendirme esaslarının çizimleri verilmiştir. Güçlendirme esasları çizimlerde belirtildiği gibi tuğlalar arasına yerleştirilen bantlar ile yapılmıştır. Örnek sistem alttaki resimde gösterilmiştir. Sonraki çizimler bu esasa göre yapılmıştır.



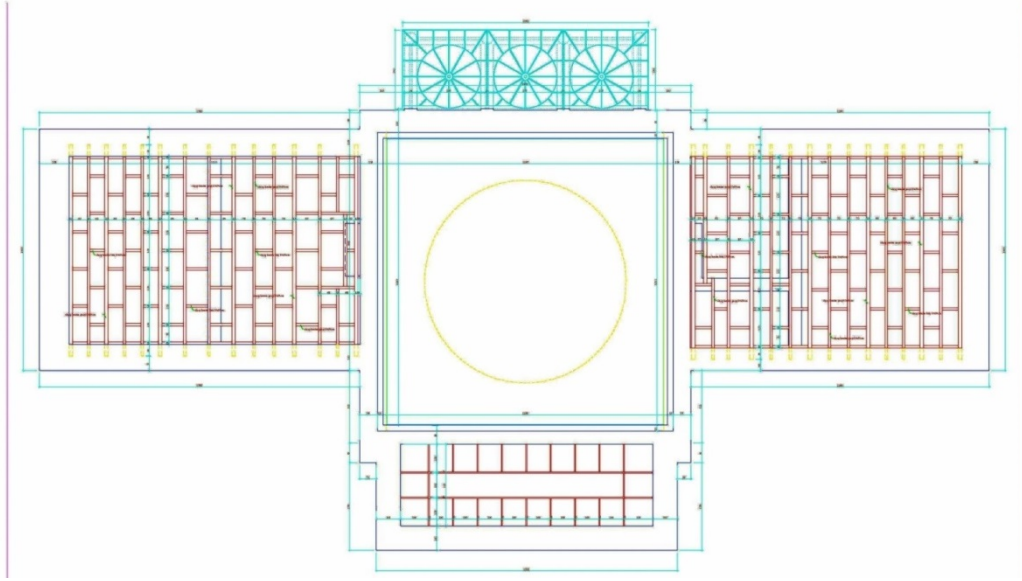
Şekil 2.20: Kalıp planı



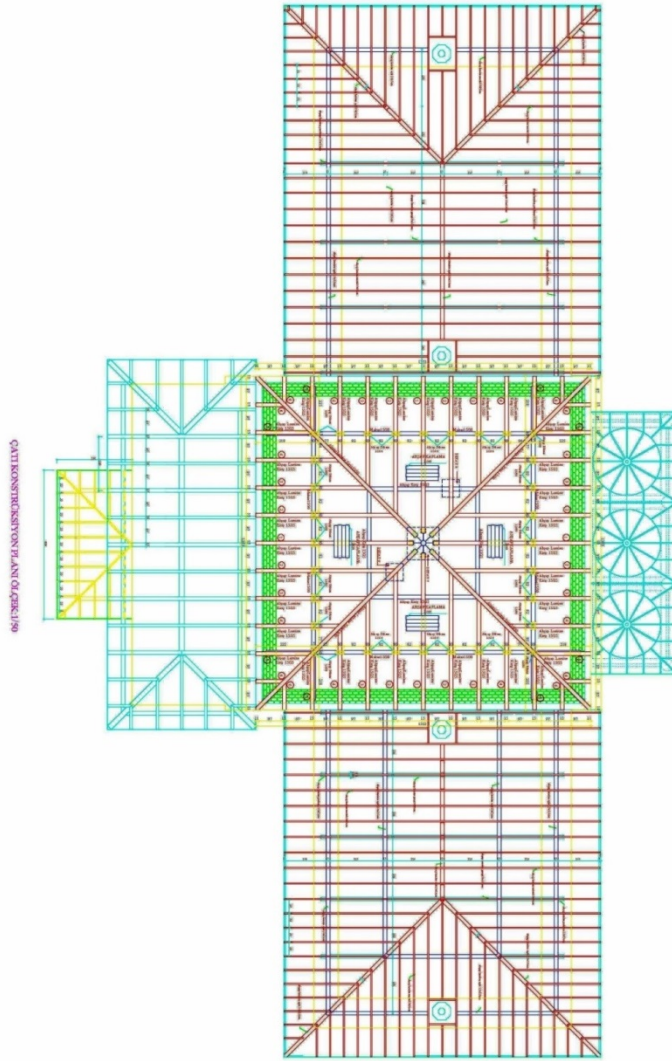
Şekil 2.21: + 1.77 kotu kalıp planı



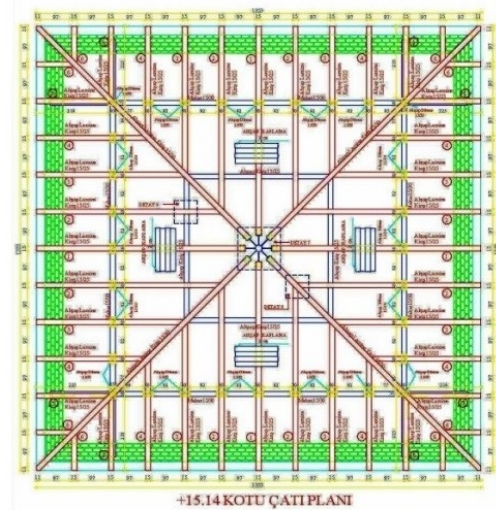
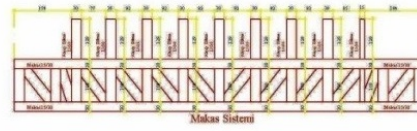
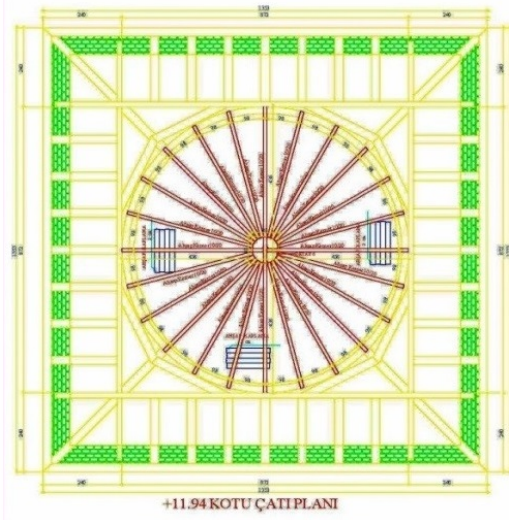
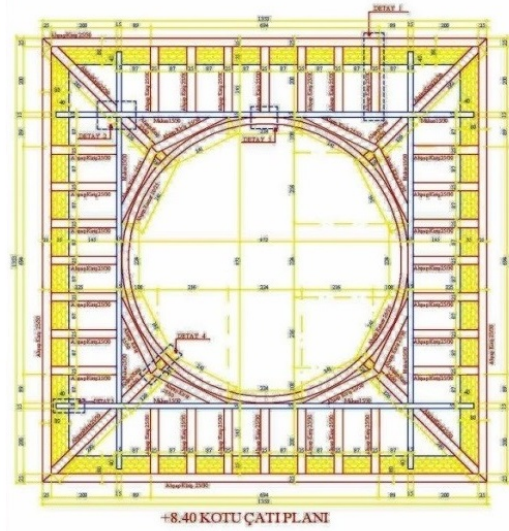
Şekil 2.22: + 4.90 kotu kalıp planı



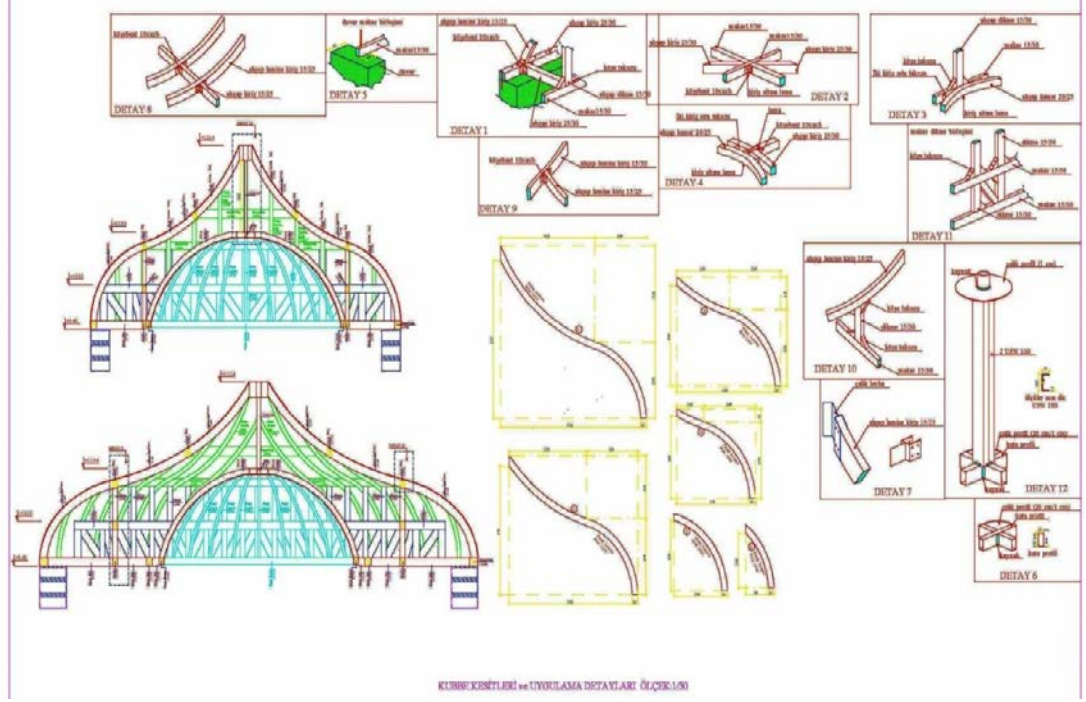
Şekil 2.23: Tavan konstrüksiyon planı



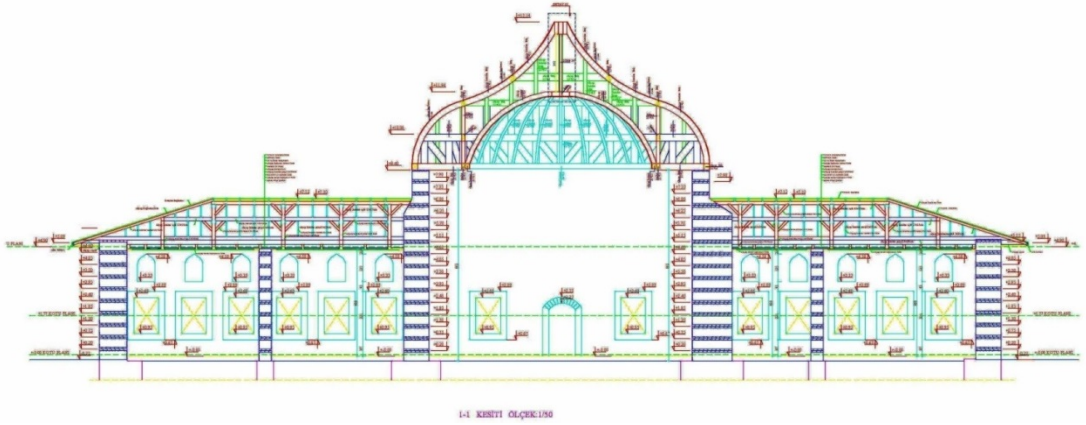
Şekil 2.24: Çatı konstrüksiyon planı (a)



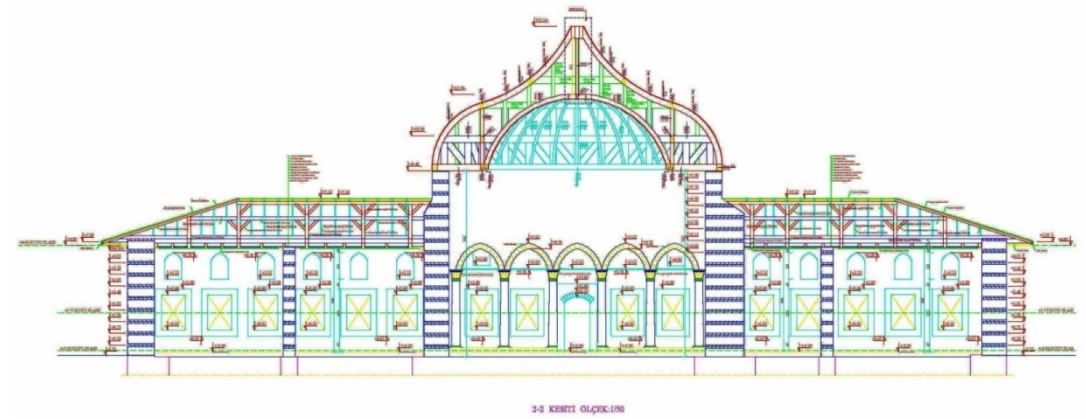
Şekil 2.25: Çatı konstrüksiyon planı (b)



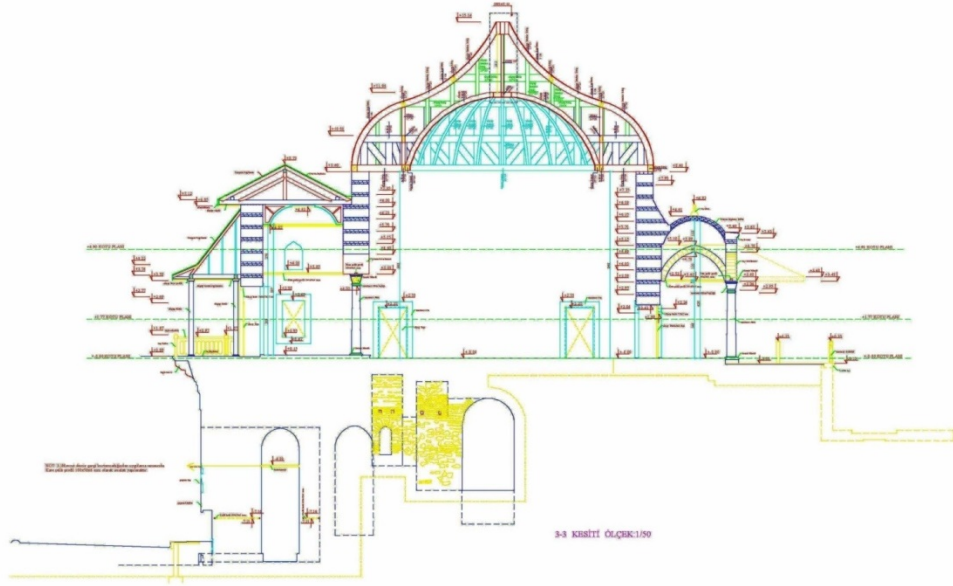
Şekil 2.26: Kubbe kesitleri ve uygulama detayları



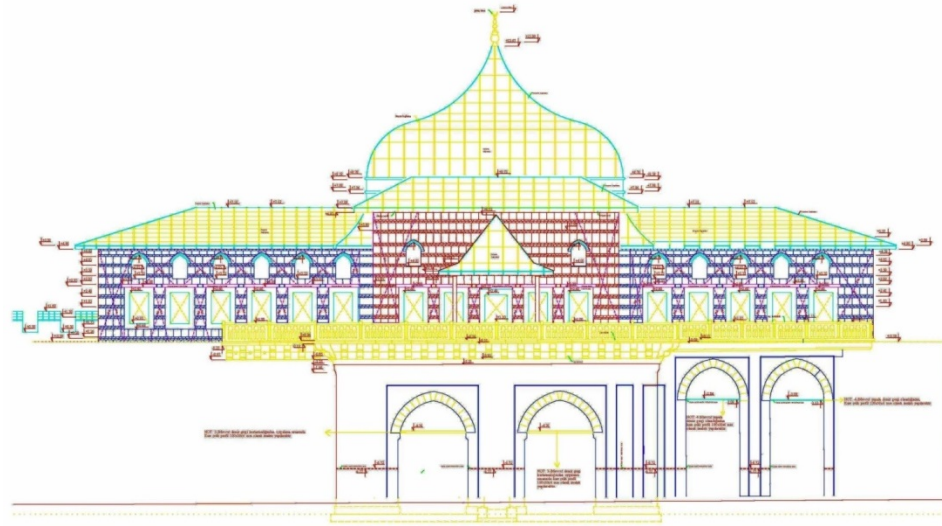
Şekil 2.27: 1-1 kesiti ölçek: 1/50



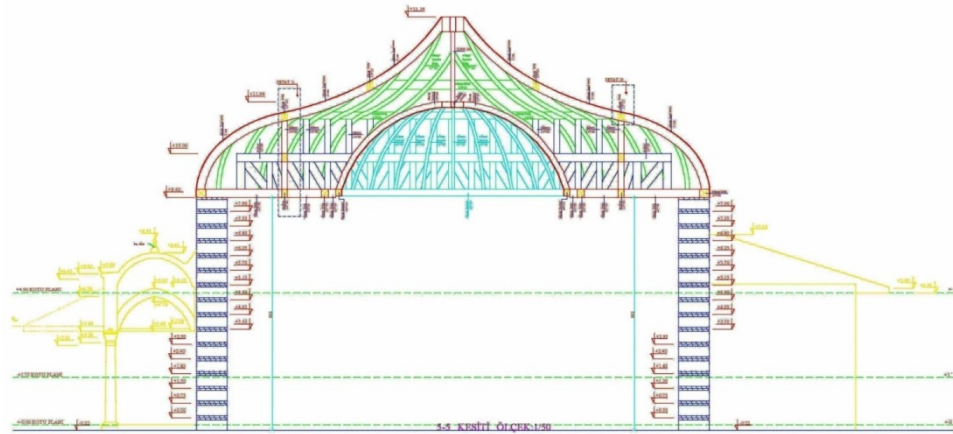
Şekil 2.28: 2-2 kesiti ölçek: 1/50



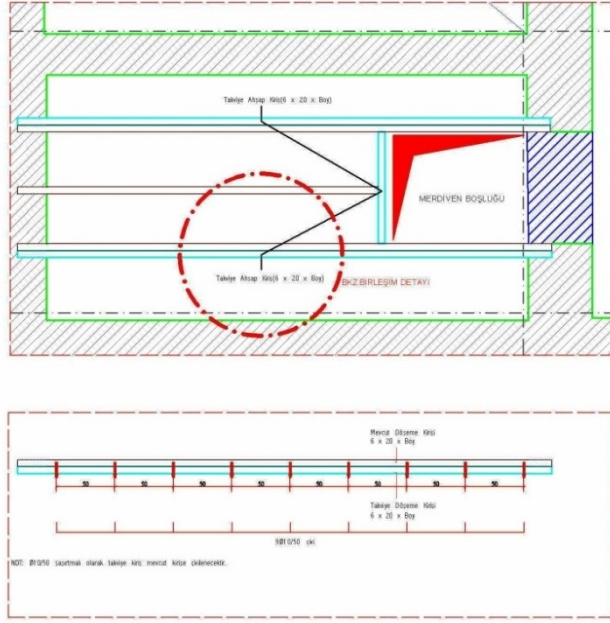
Şekil 2.29: 3-3 kesiti ölçek: 1/50



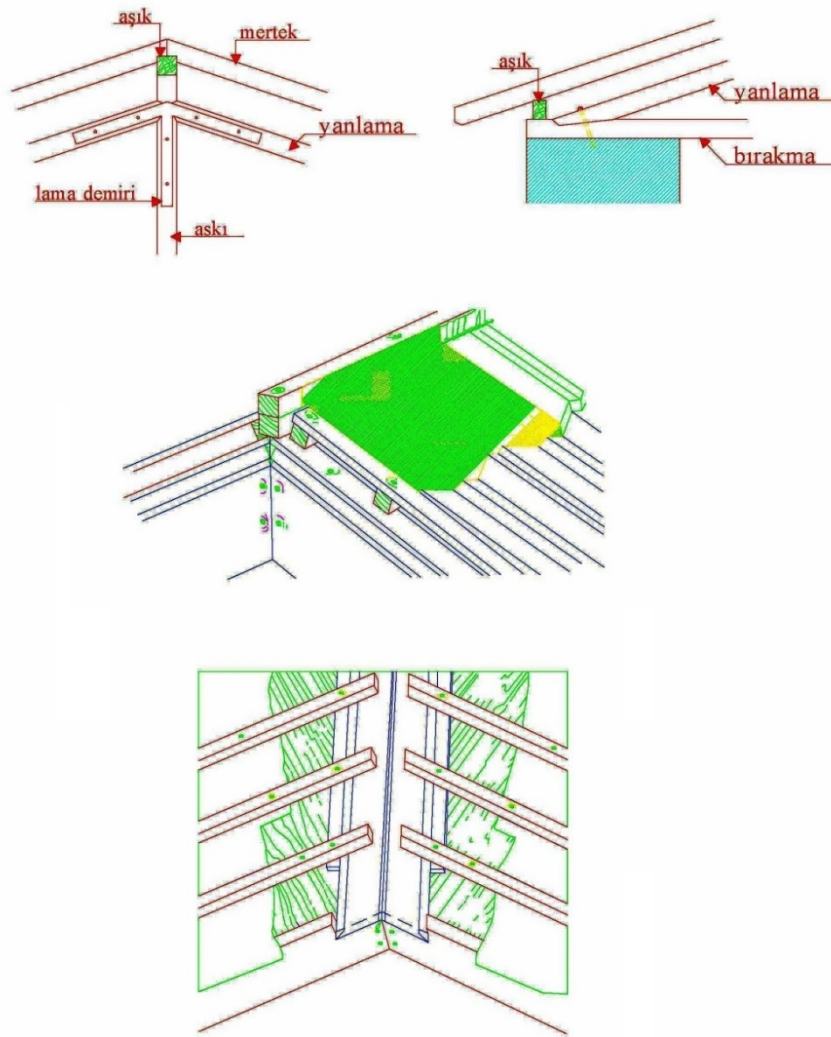
Şekil 2.30: Ön cephe ölçek: 1/50



Şekil 2.31: 5-5 kesiti ölçek: 1/50



Şekil 2.32: Takviye ahşap kiriş ile mevcut kiriş bağlantı detayı öl: 1/20



Şekil 2.33: Ahşap uygulama detayları öl: 1/50

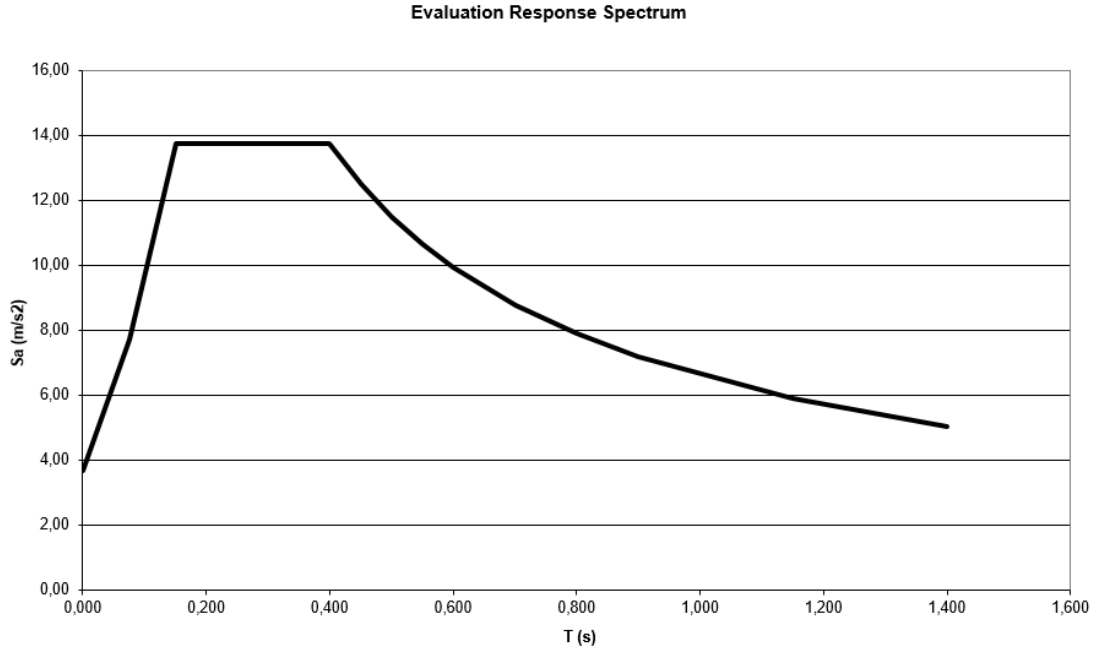
2.8 Deprem Spektrumu

Bölgeye ait spektrum değerleri hem grafik ve hemde nümerik olarak burada verilmiştir.

DEPREM SPEKTRUMU						Z2-Q1-R1-I4		
Elastic					Inelastic	Input SAP2000		
Period	Spectral Coeff.	Spectral Acc.	Spectral Acc.		Spectral Acc.	Freq.	Period	Acc.
(S)		(g)	(m/s ²)		(m/s ²)	(Hz)	(S)	(m/s ²)
T	S(T)	A _o S(T)	A(T)	Ra(T)	A(T)/Ra(T)	F	T	A(T)
0,000	1,00	0,58	5,494	1,50	3,66	100,00	0,000	3,662
0,075	1,75	0,98	9,614	1,25	7,69	13,33	0,075	7,691
0,150	2,50	1,40	13,734	1,00	13,73	6,67	0,150	13,734
0,400	2,50	1,40	13,734	1,00	13,73	2,50	0,400	13,734
0,450	2,28	1,27	12,499	1,00	12,50	2,22	0,450	12,499
0,500	2,09	1,17	11,489	1,00	11,49	2,00	0,500	11,489
0,550	1,94	1,09	10,645	1,00	10,65	1,82	0,550	10,645
0,600	1,81	1,01	9,929	1,00	9,93	1,67	0,600	9,929
0,700	1,60	0,89	8,777	1,00	8,78	1,43	0,700	8,777
0,800	1,44	0,80	7,888	1,00	7,89	1,25	0,800	7,888
0,900	1,31	0,73	7,179	1,00	7,18	1,11	0,900	7,179
1,150	1,07	0,60	5,900	1,00	5,90	0,87	1,150	5,900
1,400	0,92	0,51	5,041	1,00	5,04	0,71	1,400	5,041
1,900	0,72	0,40	3,949	1,00	3,95	0,53	1,900	3,949
2,400	0,60	0,33	3,275	1,00	3,28	0,42	2,400	3,275
2,900	0,51	0,29	2,815	1,00	2,82	0,34	2,900	2,815
3,400	0,45	0,25	2,479	1,00	2,48	0,29	3,400	2,479
10,000	0,19	0,11	1,046	1,00	1,05	0,10	10,000	1,046
				for R=1	R=	1,00		
							R=	1,00
Input blue values from table 6.4, 6.2 & 6.5								
Tablo 6.4	Soil	Z2			Z2	Soil Type (Z)	Zemin Tipi	
Tablo 6.2	A _o =	0,40			1	Earthquake Zone Type	Deprem Bölgesi	
Tablo 6.3	I	1,40			1,40	Importance Factor	Önem Katsayısı	
Tablo 6.4	T _A	0,15						
Tablo 6.4	T _B	0,40						
Tablo 6.5	R=	1,00			1,00	Reduction Factor	Azaltma Katsayısı	
	Gravity=	9,81						
	T							
FORMULAS:								
(6.1)	A(T)= A _o I S(T)=		0,560	S(T)				
(6.2a)	S(T)=1+1.5T/T _A =			(0<T<T _A)				
(6.2b)	S(T)=2.5=			(T _A <T<T _B)				
(6.2c)	S(T)=2.5(T _B /T) ^{0.8} =			(T>T _B)				
(6.3a)	Ra(T)=1.5+(R-1.5)T/T _A =			(0<T<T _A)				
(6.3b)	Ra(T)=R=		1,00	(T>T _A)				
Etkin yer ivmesi katsayısı			Spektrum karakteristik periotları					
deprem bölgesi	A _o		Zemin Sınıfı	T _A (S)	T _B (S)			
1,00	0,40		Z1	0,10	0,30			
2,00	0,30		Z2	0,15	0,40			
3,00	0,20		Z3	0,15	0,60			
4,00	0,10		Z4	0,20	0,90			

Şekil 2.34: Deprem spektrumu

Bu spektrum mevcut tarihi yapı için en gayri müsait durumu irdelemek için kullanılmıştır.



Şekil 2.35: Tepki spektrumunun değerlendirilmesi

Kullanılan parametreler aşağıda gösterilmiştir.

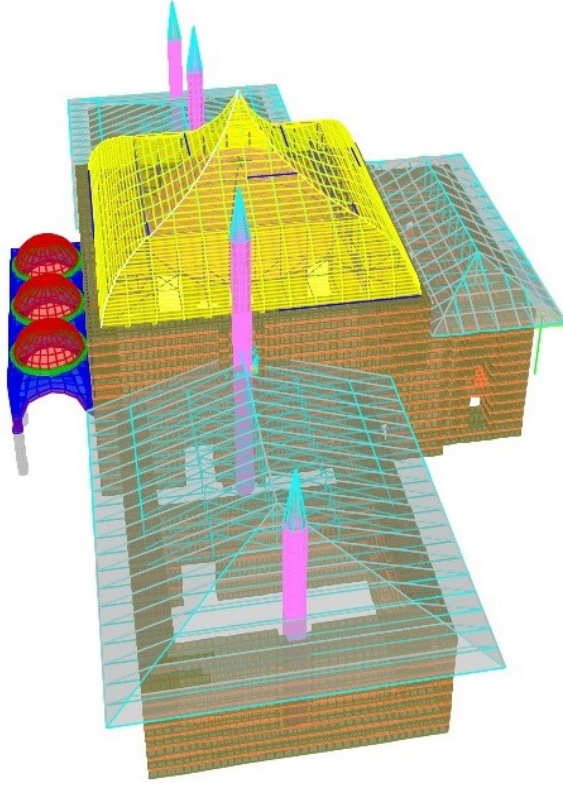
- Yer ivmesi $A = 0.4$ g
- Deprem 1. derece
- Zemin 2. derece
- Önem faktörü $I = 1.4$
- Azaltma katsayısı = 1

Bu değerler programda girildikten sonra bulunan grafik ve diğer parametreler şekil 2.34 ve şekil 2.35’de gösterilmiştir.

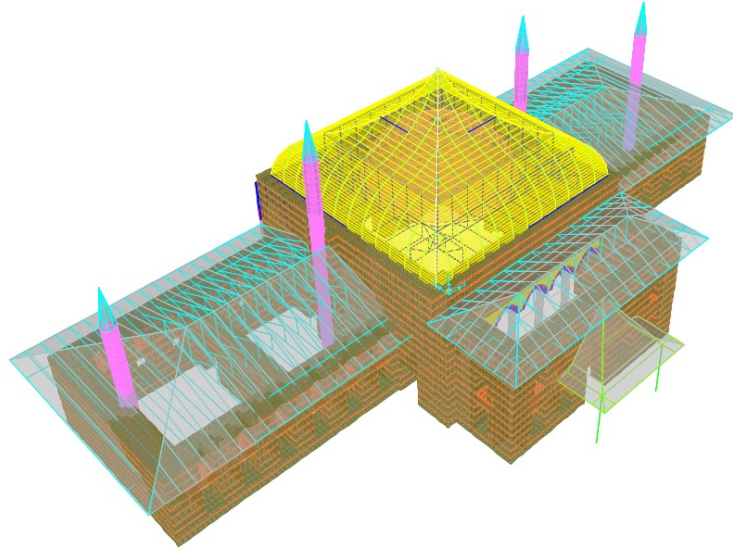
3. SONLU ELEMEN MODELİ

3.1 Üç Boyutlu Model İzometrik Cephe Görünüşleri

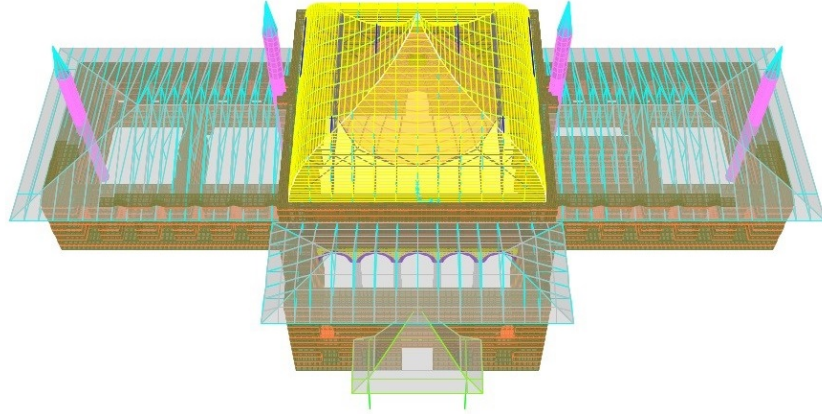
Bu bölümde röleve teknik çizimlerden faydalanılarak hazırlanmış üç boyutlu modelin SAP2000 programına aktarıldıktan sonra üç boyutlu kabuk ve çubuk elemanlardan oluşan modelden elde ettiğimiz cephe görünüşlerine yer vereceğiz. Model üzerindeki renk farklılıkları farklı karakteristik veya özellikteki elemanları temsil etmektedir. Yapıda eskiden 4 adet baca varmış ve bu bacalar genelde depremde düşerlerdi ve bir daha inşa edilirdi. Yapının rijitliği bu bacalara nazaran fazla olduğu için dinamik analizlerde sorunlar meydana gelmektedir. Dolayısı ile çözüm sırasında ya bacalar kaldırılır ve ayrı modelde analiz edilir veya kütlelerini sıfır vererek bütün sistem birlikte analiz edilir. Bu şekilde bir sorun teşkil etmemektedir.



Şekil 3.1: Yapının altyapısız 3D gösterimi (1)

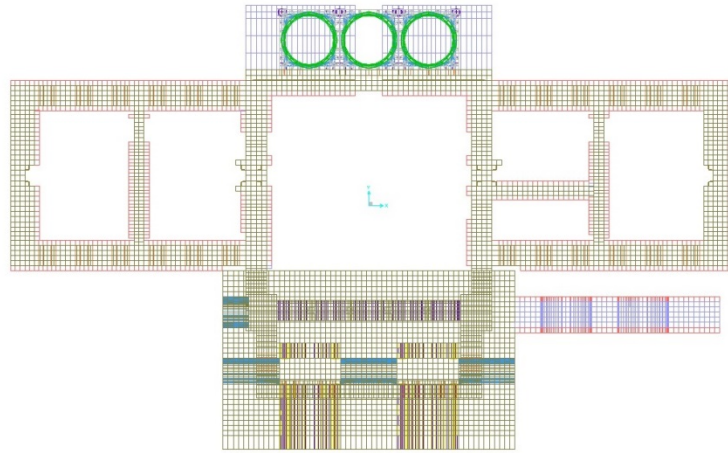


Şekil 3.2: Yapının altyapısız 3D gösterimi (2)

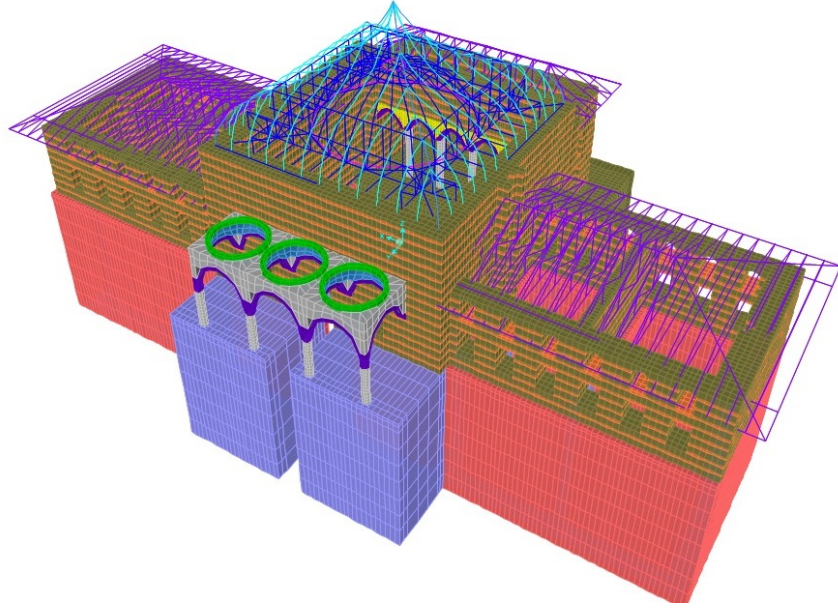


Şekil 3.3: Yapının altyapısız 3D gösterimi (3)

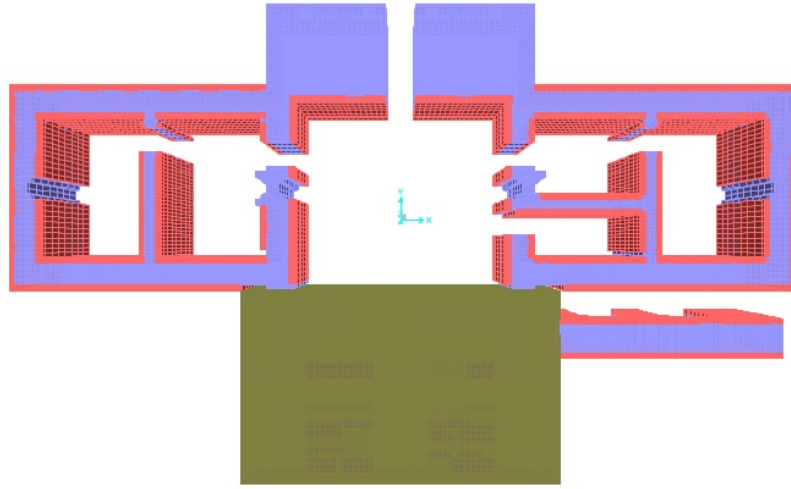
Buradan sonra altyapı ile yani cadde seviyesine kadar olan model gösterilecektir.



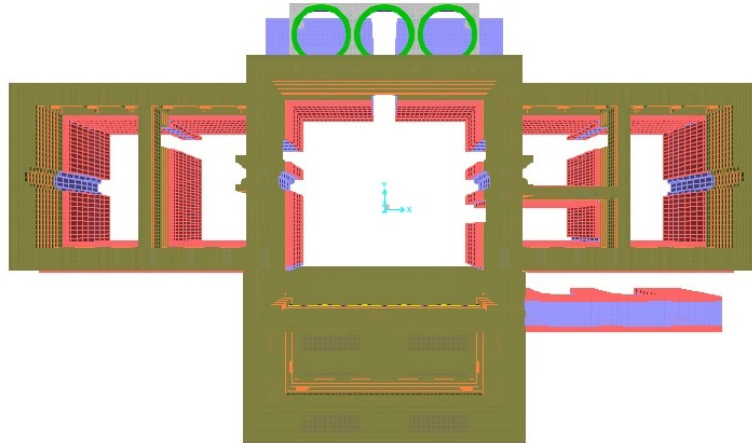
Şekil 3.4: Yapının altyapı ile gösterimi



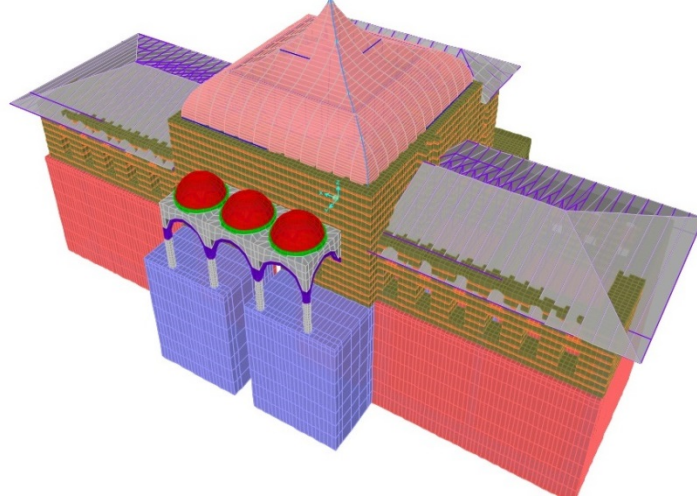
Şekil 3.5: Yapının altyapı ile 3D gösterimi (1)



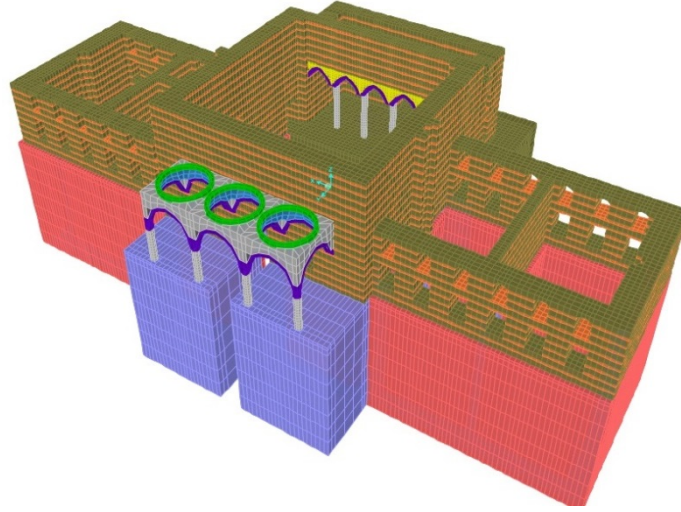
Şekil 3.6: Yapının altyapı ile 3D gösterimi (2)



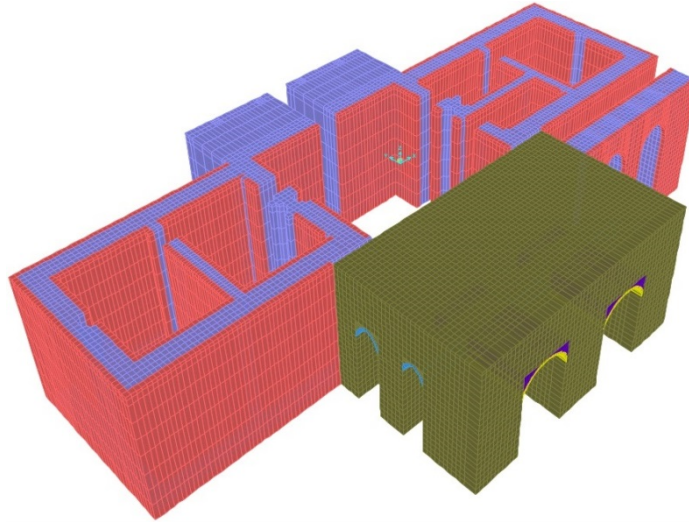
Şekil 3.7: Yapının altyapı ile 3D gösterimi (3)



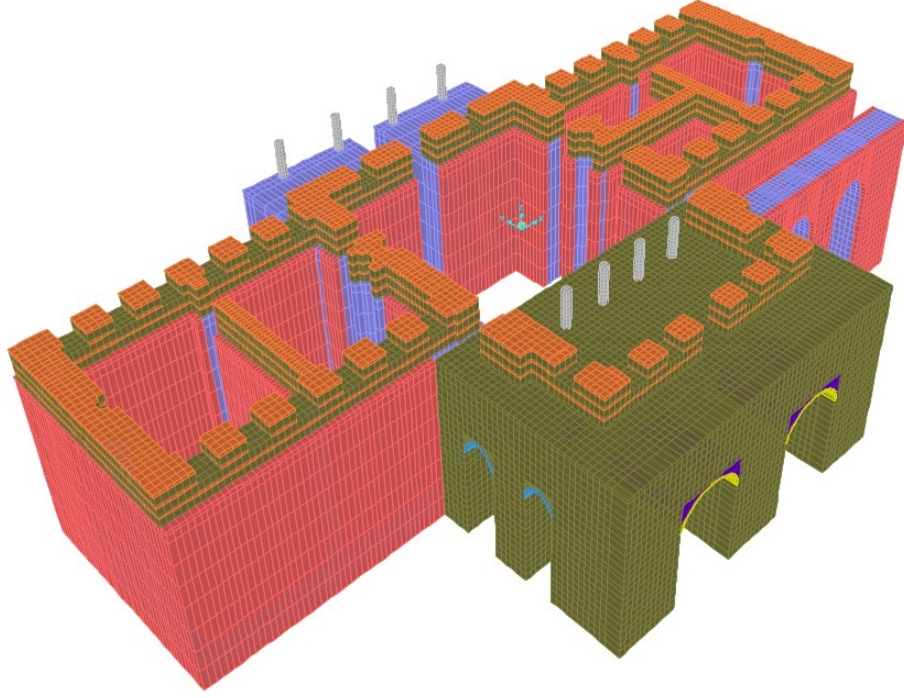
Şekil 3.8: Yapının altyapı ile 3D gösterimi (4)



Şekil 3.9: Yapının altyapı ile 3D gösterimi (5)



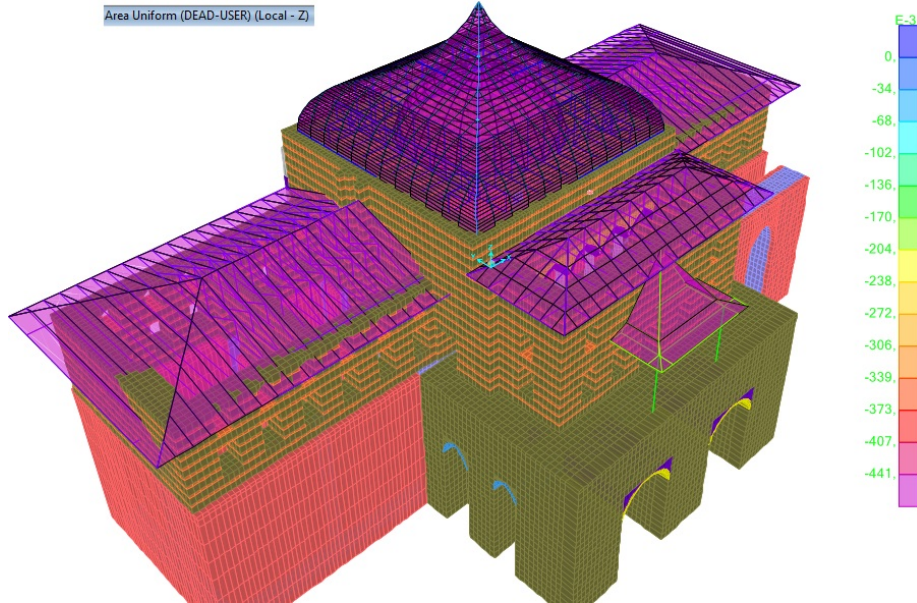
Şekil 3.10: Yapının altyapı ile 3D gösterimi (6)



Şekil 3.11: Yapının altyapı ile 3D gösterimi (7)

3.2 Statik Model İçin Yüklemeler

Genelde yapıda çatılar üzerinde kar yükü ile birlikte kaplama ve kendi ağırlığı verilir. Burada çatı ağırlığı 100 kg/m^2 dir.



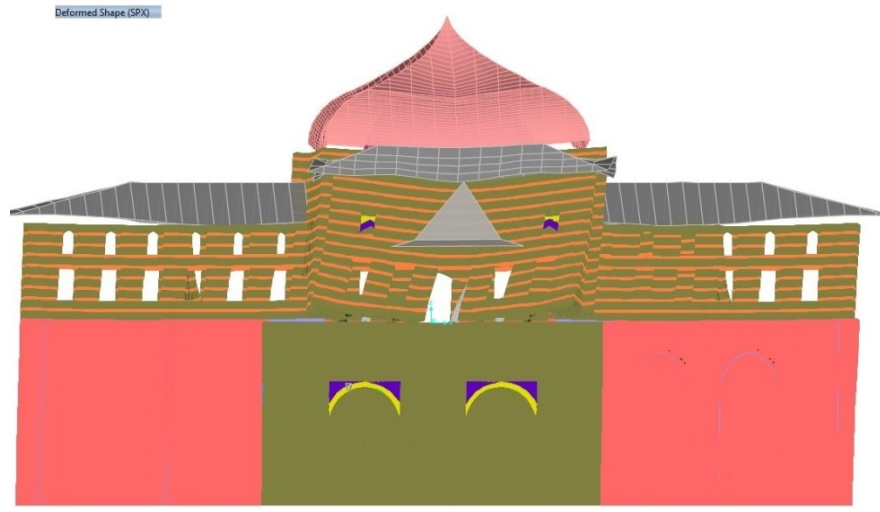
Şekil 3.12: Çatı analizi

Yapıda çok fazla kalın duvar elemanları olduğu için bu yükler kendi ağırlığına göre çok düşük sayılır. Onun için diğer yükler gösterilmemiştir.

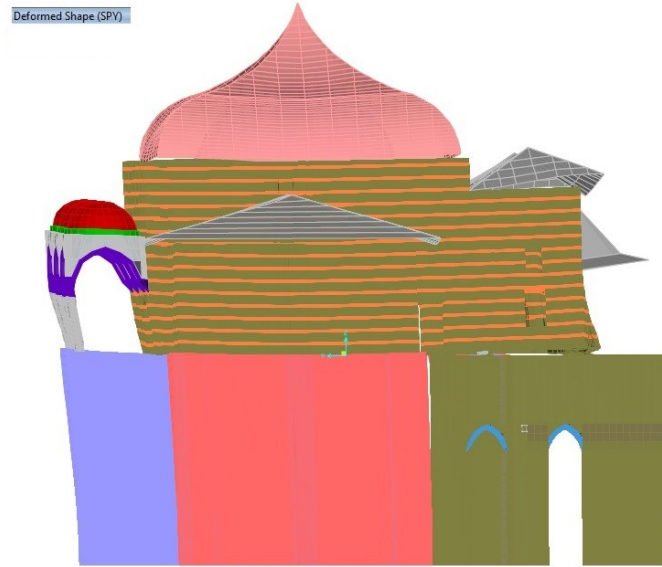
4. DEFORMASYON

4.1 Genel

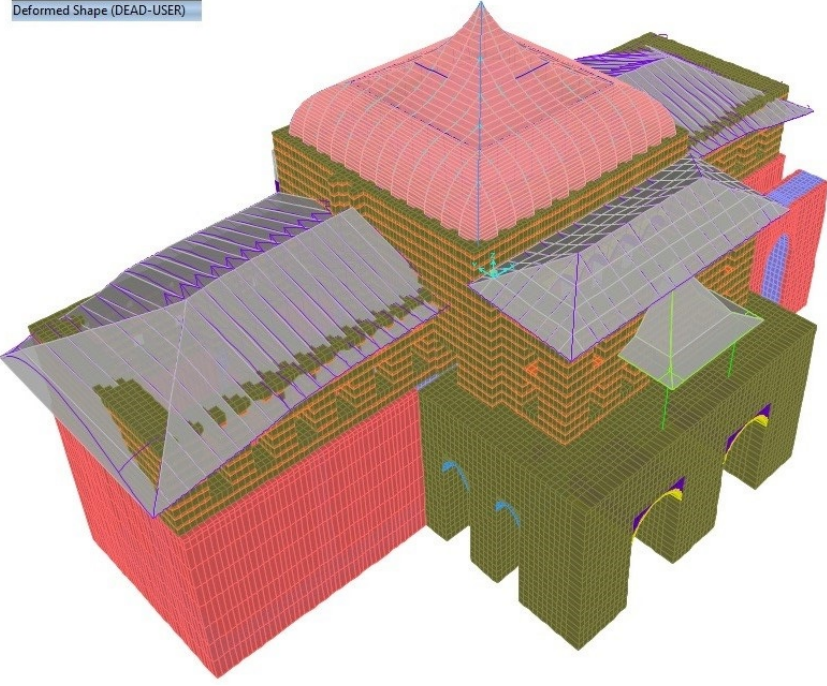
Zati, Kaplama, Kar, Hareketli yükler çok az olduğu için sadece çatıyı etkiler. Yapının kendi ağırlığı ve deprem yüklerinin meydana getirdiği deformasyon şekilleri burada verilmiştir.



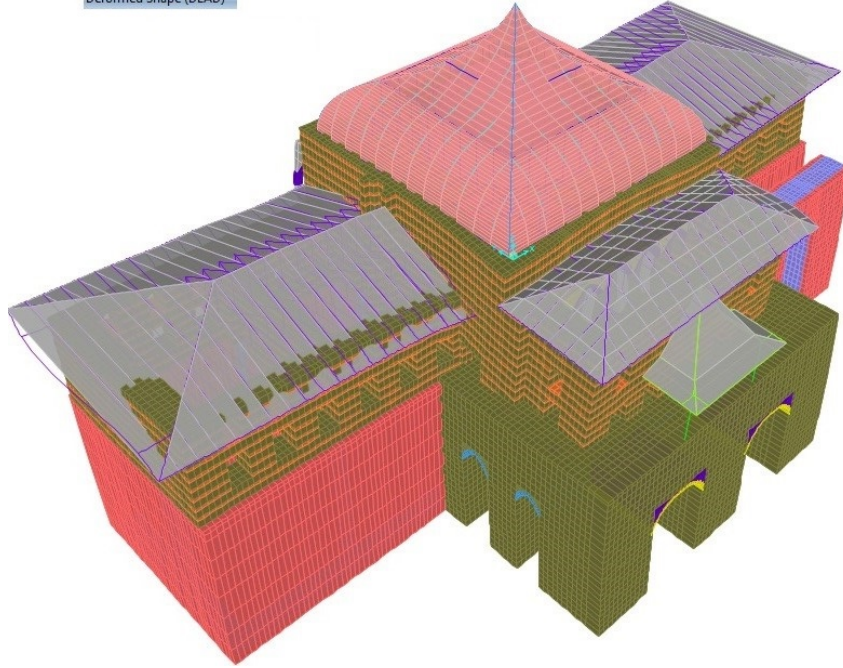
Şekil 4.1: Yapının uzunlamasına deprem yükü (Spektrum X)



Şekil 4.2: Yapının enine deprem yükü (Spektrum Y)



Deformed Shape (DEAD)



Şekil 4.3: Zati ağırlığı altındaki deformasyon şekilleri

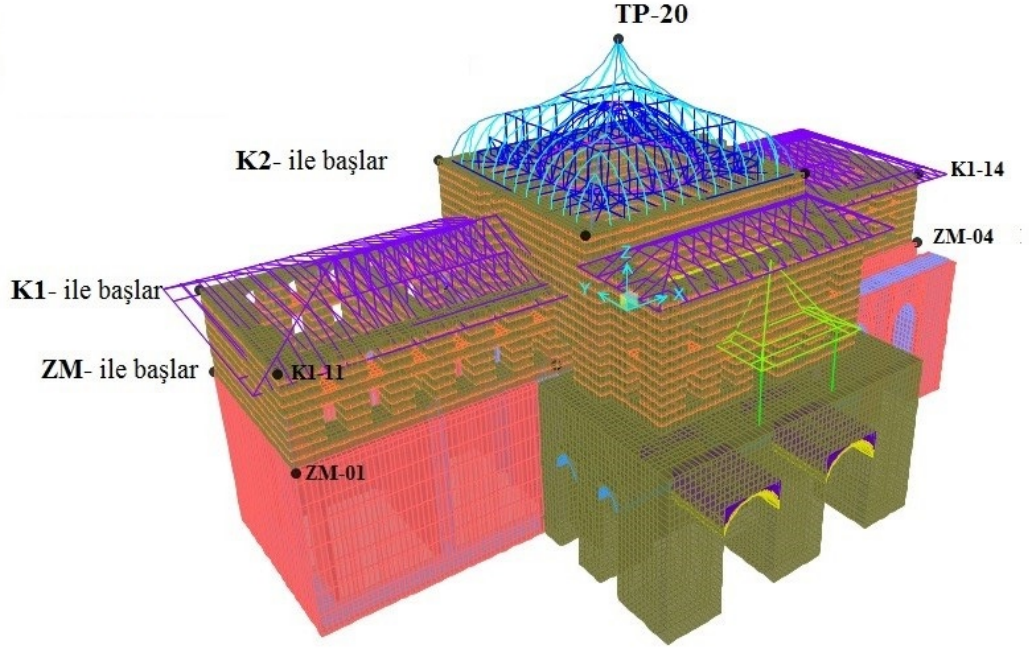
4.2 Deformasyon Değerleri

Burada deformasyonların genel değerleri kombinasyonlar için verilmiştir. Bütün değerler milimetre cinsindedir ve şekil 4.4’de verilmiştir. Burada bir çatının en tepesindeki deformasyonu ve duvarların tepesindeki yatay deformasyonlar sayısal olarak verilmiştir. Bunu göstermek için istenilen yerlerde anlaşılabilir

düğüm numaraları verilmiş olup bu durum daha kolay takip edilmesini sağlamaktadır.

Joint	OutputCase	CaseType	U1	U2	U3
Text	Text	Text	cm	cm	cm
ZM-01	G+Q	Combination	0,00	-0,01	-0,12
ZM-01	G+Q+EX	Combination	1,79	0,16	0,66
ZM-01	G+Q+EY	Combination	0,10	1,94	0,63
ZM-02	G+Q	Combination	0,05	-0,05	-0,28
ZM-02	G+Q+EX	Combination	2,20	-0,60	-0,57
ZM-02	G+Q+EY	Combination	-0,33	5,45	1,12
ZM-03	G+Q	Combination	-0,07	-0,02	-0,30
ZM-03	G+Q+EX	Combination	2,03	0,84	0,06
ZM-03	G+Q+EY	Combination	-0,28	7,98	0,81
ZM-04	G+Q	Combination	-0,01	-0,01	-0,11
ZM-04	G+Q+EX	Combination	1,68	-0,19	-0,85
ZM-04	G+Q+EY	Combination	-0,34	1,92	0,73
ZM-05	G+Q	Combination	-0,02	0,00	-0,13
ZM-05	G+Q+EX	Combination	1,32	-0,09	0,46
ZM-05	G+Q+EY	Combination	-0,73	1,92	-1,04
ZM-06	G+Q	Combination	0,00	-0,08	-0,15
ZM-06	G+Q+EX	Combination	1,67	-0,40	0,23
ZM-06	G+Q+EY	Combination	-0,18	4,42	-0,78
ZM-07	G+Q	Combination	0,00	-0,08	-0,15
ZM-07	G+Q+EX	Combination	1,67	0,23	-0,51
ZM-07	G+Q+EY	Combination	0,27	5,67	-0,82
ZM-08	G+Q	Combination	0,02	0,00	-0,12
ZM-08	G+Q+EX	Combination	1,32	0,14	-0,70
ZM-08	G+Q+EY	Combination	0,90	1,88	-1,10
TP-20	G+Q	Combination	-0,01	-0,39	-0,48
TP-20	G+Q+EX	Combination	5,36	-0,33	-0,38
TP-20	G+Q+EY	Combination	0,00	9,45	-0,14
K1-11	G+Q	Combination	0,04	0,00	-0,15
K1-11	G+Q+EX	Combination	3,38	0,33	0,75
K1-11	G+Q+EY	Combination	0,01	2,82	0,52
K1-14	G+Q	Combination	-0,06	0,00	-0,14
K1-14	G+Q+EX	Combination	3,14	-0,31	-0,94
K1-14	G+Q+EY	Combination	-0,39	2,88	0,64
K1-15	G+Q	Combination	-0,01	-0,01	-0,15
K1-15	G+Q+EX	Combination	2,47	-0,17	0,53
K1-15	G+Q+EY	Combination	-0,91	2,77	-0,97
K1-18	G+Q	Combination	0,00	-0,01	-0,15
K1-18	G+Q+EX	Combination	2,42	0,18	-0,78
K1-18	G+Q+EY	Combination	1,17	2,82	-1,03
K1-19	G+Q	Combination	-0,01	-0,14	-0,23
K1-19	G+Q+EX	Combination	2,89	-0,07	-0,22
K1-19	G+Q+EY	Combination	-0,36	9,17	-1,34
K2-12	G+Q	Combination	-0,04	-0,29	-0,58
K2-12	G+Q+EX	Combination	7,38	-0,28	0,02
K2-12	G+Q+EY	Combination	0,26	7,49	0,88
K2-13	G+Q	Combination	0,03	-0,29	-0,60
K2-13	G+Q+EX	Combination	7,45	-0,26	-1,14
K2-13	G+Q+EY	Combination	0,03	9,42	-0,07
K2-16	G+Q	Combination	0,01	-0,20	-0,19
K2-16	G+Q+EX	Combination	3,22	-1,19	0,21
K2-16	G+Q+EY	Combination	-0,56	7,38	-0,58
K2-17	G+Q	Combination	-0,01	-0,21	-0,20
K2-17	G+Q+EX	Combination	3,21	0,95	-0,58
K2-17	G+Q+EY	Combination	0,28	9,67	-0,17

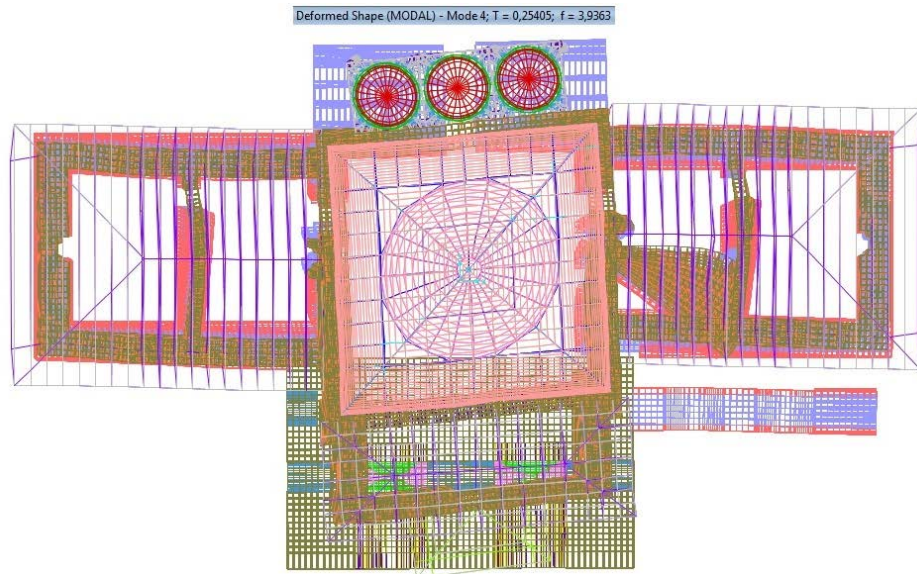
Şekil 4.4: Düğüm deplasmanları



Şekil 4.5: Modelde değeri gösterilen düğüm nokta numaraları

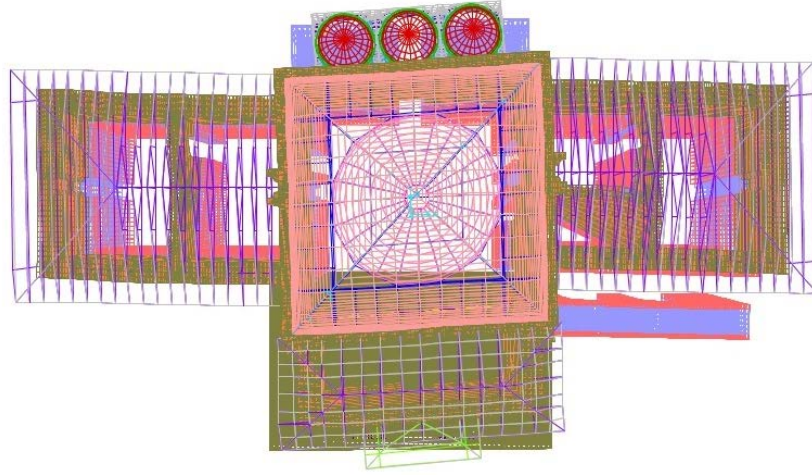
4.3 Modal Analiz

Burada modal analizden meydana gelen deformasyonların değişik cephelerden görünüşleri verilmiştir. Yapı çok ağır olduğundan ilk modlar hafif çatıda meydana gelmektedir. Fakat sonraki modlar yapının kendi mod şekilleri ile verilmektedir. Bu durumda ister birincilerde ister sonrakilerde olsun modların kütle iştirak faktörleri değişmez.



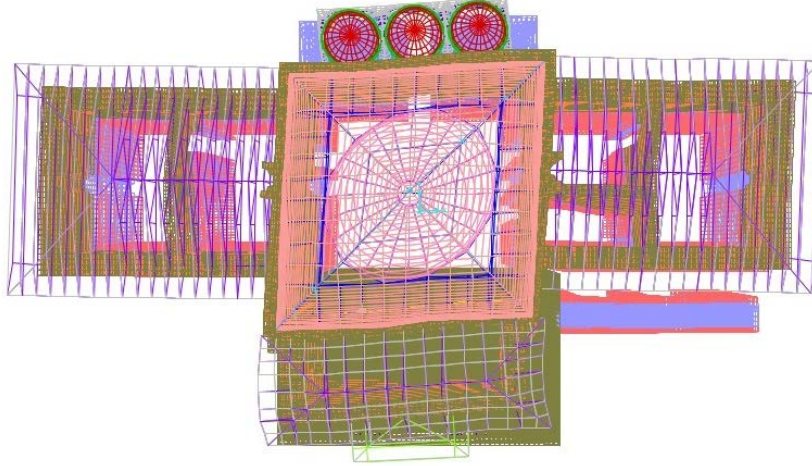
Şekil 4.6: Deforme şekil, mode 4 (a)

Deformed Shape (MODAL) - Mode 4; T = 0,25405; f = 3,9363



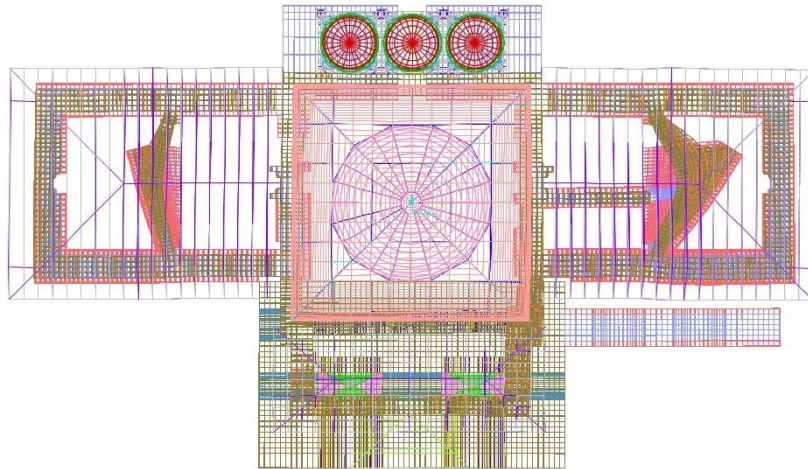
Şekil 4.7: Deforme şekil, mode 4 (b)

Deformed Shape (MODAL) - Mode 5; T = 0,23977; f = 4,17072

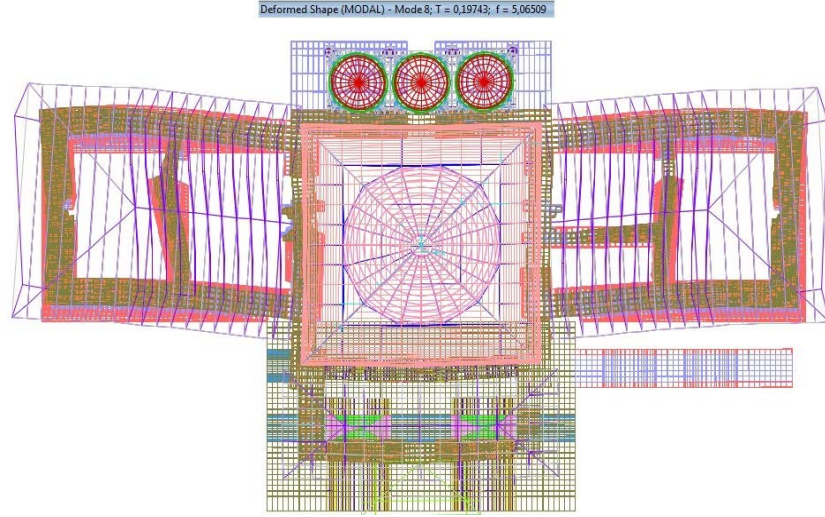


Şekil 4.8: Deforme şekil, mode 5

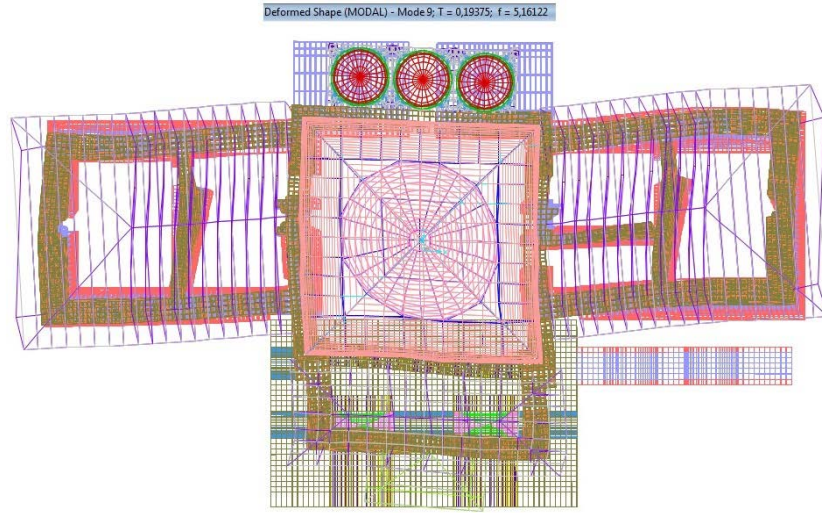
Deformed Shape (MODAL) - Mode 6; T = 0,21963; f = 4,53307



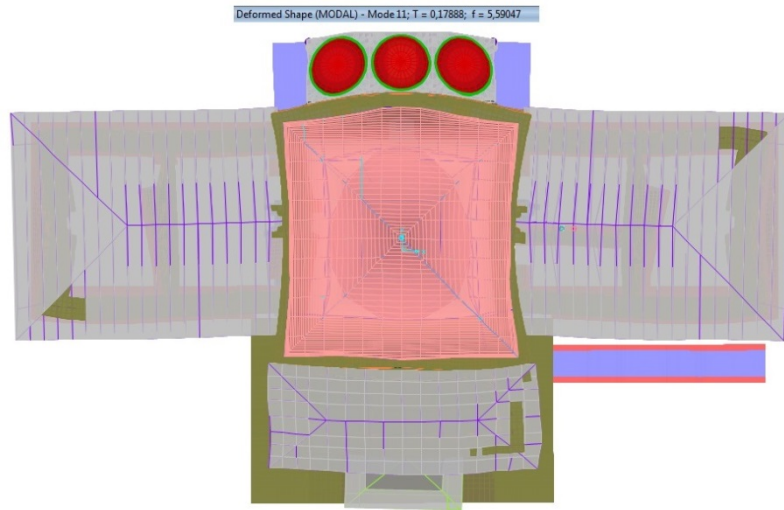
Şekil 4.9: Deforme şekil, mode 6



Şekil 4.10: Deforme şekil, mode 8



Şekil 4.11: Deforme şekil, mode 9



Şekil 4.12: Deforme şekil, mode 11

4.4 Modal Analiz Değerleri

Burada modal analizden meydana gelen değişik parametrelerin bütün değerleri verilmiştir. Bütün değerler aşağıda verilmiştir.

Modal Participating Mass Ratios							
Mode	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ
No:	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
1	0,326	0,001	0,303	0,001	0,001	0,303	0,001
2	0,296	0,000	0,012	0,000	0,001	0,315	0,001
3	0,270	0,008	0,056	0,000	0,010	0,371	0,001
4	0,254	0,095	0,009	0,000	0,105	0,380	0,001
5	0,240	0,158	0,005	0,000	0,263	0,385	0,001
6	0,220	0,000	0,004	0,000	0,263	0,389	0,001
7	0,217	0,007	0,002	0,000	0,270	0,391	0,001
8	0,197	0,000	0,083	0,000	0,270	0,474	0,001
9	0,194	0,024	0,004	0,000	0,294	0,478	0,001
10	0,185	0,085	0,000	0,000	0,379	0,479	0,002
11	0,179	0,001	0,000	0,001	0,381	0,479	0,003
12	0,160	0,027	0,000	0,001	0,407	0,479	0,004
13	0,155	0,001	0,000	0,000	0,409	0,479	0,004
14	0,150	0,007	0,000	0,004	0,415	0,479	0,008
15	0,149	0,001	0,000	0,042	0,416	0,479	0,049
16	0,145	0,011	0,020	0,002	0,427	0,500	0,051
17	0,142	0,044	0,052	0,008	0,472	0,552	0,058
18	0,141	0,033	0,063	0,001	0,505	0,615	0,059
19	0,139	0,000	0,078	0,002	0,505	0,693	0,061
20	0,136	0,007	0,008	0,000	0,512	0,701	0,061
21	0,134	0,000	0,003	0,002	0,512	0,704	0,063
22	0,133	0,001	0,004	0,002	0,513	0,708	0,065
23	0,131	0,027	0,000	0,000	0,540	0,709	0,066
24	0,128	0,000	0,002	0,012	0,540	0,710	0,077
25	0,126	0,007	0,003	0,000	0,548	0,713	0,077

Şekil 4.13: Modal katılan kütle oranları

Modal Participation Factors							
Mode	Period	UX	UY	UZ	RX	RY	RZ
No:	Sec	KN-cm	KN-cm	KN-cm	KN-cm	KN-cm	KN-cm
1	0,326	-0,010	-0,165	-0,007	78,678	-5,105	-52,409
2	0,296	-0,005	-0,033	0,000	-1,336	-1,744	-65,340
3	0,270	-0,027	0,071	0,006	-46,426	-12,662	-95,407
4	0,254	-0,093	0,029	0,002	-9,489	-47,647	-109,641
5	0,240	0,119	0,020	0,002	-9,847	73,734	-60,640
6	0,220	-0,005	0,020	-0,001	-6,867	6,635	16,555
7	0,217	-0,025	-0,014	0,000	3,674	11,550	69,964
8	0,197	-0,005	-0,086	0,006	11,082	-1,343	23,154
9	0,194	0,047	-0,020	0,001	5,409	15,915	-168,577
10	0,185	0,087	0,006	0,005	-6,278	34,542	12,162
11	0,179	0,011	0,005	0,010	-6,401	3,683	-9,934
12	0,160	0,049	-0,003	-0,010	12,242	49,001	-94,600
13	0,155	0,011	0,001	0,000	2,541	6,822	-12,474
14	0,150	-0,025	0,001	-0,018	17,433	-2,551	0,545
15	0,149	-0,009	-0,003	-0,061	59,256	-7,470	0,398
16	0,145	0,032	-0,043	0,012	-2,274	4,670	1,023
17	0,142	0,063	0,069	-0,026	7,745	-7,712	36,513
18	0,141	0,054	-0,075	0,008	3,686	-12,035	69,062
19	0,139	-0,002	0,084	0,012	12,888	2,910	-17,901
20	0,136	0,025	0,027	0,000	3,377	-16,610	96,170
21	0,134	-0,004	0,017	0,015	-5,749	-4,121	-6,572
22	0,133	0,011	0,020	0,014	-5,571	3,665	50,921
23	0,131	0,049	-0,002	-0,004	0,401	10,477	-16,075
24	0,128	0,001	-0,012	-0,032	28,352	-2,576	11,960
25	0,126	-0,026	-0,017	-0,004	-9,729	3,694	11,874

Şekil 4.14: Modal katılım faktörleri

Modal Periods And Frequencies				
Mode	Period	Frequency	CircFreq	Eigenvalue
No:	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad2/sec2
1	0,326	3,071	19,30	372,38
2	0,296	3,382	21,25	451,62
3	0,270	3,701	23,25	540,63
4	0,254	3,936	24,73	611,70
5	0,240	4,171	26,21	686,72
6	0,220	4,553	28,61	818,40
7	0,217	4,612	28,98	839,58
8	0,197	5,065	31,82	1012,83
9	0,194	5,161	32,43	1051,63
10	0,185	5,413	34,01	1156,72
11	0,179	5,590	35,13	1233,83
12	0,160	6,243	39,23	1538,73
13	0,155	6,451	40,53	1642,98
14	0,150	6,676	41,95	1759,59
15	0,149	6,694	42,06	1769,04
16	0,145	6,898	43,34	1878,73
17	0,142	7,048	44,29	1961,17
18	0,141	7,080	44,48	1978,76
19	0,139	7,190	45,18	2041,14
20	0,136	7,348	46,17	2131,32
21	0,134	7,443	46,76	2186,89
22	0,133	7,531	47,32	2239,30
23	0,131	7,611	47,82	2286,86
24	0,128	7,785	48,92	2392,78
25	0,126	7,959	50,01	2500,76

Şekil 4.15: Modal periyotlar ve frekanslar

Response Spectrum Modal Information								
Spectrum	Mode	Period	DampRatio	U1Acc	U2Acc	U3Acc	U1Amp	U2Amp
Direction	No:	Sec	Unitless	cm/sec2	cm/sec2	cm/sec2	cm	cm
SPX	1	0,326	0,05	1471,5	0	0	-39,55	0
SPX	2	0,296	0,05	1471,5	0	0	-16,65	0
SPX	3	0,270	0,05	1471,5	0	0	-73,68	0
SPX	4	0,254	0,05	1471,5	0	0	-222,64	0
SPX	5	0,240	0,05	1471,5	0	0	255,16	0
SPX	6	0,220	0,05	1471,5	0	0	-9,50	0
SPX	7	0,217	0,05	1471,5	0	0	-42,97	0
SPX	8	0,197	0,05	1471,5	0	0	-7,29	0
SPX	9	0,194	0,05	1471,5	0	0	65,50	0
SPX	10	0,185	0,05	1471,5	0	0	111,10	0
SPX	11	0,179	0,05	1471,5	0	0	13,41	0
SPX	12	0,160	0,05	1471,5	0	0	46,80	0
SPX	13	0,155	0,05	1471,5	0	0	9,48	0
SPX	14	0,150	0,05	1469,5	0	0	-20,58	0
SPX	15	0,149	0,05	1465,8	0	0	-7,65	0
SPX	16	0,145	0,05	1424,9	0	0	23,97	0
SPX	17	0,142	0,05	1396,4	0	0	45,02	0
SPX	18	0,141	0,05	1390,6	0	0	38,17	0
SPX	19	0,139	0,05	1370,4	0	0	-1,58	0
SPX	20	0,136	0,05	1342,9	0	0	15,73	0
SPX	21	0,134	0,05	1326,8	0	0	-2,21	0
SPX	22	0,133	0,05	1312,2	0	0	6,44	0
SPX	23	0,131	0,05	1299,4	0	0	28,12	0
SPX	24	0,128	0,05	1272,2	0	0	0,67	0
SPX	25	0,126	0,05	1246,2	0	0	-12,93	0

Şekil 4.16: Tepki spektrumu mod bilgileri (a)

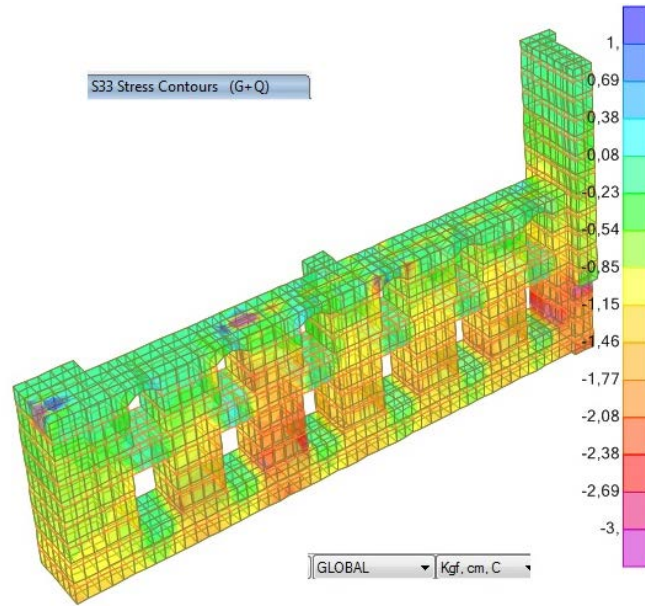
Response Spectrum Modal Information								
Spectrum	Mode	Period	DampRatio	U1Acc	U2Acc	U3Acc	U1Amp	U2Amp
Direction	No:	Sec	Unitless	cm/sec2	cm/sec2	cm/sec2	cm	cm
SPY	1	0,326	0,05	0	1471,5	0	0	-651,91
SPY	2	0,296	0,05	0	1471,5	0	0	-106,05
SPY	3	0,270	0,05	0	1471,5	0	0	193,55
SPY	4	0,254	0,05	0	1471,5	0	0	69,17
SPY	5	0,240	0,05	0	1471,5	0	0	43,39
SPY	6	0,220	0,05	0	1471,5	0	0	35,95
SPY	7	0,217	0,05	0	1471,5	0	0	-24,15
SPY	8	0,197	0,05	0	1471,5	0	0	-125,31
SPY	9	0,194	0,05	0	1471,5	0	0	-27,38
SPY	10	0,185	0,05	0	1471,5	0	0	7,56
SPY	11	0,179	0,05	0	1471,5	0	0	6,55
SPY	12	0,160	0,05	0	1471,5	0	0	-3,05
SPY	13	0,155	0,05	0	1471,5	0	0	0,63
SPY	14	0,150	0,05	0	1469,5	0	0	0,74
SPY	15	0,149	0,05	0	1465,8	0	0	-2,88
SPY	16	0,145	0,05	0	1424,9	0	0	-32,33
SPY	17	0,142	0,05	0	1396,4	0	0	48,85
SPY	18	0,141	0,05	0	1390,6	0	0	-52,79
SPY	19	0,139	0,05	0	1370,4	0	0	56,23
SPY	20	0,136	0,05	0	1342,9	0	0	17,01
SPY	21	0,134	0,05	0	1326,8	0	0	10,29
SPY	22	0,133	0,05	0	1312,2	0	0	11,63
SPY	23	0,131	0,05	0	1299,4	0	0	-1,41
SPY	24	0,128	0,05	0	1272,2	0	0	-6,40
SPY	25	0,126	0,05	0	1246,2	0	0	-8,63

Şekil 4.17: Tepki spektrumu mod bilgileri (b)

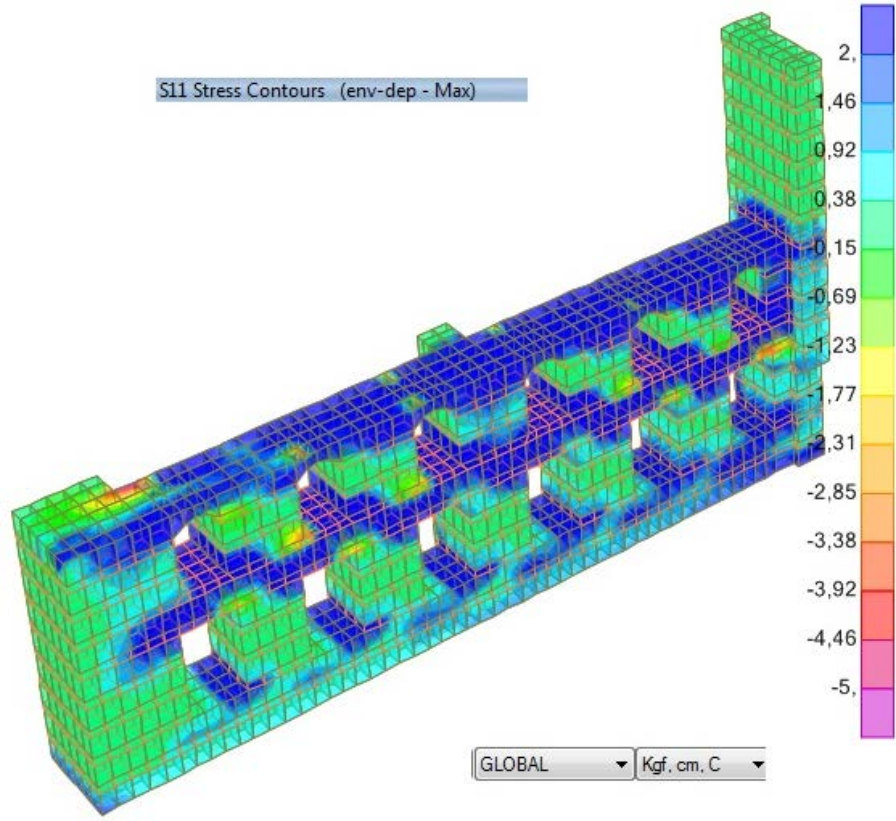
5. ELEMAN İÇ KUVVETLERİ

5.1 Yığma Duvar İç Kuvvetleri

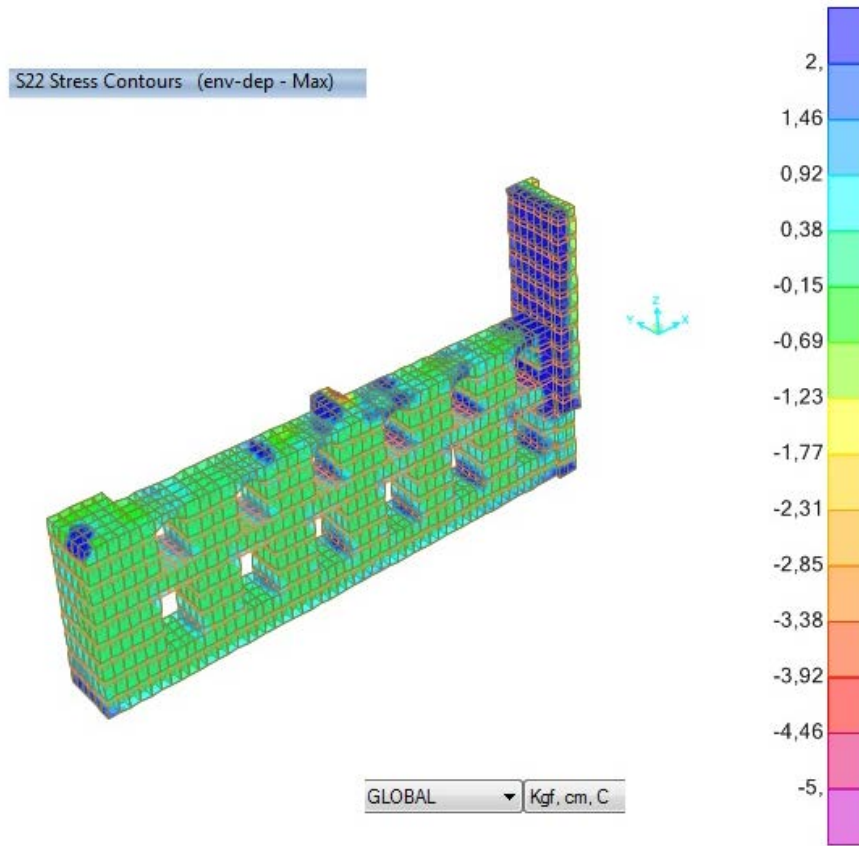
Duvarlar solid (veya dolgu) eleman olarak modellenmiş ve iç kuvvetleri yatay ve düşey doğrultularda burada grafik olarak gösterilmiştir. Genelde zati ve hareketli yükler altında duvarlarda düşey gerilmelere bakılır ve gerilmeler çoğu zaman yığma elemanın kapasitesinin çok altındadır. Depremlili durumlarda genellikle bu basınçlar % 30 ile % 50 arasında artar, fakat diğer tarafta aynı miktarda düşey yönde çekme meydana gelmektedir. Bu çekme eğer $1-2 \text{ kg/cm}^2$ 'den fazla ise hafifçe ayrılma veya kalkma meydana gelip deprem ileri geri hareketlerine bağlı olarak eski konumuna geri gelmektedir. İnce ve uzun yapılarda bu çekme belli bir miktardan fazla olursa devrilme meydana gelmektedir ki bu durumu bu tür yapılarda irdelemek gerekir. Maksimum basıncı görmek için en büyük negatif değerlere (yani min. kontur) ve maksimum çekmeyi görmek için en büyük pozitif değerlere (max. kontur) bakmak gerekir. Yapıda her duvara ait gerilme konturları gösterilmiştir. Duvarların pozisyonlarını gösteren resimler aşağıda verilmiştir.



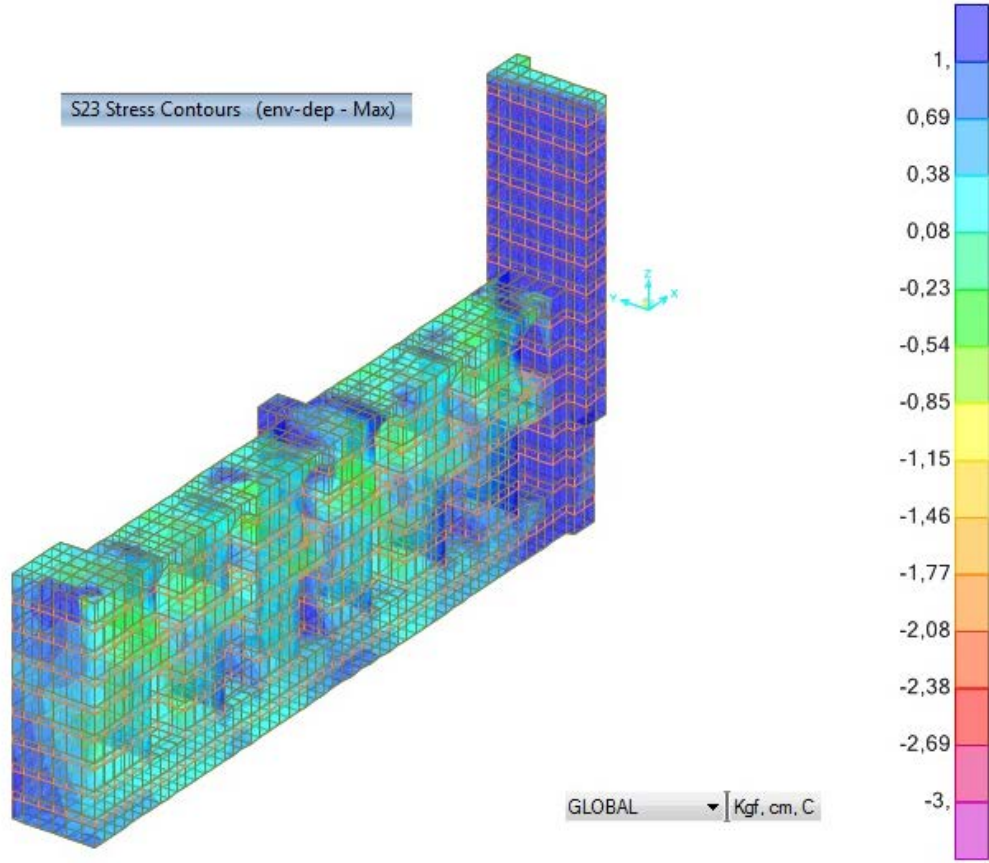
Şekil 5.1: Duvar 1 Zati yüklemesi ve S33 Gerilmesi (düşey yönü)



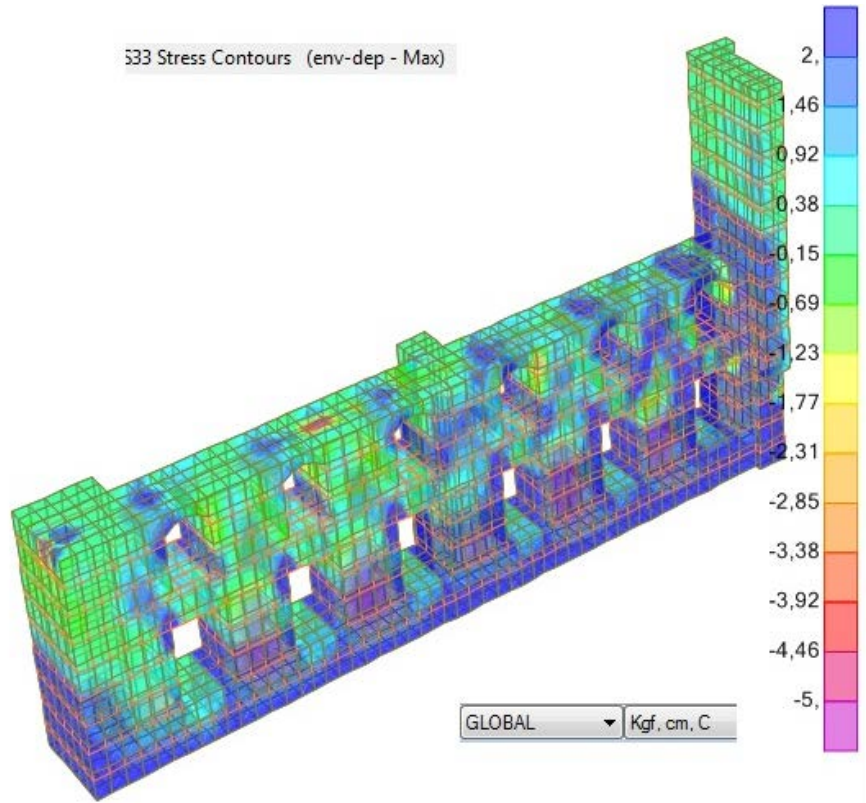
Şekil 5.2: Duvar 1 Deprem yüklemesi ve S11 Gerilmesi (boyuna doğrultusu)



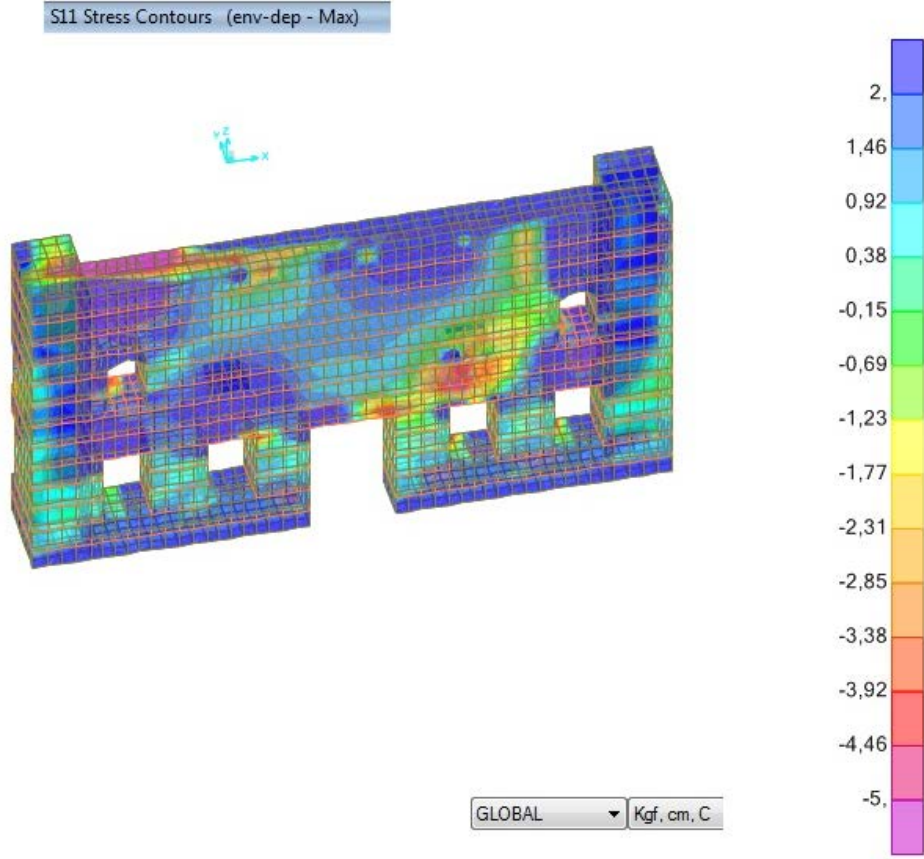
Şekil 5.3: Duvar 1 Deprem yüklemesi ve S22 Gerilmesi (enine doğrultusu)



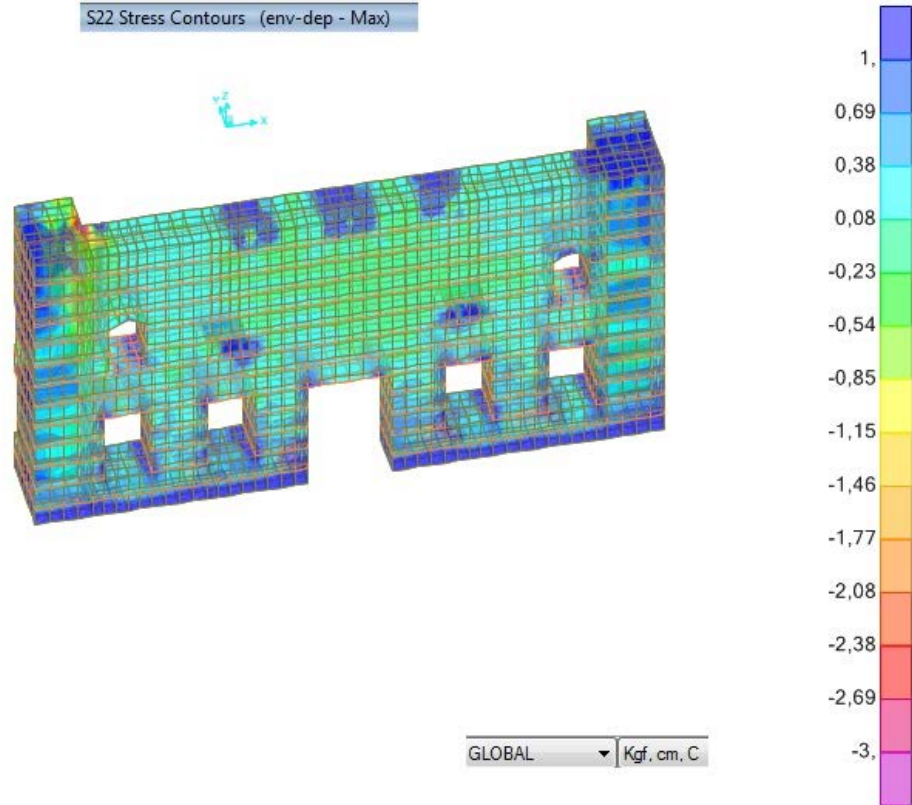
Şekil 5.4: Duvar 1 Deprem yüklemesi ve S23 kayma Gerilmesi



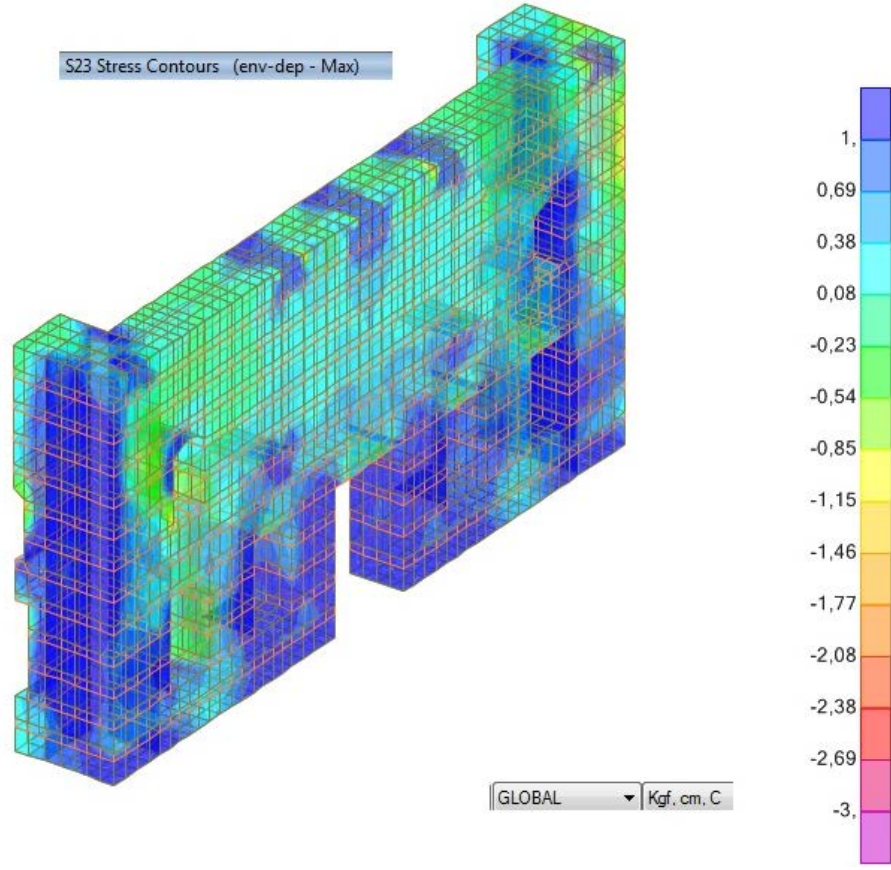
Şekil 5.5: Duvar 1 Deprem yüklemesi ve S33 Gerilmesi (düşey)



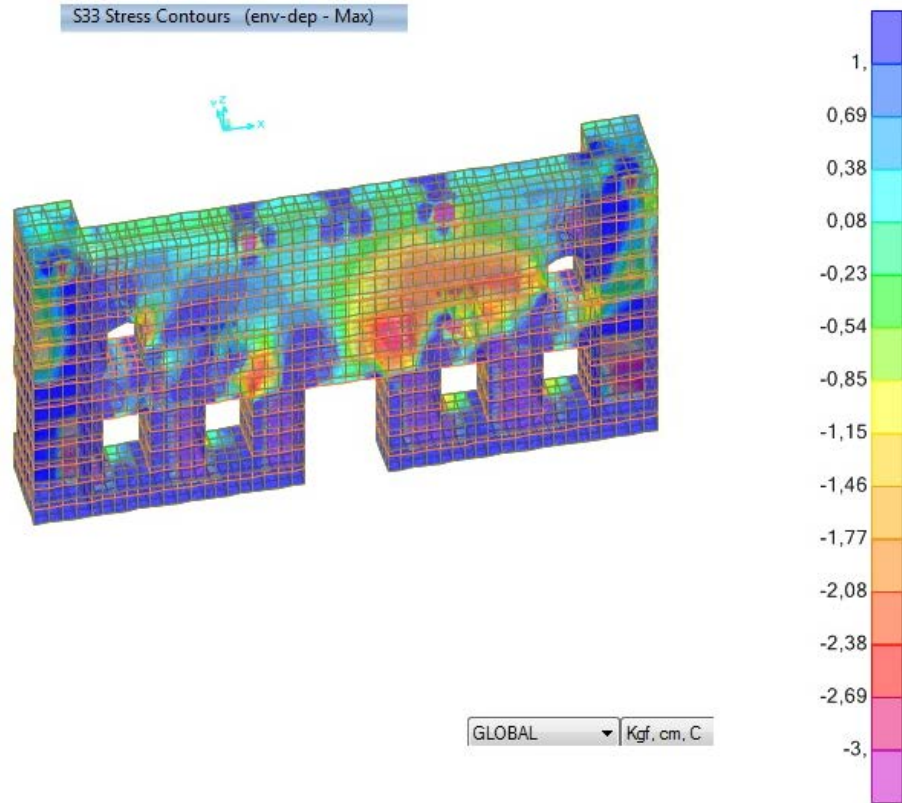
Şekil 5.6: Duvar 2 Deprem yüklemesi ve S11 Gerilmesi (boyuna doğrultusu)



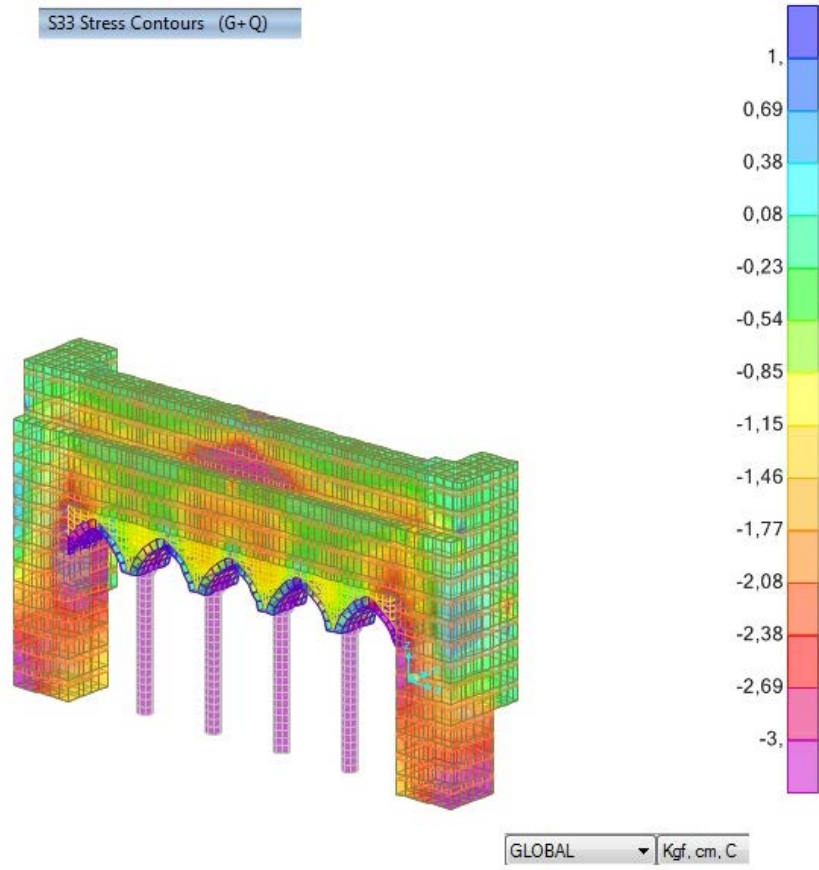
Şekil 5.7: Duvar 2 Deprem yüklemesi ve S22 Gerilmesi (enine doğrultusu)



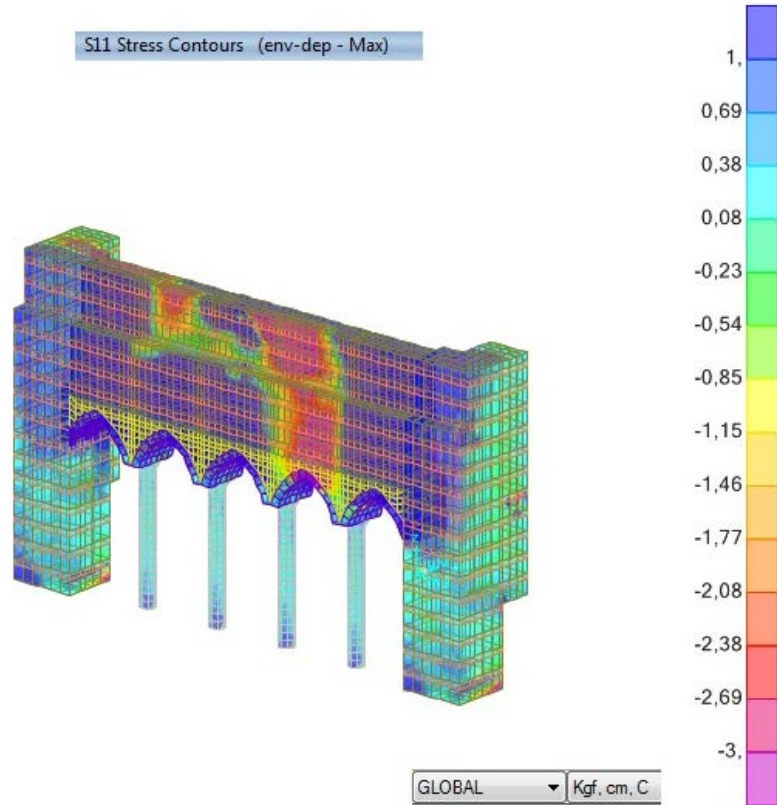
Şekil 5.8: Duvar 2 Deprem yüklemesi ve S23 Gerilmesi (kayma)



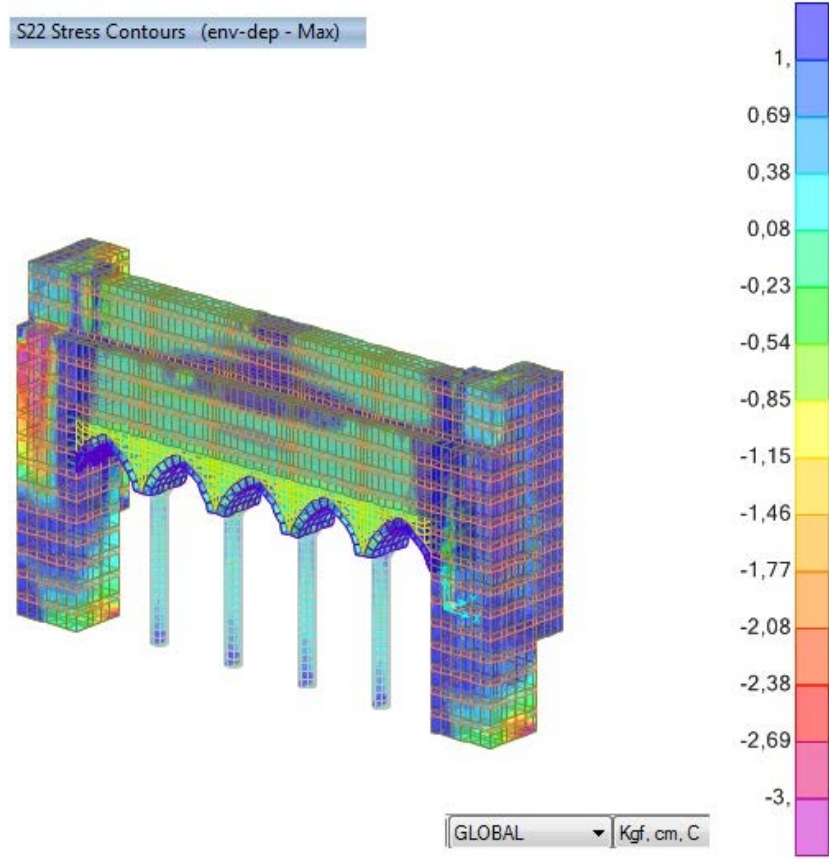
Şekil 5.9: Duvar 2 Deprem yüklemesi ve S33 Gerilmesi (düşey doğrultusu)



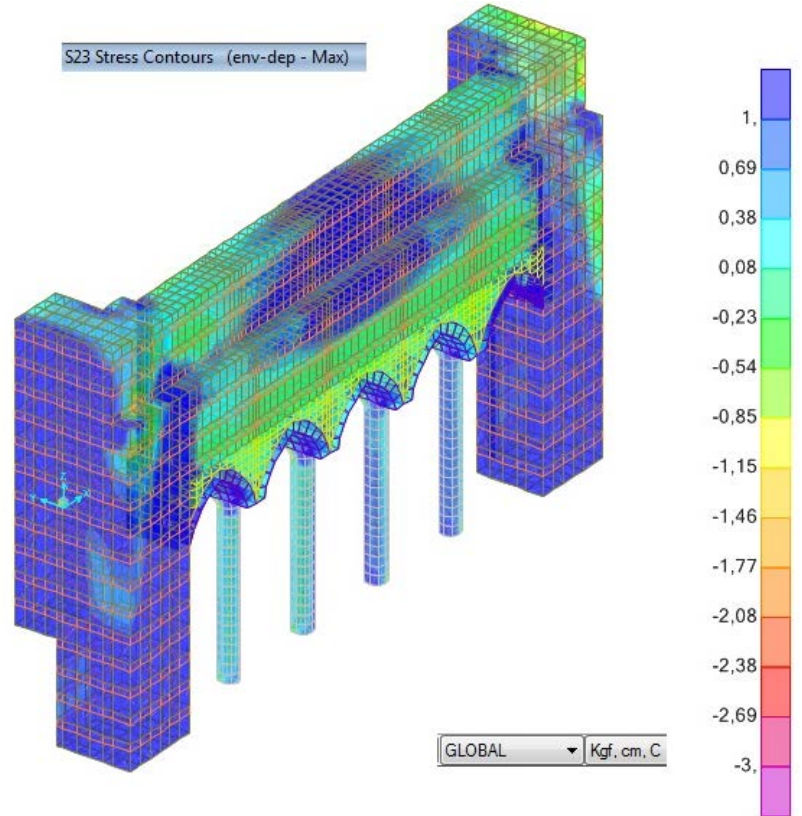
Şekil 5.10: Duvar 3 Zati yüklemesi ve S33 Gerilmesi (düşey doğrultusu)



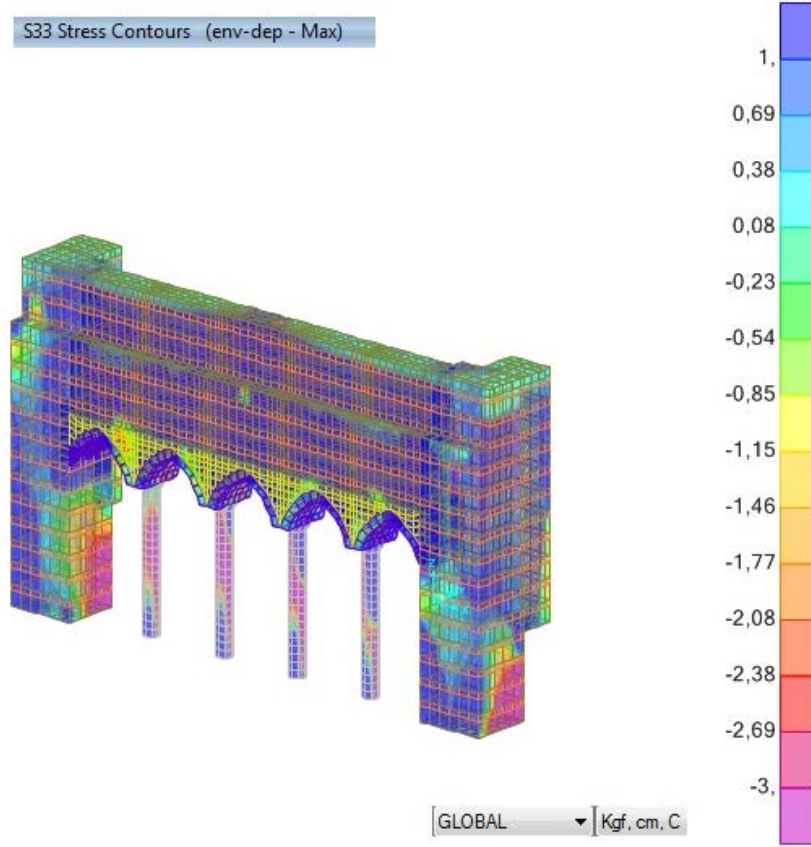
Şekil 5.11: Duvar 3 Deprem yüklemesi ve S11 Gerilmesi (boyuna doğrultusu)



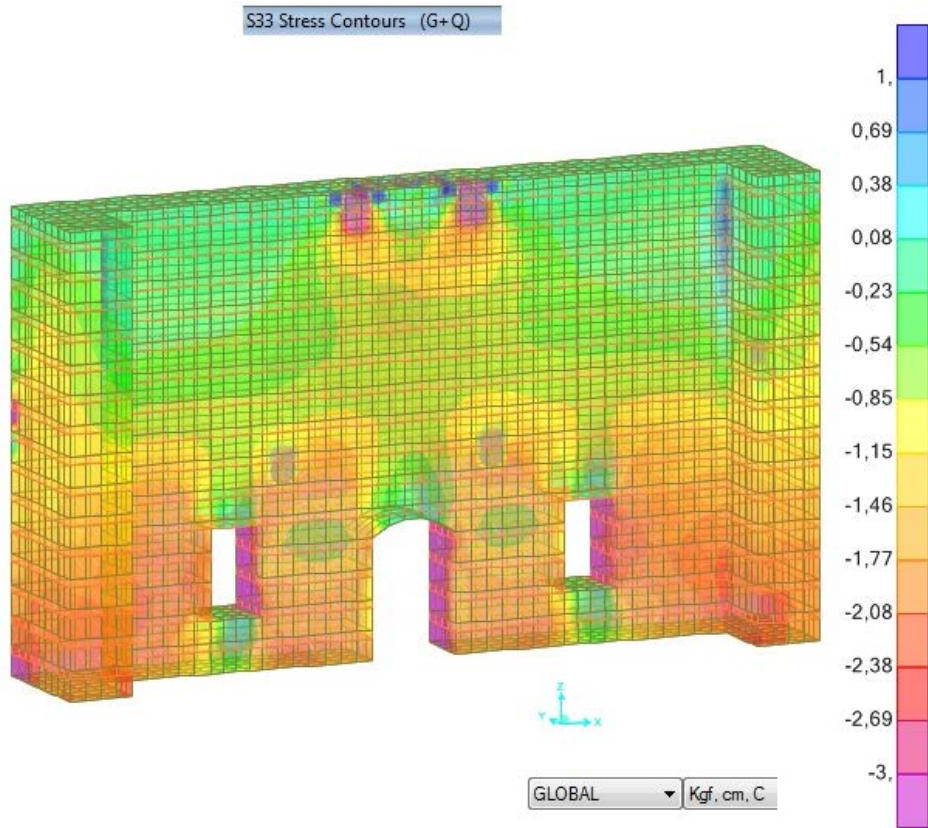
Şekil 5.12: Duvar 3 Deprem yüklemesi ve S22 Gerilmesi (enine doğrultusu)



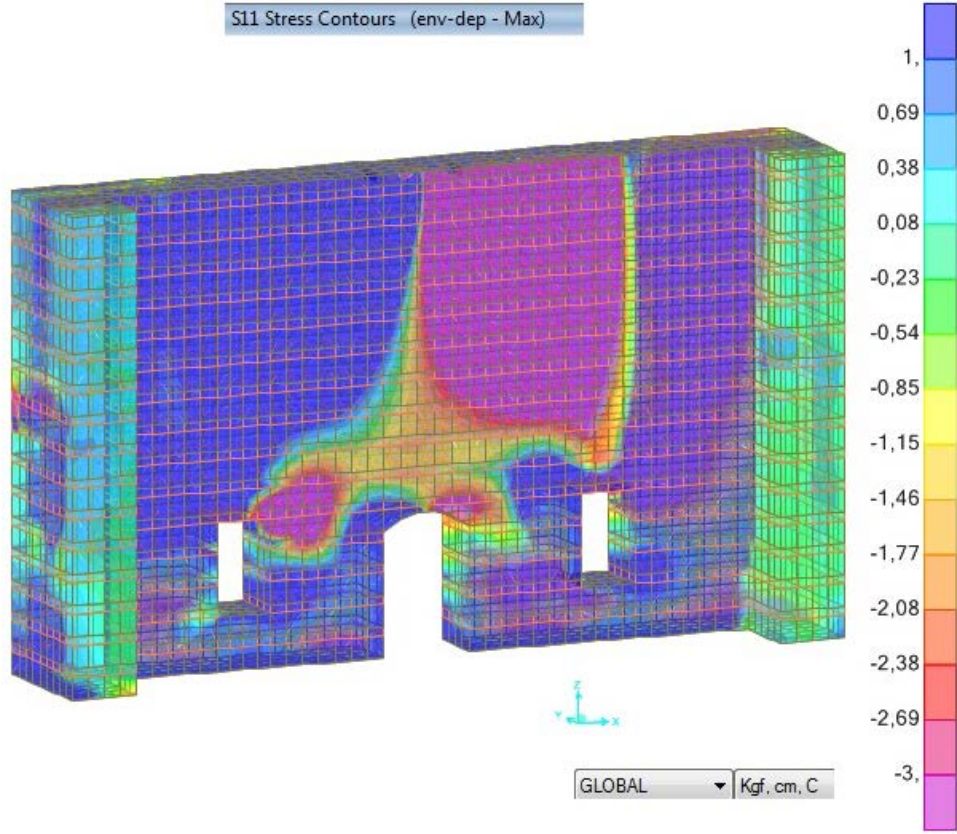
Şekil 5.13: Duvar 3 Deprem yüklemesi ve S23 Gerilmesi (kayma)



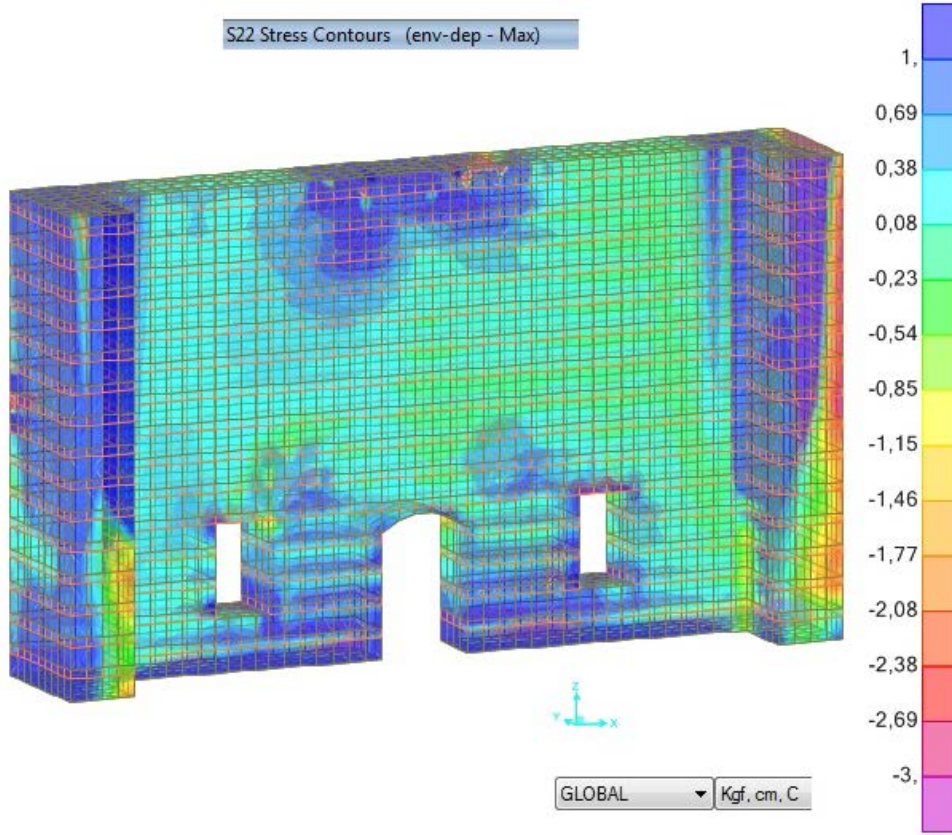
Şekil 5.14: Duvar 3 Deprem yüklemesi ve S33 Gerilmesi (düşey doğrultusu)



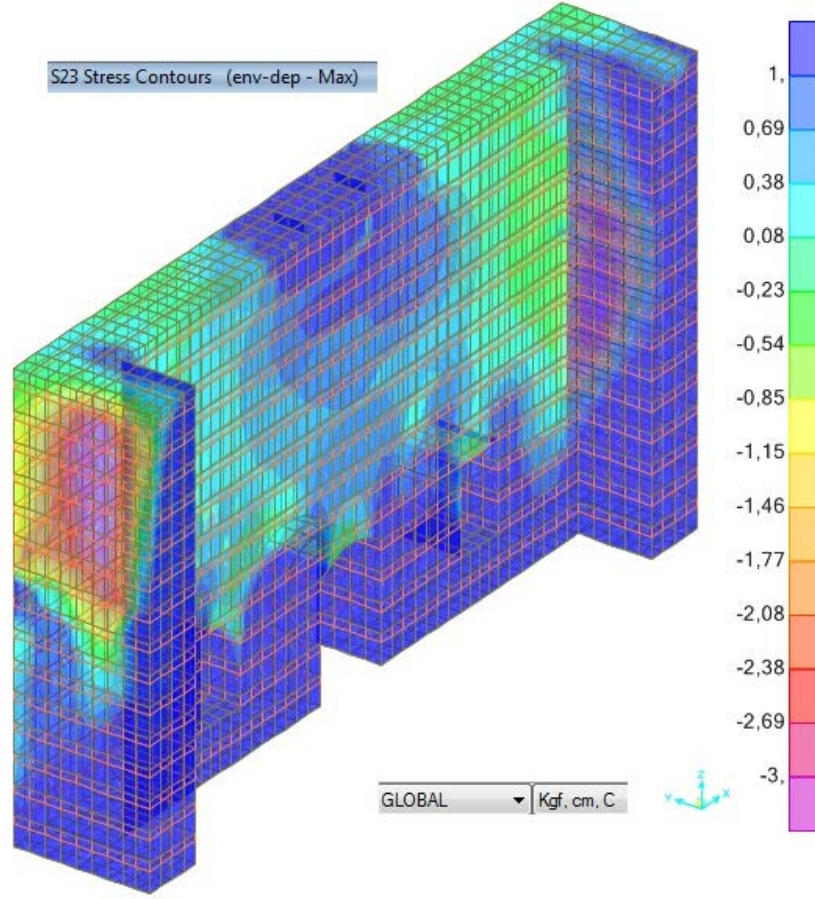
Şekil 5.15: Duvar 4 Zati yüklemesi ve S33 Gerilmesi (düşey doğrultusu)



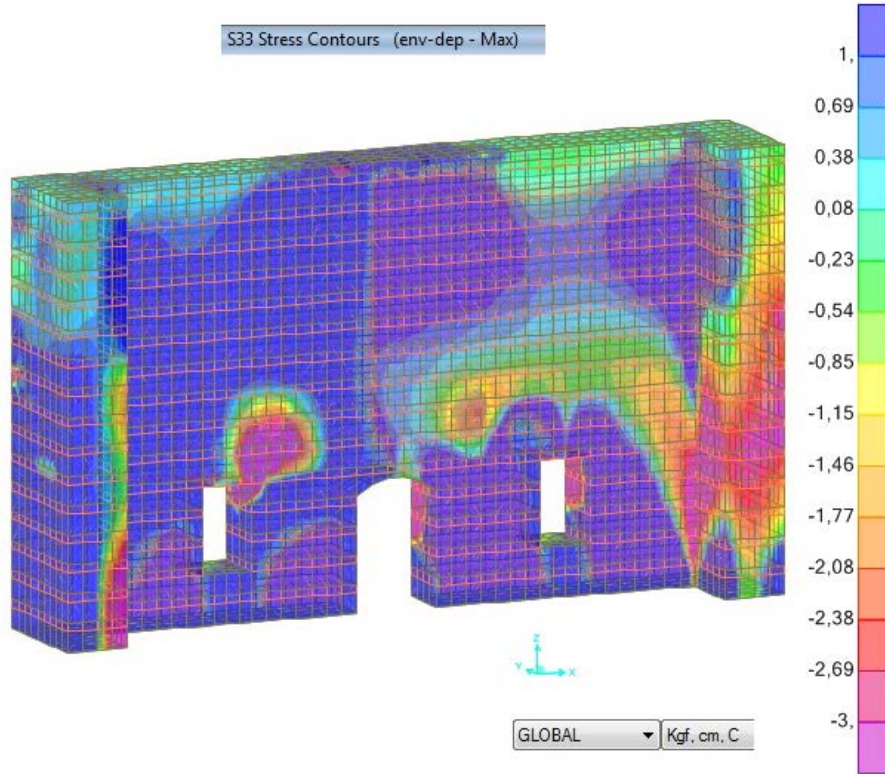
Şekil 5.16: Duvar 4 Deprem yüklemesi ve S11 Gerilmesi (enine doğrultusu)



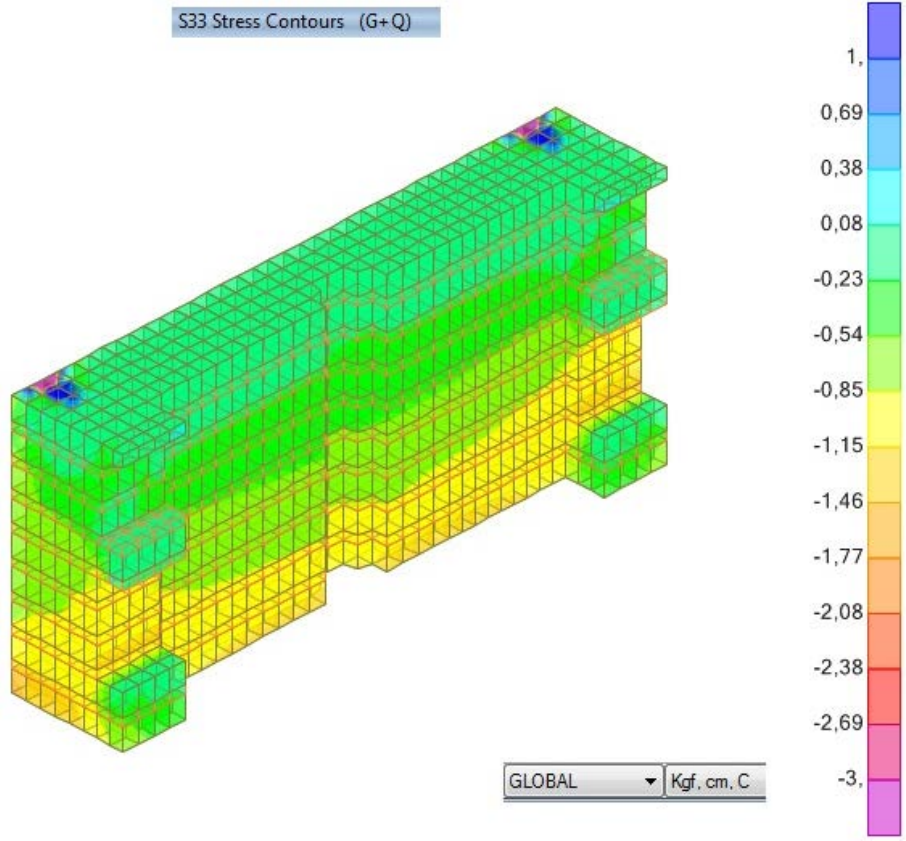
Şekil 5.17: Duvar 4 Deprem yüklemesi ve S22 Gerilmesi (boyuna doğrultusu)



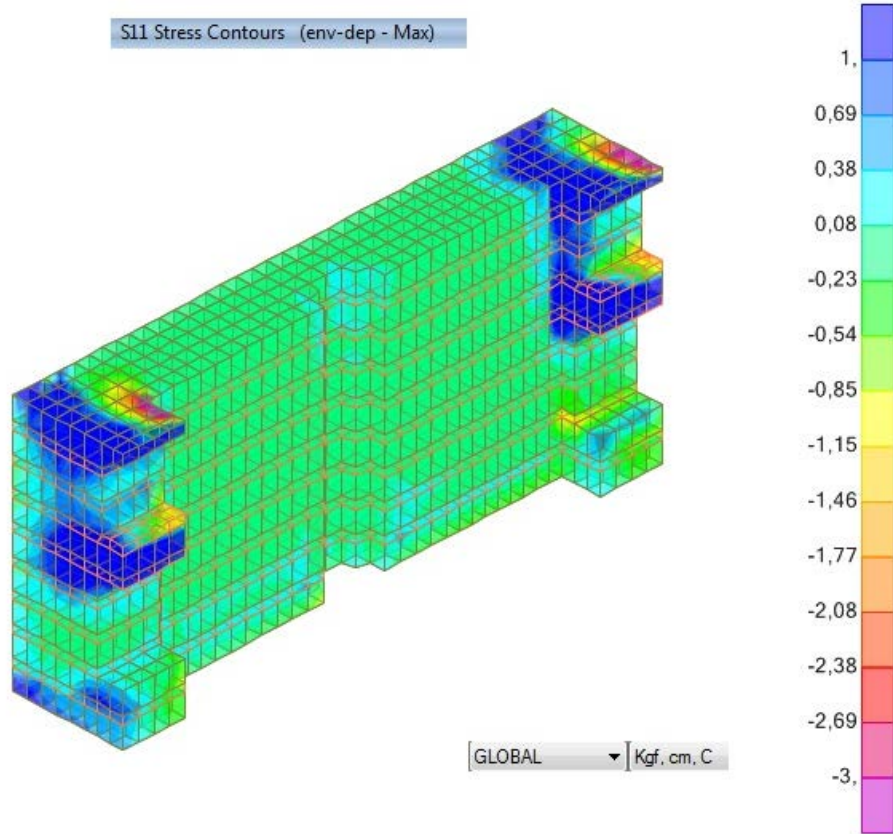
Şekil 5.18: Duvar 4 Deprem yüklemesi ve S23 Gerilmesi (kayma)



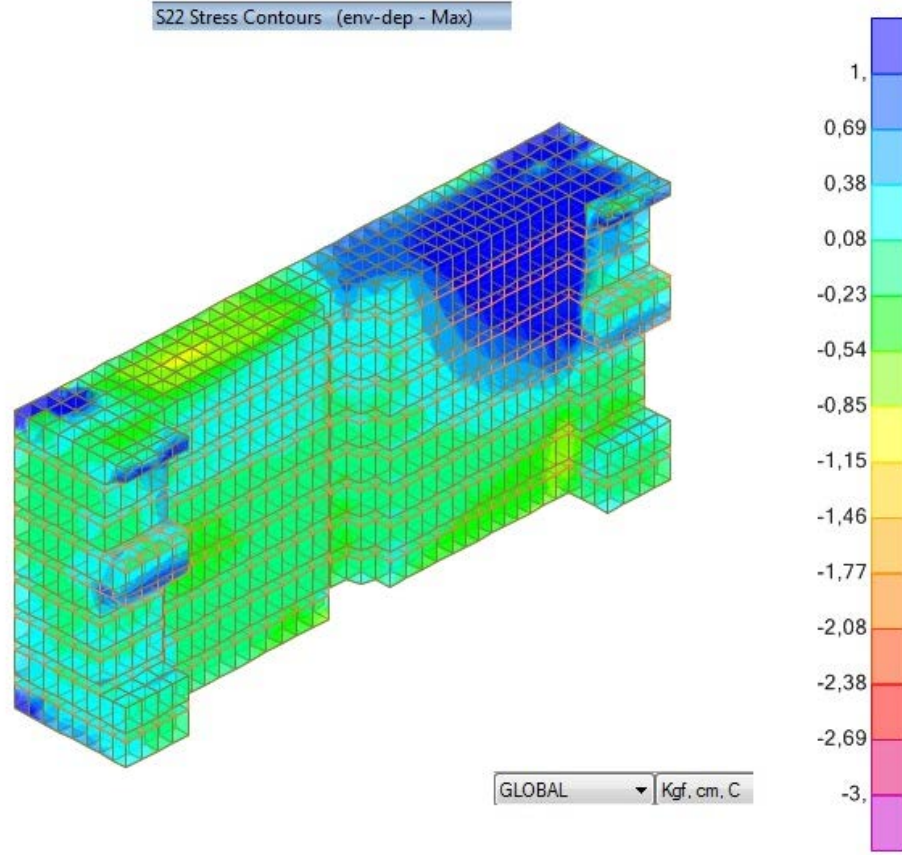
Şekil 5.19: Duvar 4 Deprem yüklemesi ve S33 Gerilmesi (düşey doğrultusu)



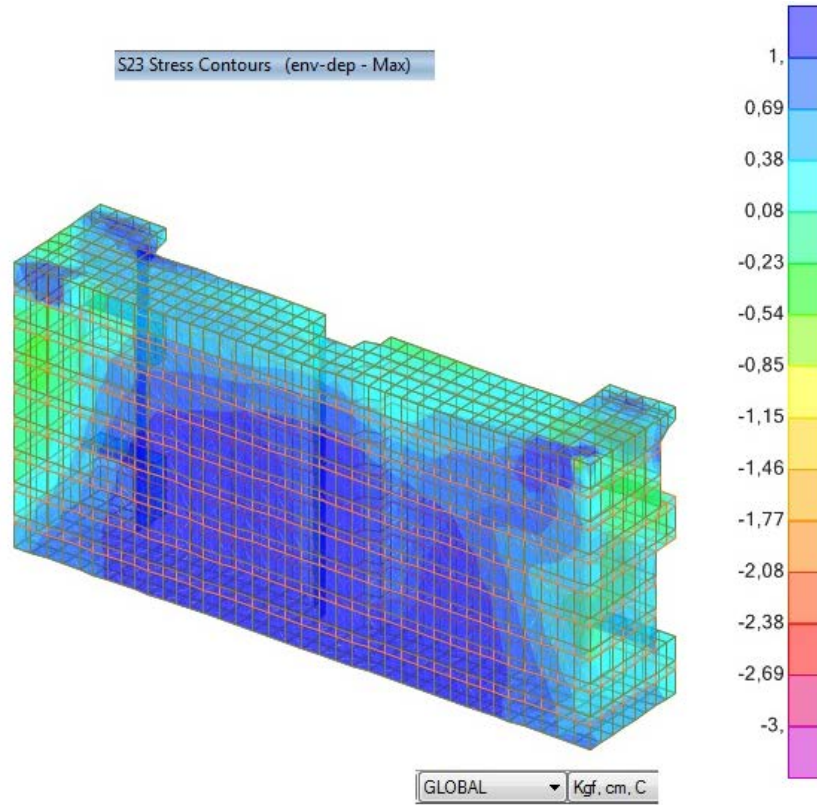
Şekil 5.20: Duvar 5 Zati yüklemesi ve S33 Gerilmesi (düşey doğrultusu)



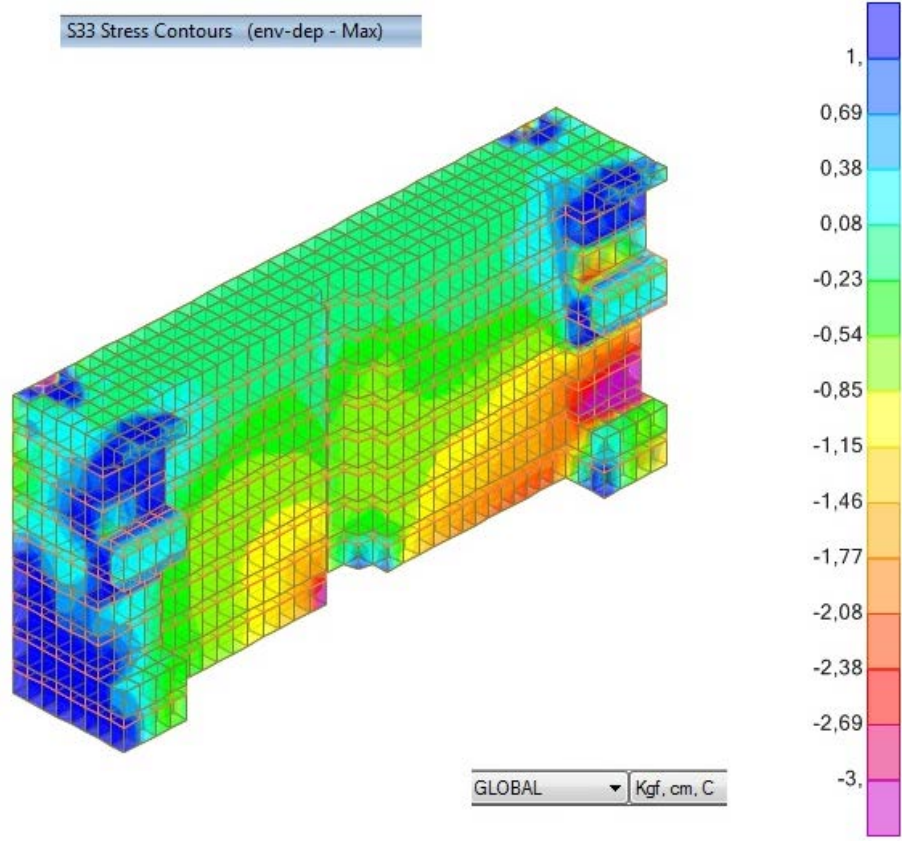
Şekil 5.21: Duvar 5 Deprem yüklemesi ve S11 Gerilmesi (enine doğrultusu)



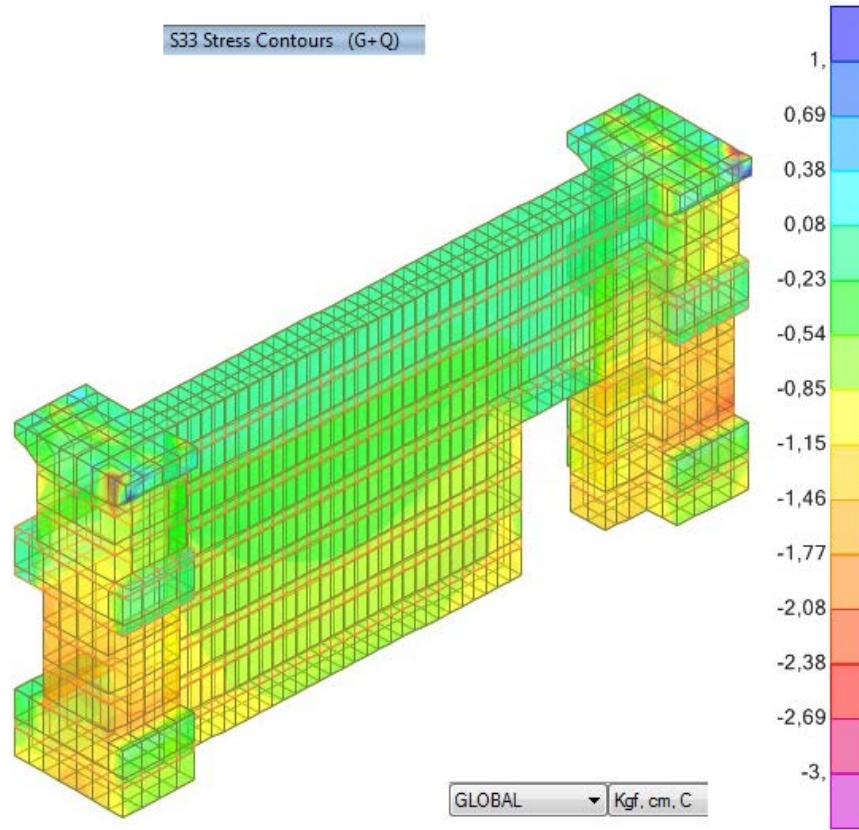
Şekil 5.22: Duvar 5 Deprem yüklemesi ve S22 Gerilmesi (boyuna doğrultusu)



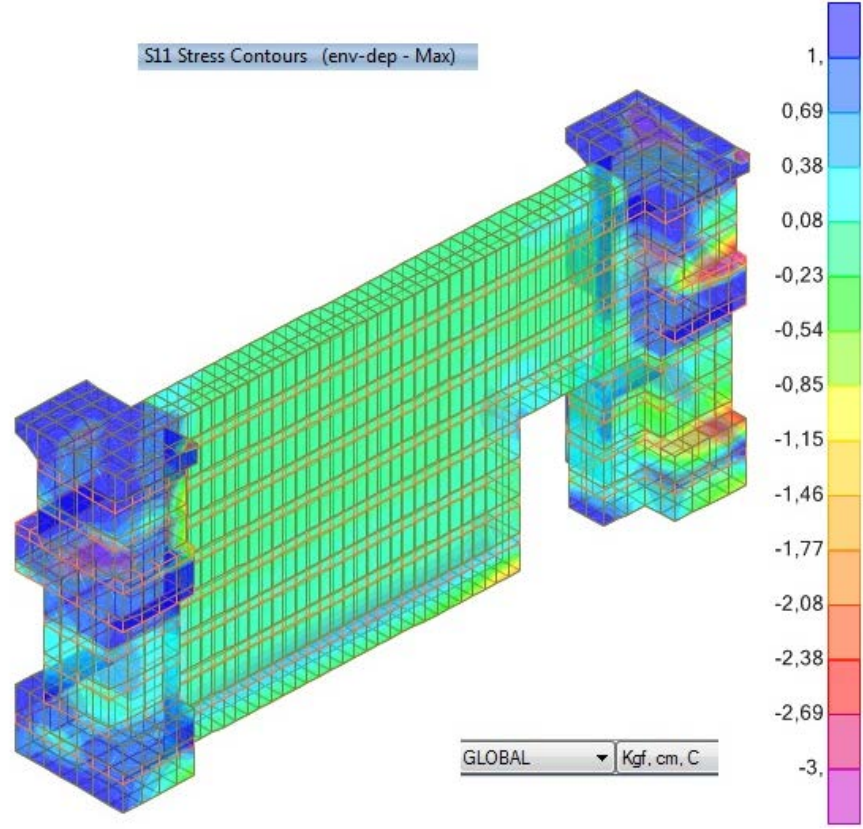
Şekil 5.23: Duvar 5 Deprem yüklemesi ve S23 Gerilmesi (kayma)



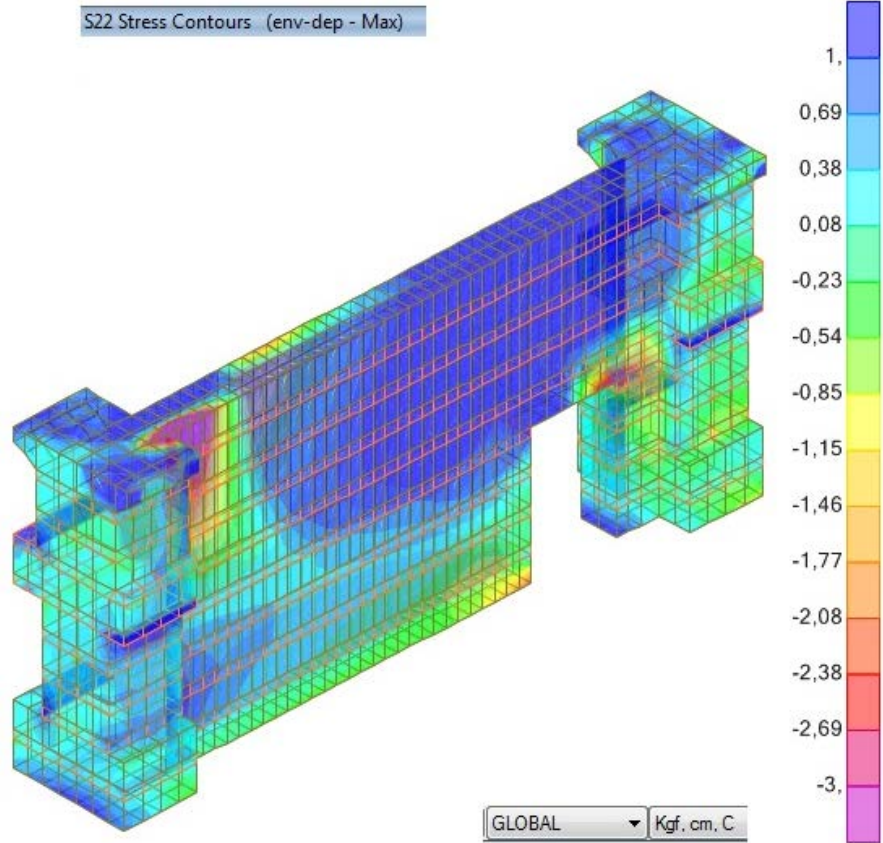
Şekil 5.24: Duvar 5 Deprem yüklemesi ve S33 Gerilmesi (düşey doğrultusu)



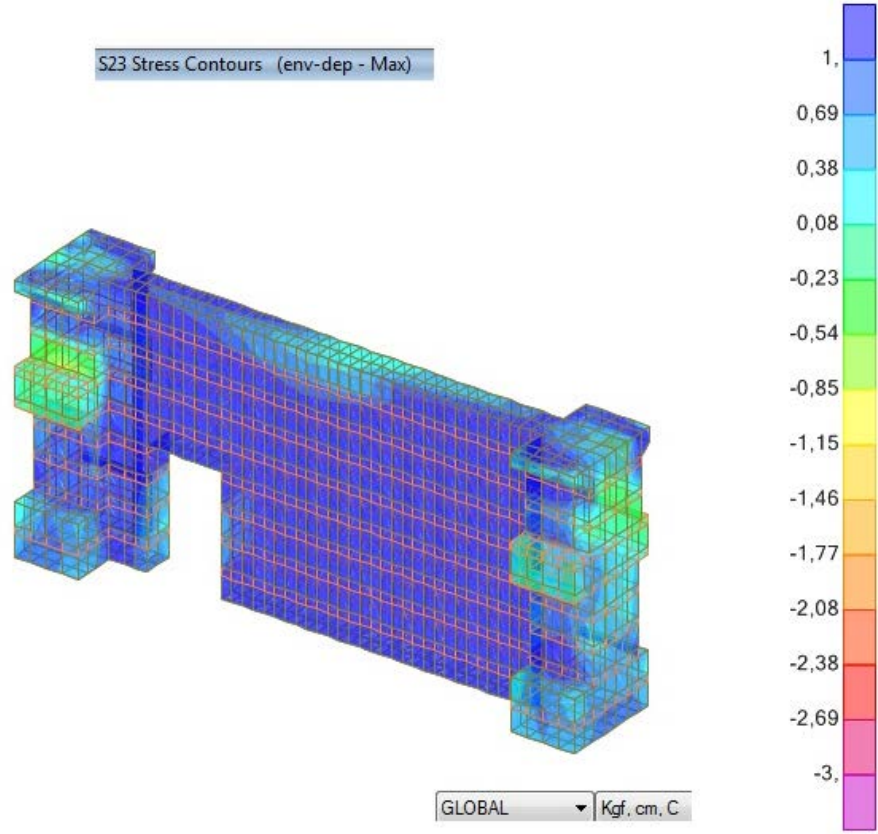
Şekil 5.25: Duvar 6 Zati yüklemesi ve S33 Gerilmesi (düşey doğrultusu)



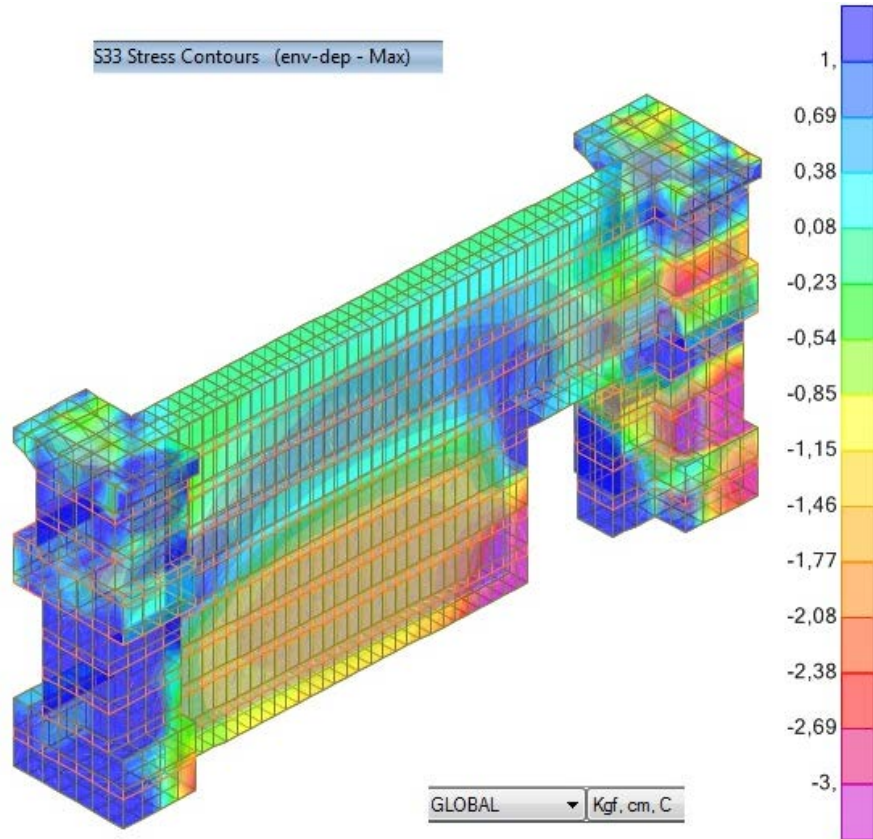
Şekil 5.26: Duvar 6 Deprem yüklemesi ve S11 Gerilmesi (enine doğrultusu)



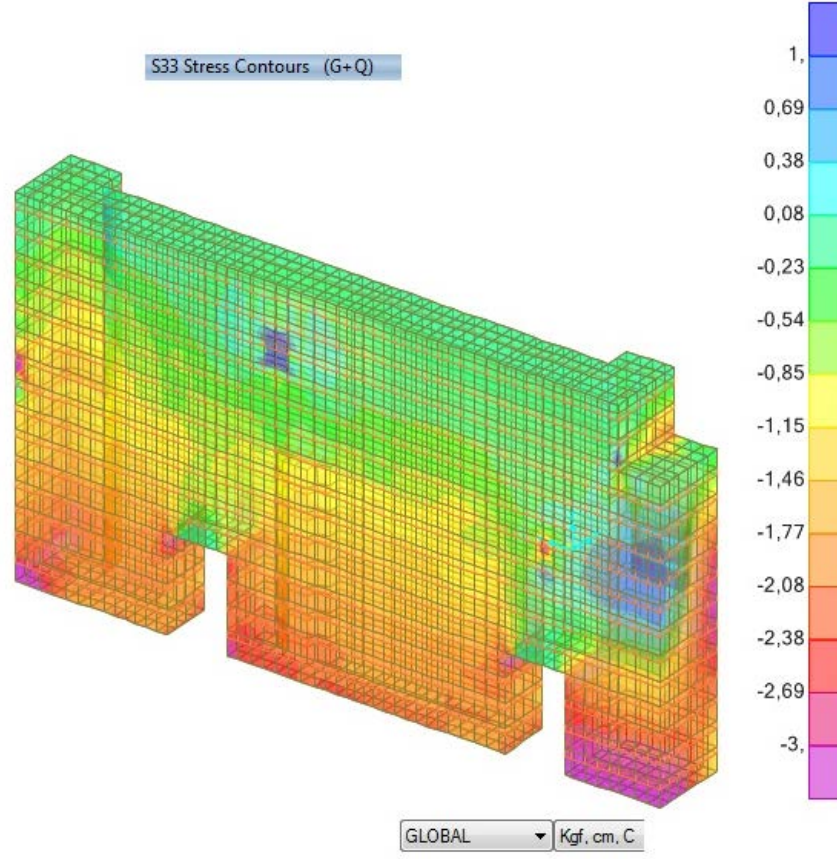
Şekil 5.27: Duvar 6 Deprem yüklemesi ve S22 Gerilmesi (boyuna doğrultusu)



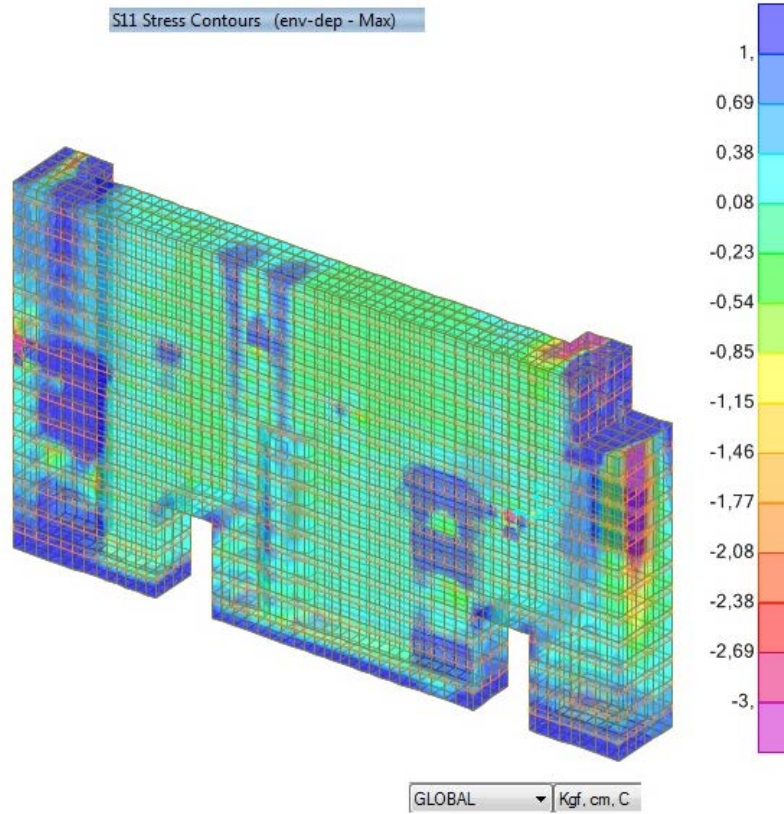
Şekil 5.28: Duvar 6 Deprem yüklemesi ve S23 Gerilmesi (kayma)



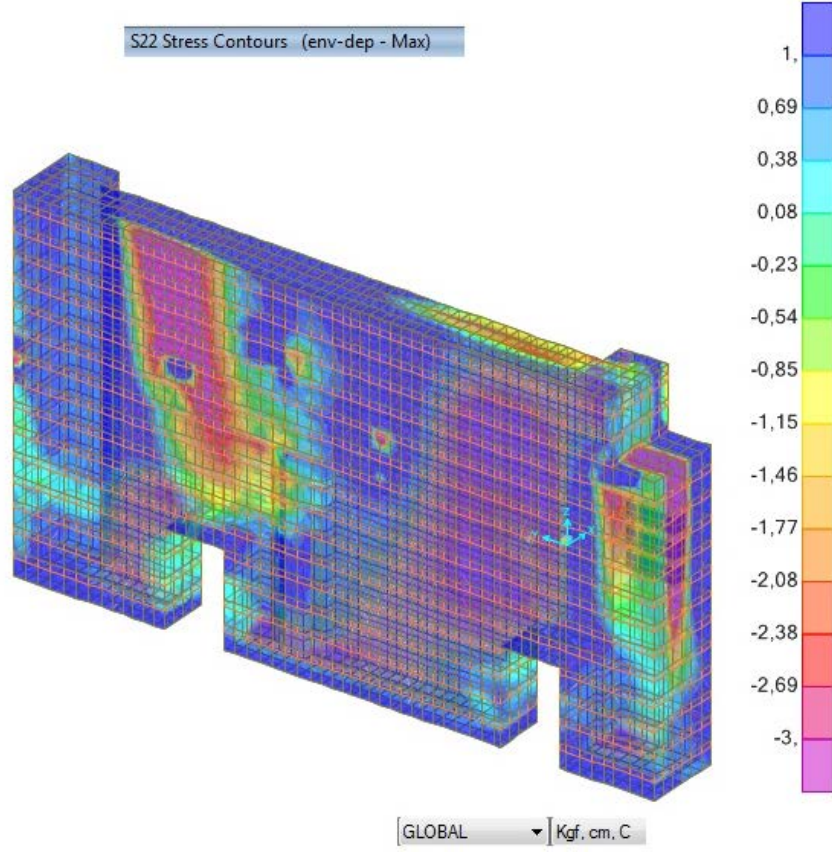
Şekil 5.29: Duvar 6 Deprem yüklemesi ve S33 Gerilmesi (düşey doğrultusu)



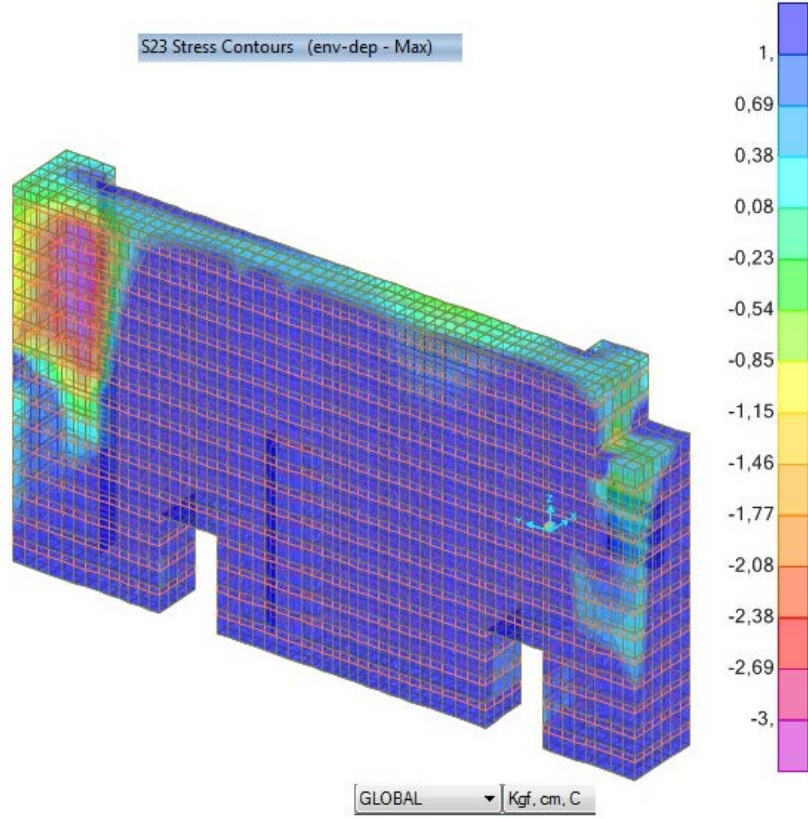
Şekil 5.30: Duvar 7 Zati yüklemesi ve S33 Gerilmesi (düşey doğrultusu)



Şekil 5.31: Duvar 7 Deprem yüklemesi ve S11 Gerilmesi (enine doğrultusu)



Şekil 5.32: Duvar 7 Deprem yüklemesi ve S22 Gerilmesi (boyuna doğrultusu)



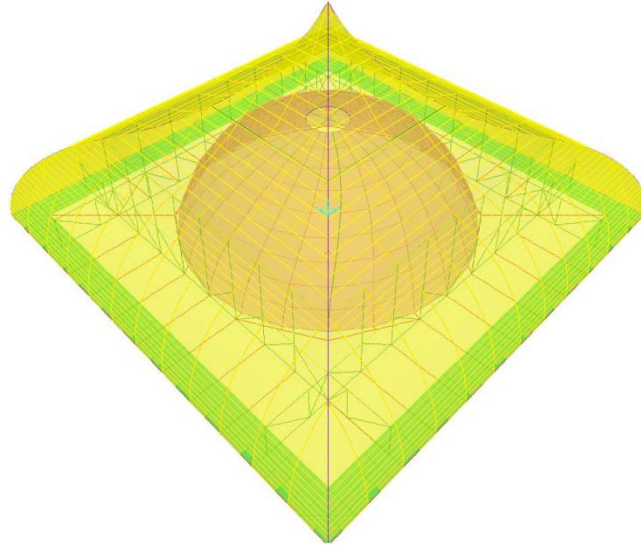
Şekil 5.33: Duvar 7 Deprem yüklemesi ve S23 Gerilmesi (kayma)

5.2 Ahşap Çatı Elemanlarının Tahkikleri

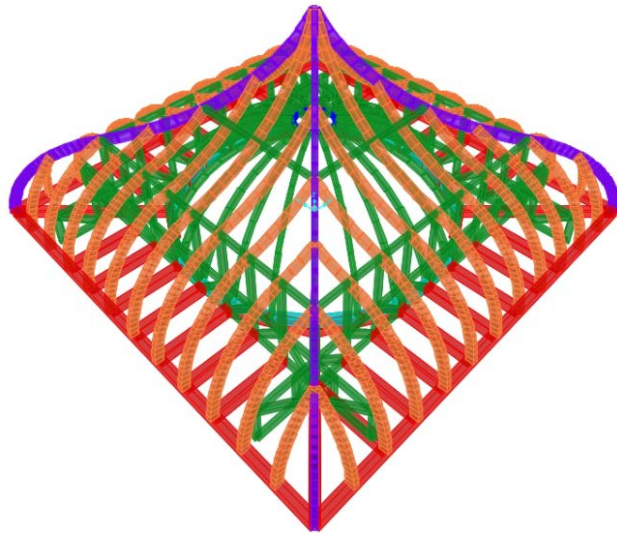
Bu yapıda 3 tip çatı çubuk eleman tipi mevcuttur.

- Fas kare çatısı
- Fas altındaki asılı dairesel çatı
- Kenar genel çatı

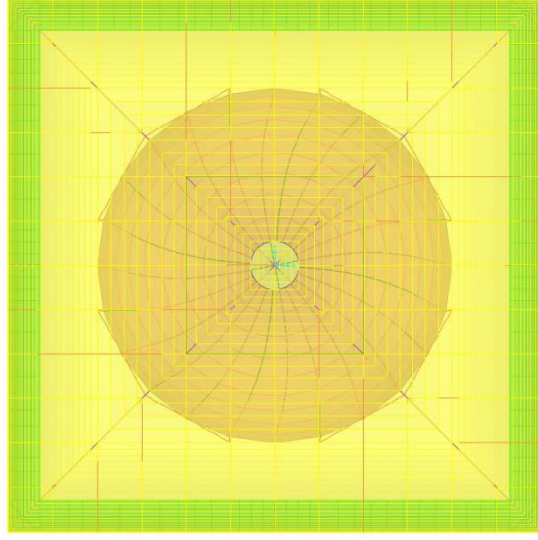
Her biri için gerilme tahkikleri sonraki sayfalarda verilmiştir ve her bir çatı için içindeki bazı elemanlar seçilip tahkiki yapılmaktadır. Çatının 3 boyutlu görünümü aşağıda gösterilmiştir.



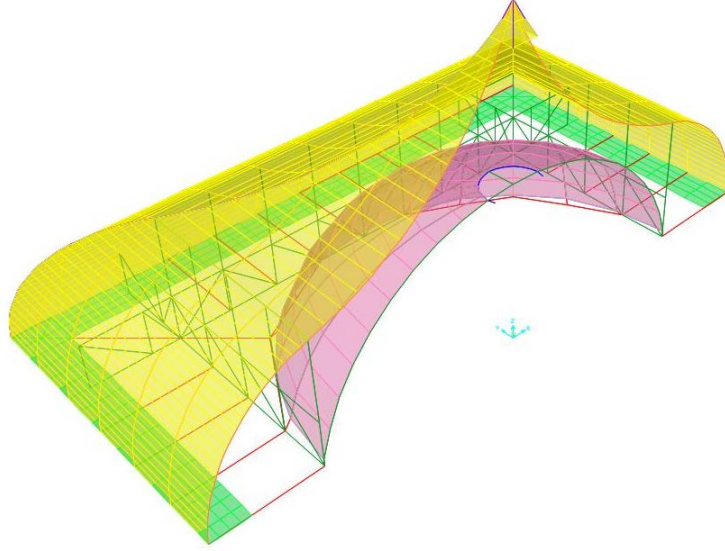
Şekil 5.34: Çatının 3D görünümü



Şekil 5.35: Çatının iskeletini oluşturan çubuk elemanların görünüşü (a)

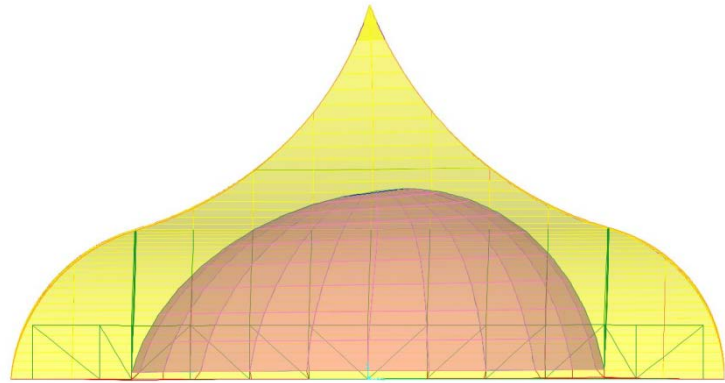


Şekil 5.36: Çatının iskeletini oluşturan çubuk elemanların görünüşü (b)



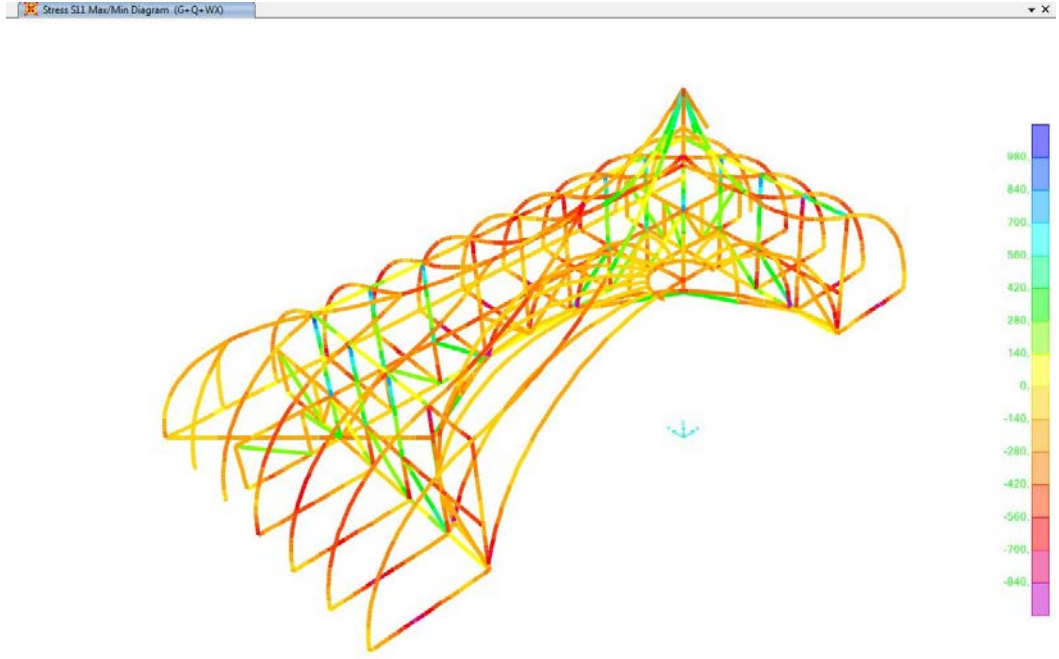
Şekil 5.37: Çatının iskeletini oluşturan çubuk elemanların görünüşü (c)

Deformed Shape (Ex) * x

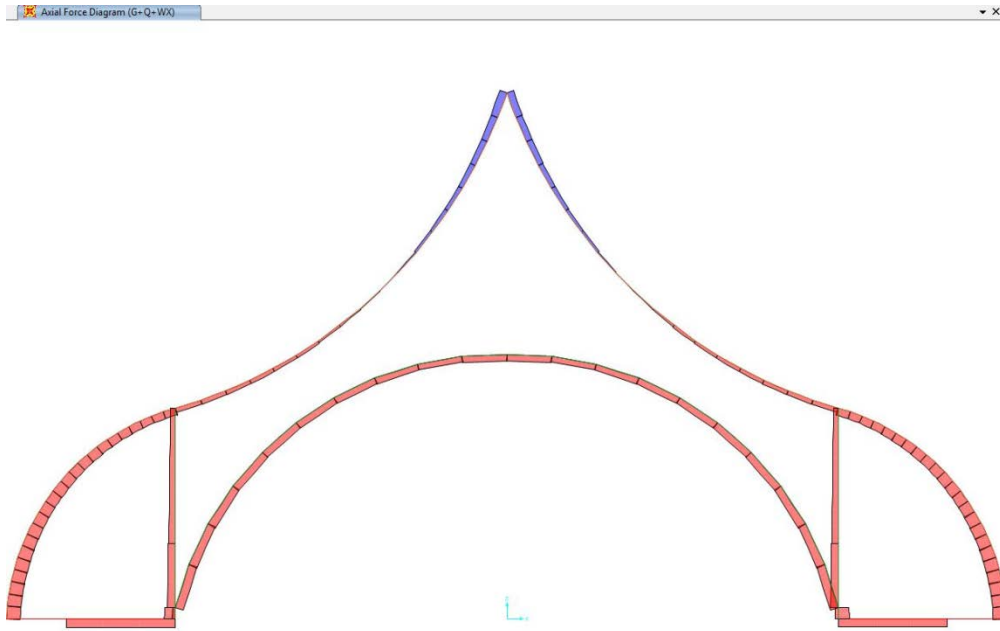


Şekil 5.38: Deforme şekil

Çatının çubuk elemanları değişik deprem ve rüzgar analizlerinde meydana getirdiği iç kuvvetler burada örnek olarak verilmiştir.



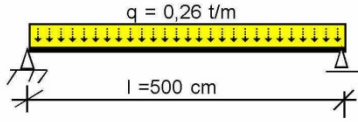
Şekil 5.39: Çatıdaki S11 gerilmesi



Şekil 5.40: Bir kesitte elemanlarda eksen kuvvet diyagramını gösteren resim

5.3 Çubuk Elemanların Tahkikleri

TS647 Ahşap yapıların yapım kuralları yönetmeliğinde belirtilen şartları sağlayan en ekonomik kesit hesaplanıp tasarım yapılmıştır.



gerilme kuvveti	$\sigma =$	0,12 t/cm ²
-----------------	------------	------------------------

kiriş genişliği	b=	7,0 cm
kiriş yüksekliği	h=	25,0 cm

birim yayılı yük	g=	650,0 kg/m ²	(0,65 t/m ²)
kiriş açıklığı	l=	500,0 cm	
kirişler arası mesafe	a=	40,0 cm	

Hesaplar:

gerekli atalet momenti $I_h = 9114,6 \text{ cm}^4$

gerekli mukavemet momenti $W_h = 729,2 \text{ cm}^4$

yayılı yük $q = 0,65 * 0,4 = 0,26 \text{ t/m}$

moment $q = 0,26 * 5^2 / 8 = 0,81 \text{ tm (81 tcm)}$

gerilme kuvveti $s = 81 / 729,2 = 0,11 \text{ t/cm}^2 < 0,12 \text{ t/cm}^2$

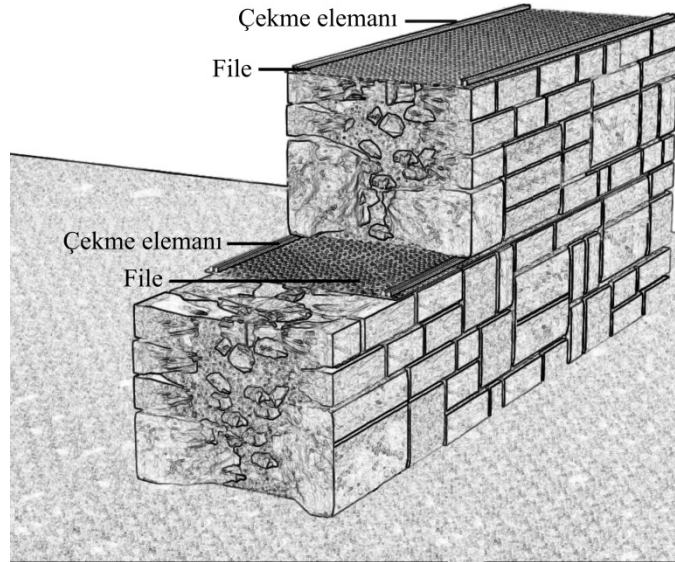
sehim tahkiki $f = (5 / 384) * 2,6 * 500^4 / 100000 * 9114,6 = 2,32 \text{ cm} \leq 500 / 300 = 1,67 \text{ cm}$

Şekil 5.41: Ahşap kiriş kesit tahkiki

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Güçlü ve depreme dayanıklı duvar yapmanın kuralı, tabaka tabaka duvar örmektir. Her 100-150 cm yüksekliğinde tabakalar ve tabaka düzleminde düzgün taş yüzeyleri ile biri diğerine geçmeli duvar yatay düzlemi teşkil edilip, çekme elemanları ile bir iskelet oluşturmak, depreme dayanıklı duvar yapım kuralıdır. Genel olarak yatay gerilmeler duvarda çatlaklara sebep olur. Eski binaların içindeki hatıllar bu sebepten konulurdu ve hatılların olmaması durumunda duvarlarda açılmalar meydana gelmektedir. Bu duvarlarda dış cidarda kesme taş ve içte ise moloz taş vardır. Bu çekme elemanlarının ömrü yaklaşık 300 yıldır fakat eski zamanlarda bu duvarlar aynı tekniklerle yeniden yapılırdı.

Bu yapıda duvarlar solid (veya dolgu) eleman olarak modellenmiş ve iç kuvvetlere yatay ve düşey doğrultularında bakılmıştır.



Şekil 6. 1: Yığma file yerleştirilmesi [4]

Bu çalışmada tabakalar arasında enine doğru bir çekme elemanı kazandırmak için file önerilmektedir ve bu duvarın enine doğru açılmalarını engellemek için etriye görevi yapan bir sistemdir. Konulan tahta hatıllar genelde bu görevi yaparlar fakat çürüme durumunda açılmalar meydana gelmesi kaçınılmaz bir

sonuçtur. Bir başka önerimiz duvarlar inşa edilirken en alt seviyede bir çift ve sağlam hatıl konulmasıdır. Bu hatıllar duvar yükünü eşit bir şekilde dağıtmakta ve eğer değişken oturmalar meydana gelirse çatlakları engellemektedir. Eski yapılarda çekme elemanı olarak genelde ahşap hatıl konulurdu. Eskiye bağlı kalarak bu ahşap hatıllarda projede yerleştirilmiştir. Bizim önerimiz bu karbon elyaf çekme elemanlarını hatıllarla beraber yerleştirmektir. Çok miktarda incelediğimiz eski yapıların duvarlarında bu hatıllar çürümüş ve çekme özelliğini kaybetmiştir. Konulan bantlar ya karbon elyaf veya cam elyaftan oluşan bir malzemedir.

Yığma duvarların yatay çekme miktarlarının çalışmada elde edilen değerleri burada güçlendirme hesaplarında kullanılmıştır. Bu çekme miktarlarına muadil çekme elemanı yerleştirilmiştir. Ortalama olarak duvarlarda çekme değerleri 1-2 veya ile 1.5 kg/cm^2 dir. $0.5-1.0 \text{ kg/cm}^2$ olanını duvarın kendisinin taşıdığını kabul edelim. Burada kalan 1 kg/cm^2 olan miktar için 2 tane 40 cm bir duvar toplam çekme miktarı 5-6 ton eder. Burada duvarların her 2 cephesinde 2 şer sıra toplam 4 adet 1 tonluk çekme mukavemet bandı yerleştirilecektir. Yapı birinci derecede deprem bölgesinde bulunmaktadır fakat zemin tipi iyi yani II üzerinde inşa edildiği ve ayrıca yapının önem katsayısı 1,4 olduğu için genel olarak az bir miktar zorlanma olacaktır. Bunun için pencereler arası duvarlarda çapraz çatlaklar meydana gelmesi çok muhtemeldir. Buna karşılık de bu mukavemet bantları 2 şer adet olmak üzere 50-60 santim ara ile duvarın ortasında yerleştirilecektir.

Karbon bandının özellikleri;

- Karbon mukavemet bantlarında, çelik malzemede görülen korozyon problemi yoktur,
- Kullanılan karbon mukavemet bantları çeliğe göre ortalama 7 kat daha fazla çekme dayanımına sahiptir,
- 1 ila 4 mm kalınlıktaki ve 1 ila 4 cm genişlikteki karbon bantları duvar derzlerine, yapının dokusunu bozmadan kolayca yerleştirilir,
- Mukavemet bantları yalnızca çekme gerilmelerini değil, o kesitte oluşan kayma gerilmelerini de taşıyarak duvara yardımcı olurlar.

Karbon bant mukavemetleri;

- Çekme dayanımı: 3430 N/mm²
- Elastisite modülü: 230000 N/mm²
- Bant çekme mukavemeti: 7480 N

Karbon bant kullanım şekli;

- Duvar içine açılacak derzler temizlenir,
- Hazırlanan derzdeki karbon bandına çift kompenantlı polimer mümkün olduğunca yedirilerek sürülür,
- Karbon bantlar gerilerek derz içerisine yerleştirilir,
- Derz içerisine yerleştirilen ve derz derinliğine fiziki teması sağlanan karbon bandının üzerine fırça ile çift kompenantlı polimer tekrar sürülür,
- Polimer sürme işleminde, karbon bandının ve derz ile temas noktalarının boşlıksuz polimerlenmesine özen gösterilmelidir,
- Karbon bandın döşenmiş ve polimerlenme işlemi yapılmış derzlerin içleri duvar dışına kadar özel bir harçla doldurulur,
- Doldurulan harç, duvar yüzeyince masterlanarak düzeltilir.

Tasarladığımız yapının alt kısmında büyük ve kalın duvarlar mevcuttur. Bu duvarlar incelenmeli ve gereken güçlendirmeler yapılmadan üst yapının inşası başlatılmamalıdır. Duvarlar değişik zamanlarda kısmi olarak tamir edilmiş ve bazı yerler uygun olmayan malzeme ile değiştirilmiştir. Bu yüzden hasarlı olan duvarlar tamir edilmeli ve gerekirse yeni malzeme ile değişmelidir. Yapının yanından demir yolu geçmektedir ve bu nedenle raylardan dolayı meydana gelen titreşimler hassas aletler ile ölçülmeli ve etkisi hem kısa zamanlı ve hem de uzun zamanlı şekilde incelenmelidir. Önerimiz bu rayların belli bir uzunluktaki kısmının titreşim önleyici izolatörlerle donatılmasıdır.

KAYNAKLAR

- [1] **Ghiga D. A., Tăranu N., Ențuc I. S., Ungureanu D., Scutaru M. C.** (2018). Modern Strengthening Techniques for Masonry Structures.
- [2] **Corradi M., Borri A., Castori G. & Sisti R.** (2016). The Reticulatus method for shear strengthening of fair-faced masonry.
- [3] **Corradi M., Borri A., Osofero A. I., Castori G.** (2015). Strengthening of Historic Masonry Structures with Composite Materials.
- [4] **Bayraktar A.** (2006). Tarihi Yapıların Analitik İncelenmesi ve Sismik Güçlendirme Metodları, İstanbul, Beta Basım.
- [5] **Carozzi F.G., Bellini A., D'Antino T., de Felice G., Focacci F., Hojdys Ł., Laghi L., Lanoye E., Micelli F., Panizza M., Poggi C.** (2017). Experimental Investigation of Tensile and Bond Properties of Carbon-FRCM Composites for Strengthening Masonry Elements.
- [6] **Babatunde S. A.** (2016). Review of Strengthening Techniques for Masonry Using Fiber Reinforced Polymers, Journal of Composites Structures.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad :Gülizar TAŞ

Doğum Tarihi ve Yeri: 11.07.1995 /Diyarbakır

E-posta :gulnaztas2020@gmail.com

Öğrenim Durumu

Yüksek Lisans: : İstanbul Aydın Üniversitesi
: **İnşaat Mühendisliği** 2017-2021

Lisans: : **İstanbul Kültür Üniversitesi**
İnşaat Mühendisliği 2013-2017

Lise: :**Özel Leyla Hanım** Anadolu Lisesi
2009-2013

Mesleki Deneyim :**Şeker Mimarlık İnşaat Mühendisliği bürosu**