

T.C.
BAYBURT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TARİHİ BAYBURT YAKUTIYE (YENİ) CAMİSİ'NİN DİNAMİK
PERFORMANSININ BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Keziban ÇOBAN

Ağustos-2018

BAYBURT



**TARİHİ BAYBURT YAKUTİYE (YENİ) CAMİSİ'NİN DİNAMİK
PERFORMANSININ BELİRLENMESİ**

Keziban ÇOBAN

**Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Musa ARTAR**

T.C.
BAYBURT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**TARİHİ BAYBURT YAKUTİYE (YENİ) CAMİSİ'NİN DİNAMİK
PERFORMANSININ BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Keziban ÇOBAN

2018
BAYBURT
Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAY SAYFASI

Tarihi Bayburt Yakutiye (Yeni) Camisi'nin Dinamik Performansının Belirlenmesi

Doç. Dr. Musa ARTAR danışmanlığında, Keziban ÇOBAN tarafından hazırlanan bu tez çalışması 09/08/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği-Yapı Anabilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Dr. Öğr. Üyesi Türkay KOTAN

İmza :

Üye : Doç. Dr. Musa ARTAR

İmza :

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Ömer CAN

İmza :

Yukarıdaki sonucu onaylıyorum.

Prof. Dr. Metin UÇURUM

Enstitü Müdürü V.

Bu çalışma Bilimsel Araştırma Projesi kapsamında desteklenmiştir.

Not: Bu tezde kullanılan ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tez içindeki bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğu ve bu çalışmada şahsıma ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.



Keziban ÇOBAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TARİHİ BAYBURT YAKUTIYE (YENİ) CAMİSİ'NİN DİNAMİK PERFORMANSININ BELİRLENMESİ

Keziban ÇOBAN

Bayburt Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Musa ARTAR

Binlerce yıllık geçmişe sahip olan tarihi yapılar deprem gibi beklenmedik doğal afetlerin yanı sıra yapı malzemesinin dayanımını yitirmesi, zamana bağlı deformasyonlar, zemin oturmaları, sel felaketleri, yangınlar, savaşlar nedeniyle de zarar görmekte ve yıkılmaktadır. Tarihi yapıların korunması ve onarılması için öncelikle yapısal davranışının tam olarak bilinmesi gerekir. Bu çalışmada; Bayburt ili merkezinde bulunan, 1913-1915 yılları arasında inşa edilmiş tarihi Bayburt Yakutiye (Yeni) Camisi'nin SAP2000 programında üç boyutlu sonlu eleman modelini oluşturarak dinamik performansının belirlenmesi ve bazı gerçek deprem kayıtları uygulayarak taşıyıcı sistemin yapısal davranışının irdelenmesi amaçlanmıştır. Yapının analiz sonuçları incelendiğinde düşey yükler altında herhangi bir risk teşkil edecek duruma rastlanmamış ve yapının düşey yükleri güvenle taşıdığı sonucuna varılmıştır. Dinamik analizler neticesinde genel olarak yapının depreme karşı sergilediği performansın iyi olduğu fakat kauçuk izolatörlerle güçlendirilmiş modelin daha iyi performans sergilediği açıkça görülmektedir.

2018, 198 sayfa

Anahtar kelimeler: Tarihi Yığma Yapılar, Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami, Bayburt Taşı, Sonlu Elemanlar Analizi, SAP2000

ABSTRACT

MS Thesis

DETERMINATION OF THE DYNAMIC PERFORMANCE OF HISTORIC BAYBURT YAKUTIYE (YENİ) MOSQUE

Keziban ÇOBAN

Bayburt University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Department of Structure
Supervisor : Assoct. Prof. Dr. Musa ARTAR

Historical buildings with thousands of years of past are damaged and destroyed due to unexpected natural disasters such as earthquakes, as well as loss of strength of building materials, time-dependent deformations, ground subsidence, floods, fires and wars. For the preservation and restoration of historical buildings, firstly the structural behavior of the building must be known. In this study; it is aimed that to determine the dynamic performance of Bayburt Yakutiye (Yeni) Mosque built between 1913 and 1915 in Bayburt province center, by using SAP 2000 program and to investigate the structural behavior of the bearing system by applying some real earthquake records. When the analysis results of the construction are analyzed, it can be concluded that there is no risk under vertical loads and that the construction carries the vertical loads safely. As a result of the dynamic analysis, it is clear that the overall performance against depression is good, but the rubber insulator-reinforced model performs better.

2018, 198 pages

Keywords: Historical Masonry Buildings, Bayburt Yakutiye (New) Mosque, Bayburt Stone, Finite Element Analysis, SAP2000

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması, Bayburt Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği-Yapı Anabilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Tez çalışma konusunun bana öneren, çalışmanın hazırlanma sürecinin her aşamasında değerli bilgilerini benimle paylaşan, kendisine her danışmamda engin tecrübelerini ve kıymetli zamanını esirgemeyerek bana her fırsatta yardımcı olan, beni yönlendiren danışman hocam Sayın Doç. Dr. Musa ARTAR 'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamda kullandığım cami hakkındaki verileri temin etmemde bana yardımcı olan değerli hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Ömer CAN' a, kauçuk izolatör boyutlandırılmada desteklerini benden esirgemeyen Sayın Dr. Öğr. Üyesi Muhammed Yurdakul'a ve yüksek lisans öğrencisi Mehmet Burak Yıldız'a şükranlarımı sunarım. Ayrıca beni bu günlere getiren, benden manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, tezimin hazırlanma süresi boyunca bana gösterdikleri sonsuz sabır ve verdikleri güvenden dolayı aileme müteşekkirim.

Bu çalışmanın, yeni çalışmalara faydalı olmasını temenni ederim.

Keziban ÇOBAN

Ağustos / 2018

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xviii
1.GİRİŞ	1
2.KAYNAK ÖZETLERİ	2
3.BAYBURT YAKUTIYE (YENİ) CAMİ HAKKINDA BİLGİLER	21
3.1Tarihçesi.....	21
3.2Coğrafi Konumu	22
3.3Yapısal ve Mimari Özellikleri.....	23
3.4Malzeme Özellikleri.....	29
3.5Zemin Özellikleri	32
4 KARMAŞIK YAPILARIN MODELLENMESİ	34
4.1 Mikro Modelleme Tekniği	34
4.2 Makro Modelleme Tekniği	36
4.3 SAP 2000 Programı İle Yapı Sistemlerinin Çözümü.....	36
4.3.1 SAP 2000 programında kullanılan kavramlar	37
4.3.1.1 Düğüm noktaları (Joints).....	37
4.3.1.2 Çubuk elemanlar (Frame elements)	37
4.3.1.3 Kabuk elemanlar (Shell elements)	38
4.3.1.4 Katı elemanlar (Solid elements).....	40

4.3.2 Sonlu Elemanlar Metodu.....	42
4.4 Yapısal Modelleme	44
5 TARİHİ YAPILARDA ONARIM VE GÜÇLENDİRME YÖNTEMLERİ.....	51
5.1 Sağlamaştırma.....	52
5.1.1. Malzeme güçlendirmesi	52
5.1.2 Taşıyıcı sistemin sağlamaştırılması	54
5.1.3 Zemin sağlamaştırma	76
5.1.3.1 Temel altı zeminin ıslahı.....	76
5.1.3.2 Temelin güçlendirilmesi	78
5.2 Bütünleme	78
5.3 Yenileme	78
5.4 Yeniden Yapım	79
5.5 Temizleme.....	79
5.6 Taşıma.....	80
6 BAYBURT YAKUTIYE (YENİ) CAMİSİ ' NİN FARKLI KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLERE SAHİP DEPREM ETKİLERİ ALTINDA DAVANIŞININ İNCELENMESİ	81
6.1 İzolatörsüz Tarihi Yapının Performans Analizleri.....	81
6.1.1 27 Aralık 1939 Erzincan depremi	81
6.1.2 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi	89
6.1.3 12 Kasım 1999 Düzce depremi	97
6.1.4 23 Ekim 2011 Van-Erciş depremi.....	104
6.1.5 19 Mayıs 1940 El Centro Depremi	112
6.1.6 17 Ocak 1995 Kobe Depremi.....	120
6.2 Kauçuk İzolatör İle Güçlendirilmiş Tarihi Yapının Performans Analizleri.....	130

6.2.1 Güçlendirilmiş modelin 27 Aralık 1939 Erzincan Depremi performans analizi	148
5.3.2 Güçlendirilmiş modelin 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi performans analizi	155
6.2.3 Güçlendirilmiş modelin 12 Kasım 1999 Düzce Depremi performans analizi	161
6.2.4 Güçlendirilmiş modelin 23 Ekim 2011 Van-Erciş Depremi performans analizi	167
6.2.5 Güçlendirilmiş modelin 19 Mayıs 1940 El Centro Depremi performans analizi	173
6.2.6 Güçlendirilmiş modelin 17 Ocak 1995 Kobe Depremi performans analizi....	179
7 SONUÇ VE ÖNERİLER	186
KAYNAKLAR	188
ÖZGEÇMİŞ.....	

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

E	Elastisite Modülü
g	Yer Çekimi İvmesi
kN	Kilonewton
MN	Meganewton
T	Periyot
MPa	Megapascal

Kısaltmalar

DBYBHY	Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
FEM	Finite Element Method
MTA	Maden Tetkik ve Arama
SAP	Structural Analysis Program
UBC	Uniform Building Code

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1 Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami-1.....	21
Şekil 3.2 Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami harita üzerindeki konumu.....	22
Şekil 3.3 Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami-2.....	22
Şekil 3.4 Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami İç Görünüm.....	23
Şekil 3.5 Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami-3.....	24
Şekil 3.6 Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami giriş bölümü.....	25
Şekil 3.7 Erzurum Vakıflar Bölge Müdürlüğü tarafından AutoCAD hazırlanmış programında rölevedeki zemin planı.....	26
Şekil 3.8 Erzurum Vakıflar Bölge Müdürlüğü tarafından AutoCAD hazırlanmış programında rölevedeki kesit planı.....	27
Şekil 3.9 Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami Pandantif (Amulet-Muska) kısımları.....	28
Şekil 3.10 Bayburt Yakutiye (Yeni) Camisi'nin gece görünümü.....	28
Şekil 3.11 MTA Bayburt Doğal Taş Potansiyeli Maden Jeolojisi Raporu-2005.....	30
Şekil 3.12 Erzurum Vakıflar Bölge Müdürlüğü tarafından 2010 yılında yapılan restorasyon çalışması öncesi ana kubbe görünümü.....	32
Şekil 4.1 Yığma duvarların a) Mikro, b) Meso (Basitleştirilmiş mikro) c) Makro teknikleri (Doğan, 2016).....	34
Şekil 4.2 Meso (Basitleştirilmiş mikro) modelleme tekniği (Doğan, 2016).....	35
Şekil 4.3 Bir boyutlu çubuk eleman.....	37
Şekil 4.4 Sağ el kuralı (Darılmaz, 2005).....	38
Şekil 4.5 Dört düğüm noktalı (dörtgen) shell eleman (Şimşek, 2010).....	39
Şekil 4.6 Shell elemanda oluşan gerilmeler (Şimşek, 2010).....	39
Şekil 4.7 Solid elemanlarda oluşan gerilmeler (Korkmaz vd., 2013).....	41
Şekil 4.8 Bayburt Yakutiye Cami yapısal modelinde bulunan shell elemanlar.....	42
Şekil 4.9 Sonlu eleman modelinin oluşturulması.....	42

Şekil 4.10 Sonlu elemanlar metodunda kullanılan bazı eleman tipleri:	
a) Bir boyutlu çubuk eleman, b) İki boyutlu dikdörtgen eleman,	
c) İki boyutlu üçgen eleman, d) Üç boyutlu dikdörtgen prizma eleman...	43
Şekil 4.11 Düzensiz geometriye sahip bir levhanın üçgen sonlu	
elemanlara bölünmesi.....	44
Şekil 4.12 Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami modelleme aşamaları.....	45
Şekil 4.13 Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami modelleme aşamaları.....	45
Şekil 4.14 Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami modelleme aşamaları.....	46
Şekil 4.15 Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami modelleme aşamaları.....	46
Şekil 4.16 Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami modelleme aşamaları.....	47
Şekil 4.17 Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami modelleme aşamaları.....	47
Şekil 4.18 Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami'nin y düzlemindeki	
yarım görünümü.....	48
Şekil 4.19 Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami Minaresi modelleme aşamaları.....	49
Şekil 4.20 Bayburt Yakutiye (Yeni) Camisi'nin sonlu elemanlar modeli.....	50
Şekil 4.21 Bayburt Yakutiye (Yeni) Camisi'nin alttan görünümü.....	50
Şekil 5.1 Mevcut ahşap döşeme üzerine uygulanan ikinci ahşap	
katman (Mahrebel, 2006).....	52
Şekil 5.2 Mevcut ahşap döşeme üzerine uygulanan betonarme katman	
(Mahrebel, 2006).....	53
Şekil 5.3 Duvarlardaki hasarlı kısmın beton ya da grout ile	
doldurulması.....	53
Şekil 5.4 Klasik ve İzolatörle güçlendirilmiş yapılarda periyot	
karşılaştırması.....	53
Şekil 5.5 İzmir-Efes 'te bulunan Artemis Tapınağı.....	54
Şekil 5.6 İzmir-Efes 'te bulunan Artemis Tapınağı temel izolasyonu.....	55
Şekil 5.7 1923 yılında Imperial Oteli (Özpalanlar, 2004).....	56

Şekil 5.8 Deprem etkisi altında ankastre mesnetli ve taban izolasyonlu yapı hareketi.....	57
Şekil 5.9 Kauçuk blok ve çelik levhalı mesnedin yük altındaki şekil değiştirmesi (Sevim, 2016).....	58
Şekil 5.10 Kauçuk esaslı kurşun çekirdekli kauçuk izolatör (Oflaz, 2013).....	58
Şekil 5.11 Lamine edilmiş (tabaklanmış) kauçuk esaslı kurşun çekirdekli izolatör (Oflaz, 2013).....	59
Şekil 5.12 The Salt Lake City and County Building (Özpalanlar, 2004).....	60
Şekil 5.13 San Fransisco Belediye Binası.....	61
Şekil 5.14 Yeni Zelanda Parlamento Binaları.....	62
Şekil 5.15 Kharlampiyevskaya (Mikhailo-Arkhangelskaya) Kilisesi ve rölevesi (Smirnov vd., 2004).....	63
Şekil 5.16 Kauçuk İzolatörlerin yerleştirilme aşamaları (Smirnov vd., 2004).....	65
Şekil 5.17 Romanya-Iasi Belediye Binası.....	66
Şekil 5.18 Yığma yapılarda sismik izolasyon sisteminin kurulum aşamaları (Melkumyan vd., 2011).....	67
Şekil 5.19 Romanya-Iasi Belediye Binası'na yerleştirilen kauçuk izolatörlerin planı (Melkumyan vd., 2011).....	68
Şekil 5.20 Romanya-Iasi Belediye Binası 'na yerleştirilen kauçuk izolatörlerin düşey kesit planı (Melkumyan vd., 2011).....	69
Şekil 5.21 Sürtünme esaslı sismik izolatörler (Oflaz, 2013).....	70
Şekil 5.22 Sürtünmeli sarkaç sistemin çalışma mekanizması (Hoşbaş, 2006).....	70
Şekil 5.23 Sürtünme esaslı sismik izolatör sisteminin serbest cisim diyagramı ve temel parametreleri (Demir, 2008).....	71
Şekil 5.24 Sürtünmeli sarkaç sistemler (Özpalanlar, 2004).....	72
Şekil 5.25 Çelik yapıda karma sistem-Dış kolon altlarında kauçuk esaslı, iç kolon altlarında sürtünme esaslı izolatör (Oflaz, 2013).....	73
Şekil 5.26 San Francisco'da bulunan Temyiz Mahkemesi.....	74

Şekil 5.27 Enerji sönmölendirici sistemler (Mahrebel, 2006).....	75
Şekil 5.28 Vibrasyon kontrol cihazları.....	75
Şekil 5.29 Sismik yalıtımlı bir binanın giriş kısmı (Oflaz, 2013).....	76
Şekil 5.30 Jet-Grout uygulaması.....	77
Şekil 5.31 Zemin enjeksiyon uygulaması.....	77
Şekil 5.32 Temizleme işleminde kimyasal madde kullanımı (Mahrebel, 2006).....	79
Şekil 5.33 Hasankeyf-Zeynel Bey Türbesi 'nin taşınması.....	80
Şekil 6.1 27 Aralık 1939 Erzincan depremi hasarı (Bozdemir, 2011).....	82
Şekil 6.2 1939 Erzincan depremi ivme kaydı.....	82
Şekil 6.3 27 Aralık 1939 Erzincan depremi: S_{11} maksimum çekme gerilmeleri (kN/m^2).....	83
Şekil 6.4 27 Aralık 1939 Erzincan depremi: S_{22} maksimum çekme gerilmeleri (kN/m^2).....	84
Şekil 6.5 27 Aralık 1939 Erzincan depremi: S_{33} maksimum çekme gerilmeleri (kN/m^2).....	85
Şekil 6.6 27 Aralık 1939 Erzincan depremi: S_{11} maksimum basınç gerilmeleri (kN/m^2).....	86
Şekil 6.7 27 Aralık 1939 Erzincan depremi: S_{22} maksimum basınç gerilmeleri (kN/m^2).....	87
Şekil 6.8 27 Aralık 1939 Erzincan depremi: S_{33} maksimum basınç gerilmeleri (kN/m^2).....	88
Şekil 6.9 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi hasarı.....	89
Şekil 6.10 1999 Kocaeli depremi sırasında Sakarya istasyonundan alınan doğu-batı bileşeni ivme, hız ve yer değiştirme dalga formları (Çeken, 2007).....	90
Şekil 6.11 17 Ağustos Kocaeli depremi: S_{11} maksimum çekme gerilmeleri (kN/m^2).....	91

Şekil 6.12 17 Ağustos Kocaeli depremi: S_{22} maksimum çekme gerilmeleri (kN/m^2).....	92
Şekil 6.13 17 Ağustos Kocaeli depremi: S_{33} maksimum çekme gerilmeleri (kN/m^2).....	93
Şekil 6.14 17 Ağustos Kocaeli depremi: S_{11} maksimum basınç gerilmeleri (kN/m^2).....	94
Şekil 6.15 17 Ağustos Kocaeli depremi: S_{22} maksimum basınç gerilmeleri (kN/m^2).....	95
Şekil 6.16 17 Ağustos Kocaeli depremi: S_{33} maksimum basınç gerilmeleri (kN/m^2).....	96
Şekil 6.17 1999 Düzce depremi hasarı.....	97
Şekil 6.18 1940 Düzce depremi ivme kaydı (Merter ve Uçar, 2015).....	97
Şekil 6.19 12 Kasım 1999 Düzce depremi: S_{11} maksimum çekme gerilmeleri (kN/ m^2).....	98
Şekil 6.20 12 Kasım 1999 Düzce depremi: S_{22} maksimum çekme gerilmeleri (kN/ m^2).....	99
Şekil 6.21 12 Kasım 1999 Düzce depremi: S_{33} maksimum çekme gerilmeleri (kN/ m^2).....	100
Şekil 6.22 12 Kasım 1999 Düzce depremi: S_{11} maksimum basınç gerilmeleri (kN/ m^2).....	101
Şekil 6.23 12 Kasım 1999 Düzce depremi: S_{22} maksimum basınç gerilmeleri (kN/ m^2).....	102
Şekil 6.24 12 Kasım 1999 Düzce depremi: S_{33} maksimum basınç gerilmeleri (kN/m^2).....	103
Şekil 6.25 23 Ekim 2011 Van-Erciş depremi hasarı.....	104
Şekil 6.26 Van - Merkez (6501) istasyonu işlenmiş kaydına ait Doğu-Batı (DB), Kuzey-Güney (KG) ve Düşey (D) bileşenlerinin ivme-zaman ve hız-zaman grafikleri (Akkar vd., 2012).....	105

Şekil 6.27 23 Ekim 2011 Van-Erciş depremi: S_{11} maksimum çekme gerilmeleri (kN/m^2).....	106
Şekil 6.28 23 Ekim 2011 Van-Erciş depremi: S_{22} maksimum çekme gerilmeleri (kN/m^2).....	107
Şekil 6.29 23 Ekim 2011 Van-Erciş depremi: S_{33} maksimum çekme gerilmeleri (kN/m^2).....	108
Şekil 6.30 23 Ekim 2011 Van-Erciş depremi: S_{11} maksimum basınç gerilmeleri (kN/m^2).....	109
Şekil 6.31 23 Ekim 2011 Van-Erciş depremi: S_{22} maksimum basınç gerilmeleri (kN/m^2).....	110
Şekil 6.32 23 Ekim 2011 Van-Erciş depremi: S_{33} maksimum basınç gerilmeleri (kN/m^2).....	111
Şekil 6.33 1940 El Centro depremi hasarı.....	112
Şekil 6.34 1940 El Centro depremi ivme-zaman grafiği (Merter ve Uçar, 2015).....	113
Şekil 6.35 1940 El Centro deprem spektrumları (Celep, 2016).....	113
Şekil 6.36 1940 El Centro depremi: S_{11} maksimum çekme gerilmeleri (kN/m^2).....	114
Şekil 6.37 1940 El Centro depremi: S_{22} maksimum çekme gerilmeleri (kN/m^2).....	115
Şekil 6.38 1940 El Centro depremi: S_{33} maksimum çekme gerilmeleri (kN/m^2).....	116
Şekil 6.39 1940 El Centro depremi: S_{11} maksimum basınç gerilmeleri (kN/m^2).....	117
Şekil 6.40 1940 El Centro depremi: S_{22} maksimum basınç gerilmeleri (kN/m^2).....	118
Şekil 6.41 1940 El Centro depremi: S_{33} maksimum basınç gerilmeleri (kN/m^2).....	119

Şekil 6.42 1995 Japonya-Kobe depremi hasarı.....	121
Şekil 6.43 1995 Kobe depremi ivme kaydı (Merter ve Uçar, 2015).....	122
Şekil 6.44 1995 Kobe depremi: S_{11} maksimum çekme gerilmeleri (kN/m^2).....	123
Şekil 6.45 1940 El Centro depremi: S_{22} maksimum çekme gerilmeleri (kN/m^2).....	124
Şekil 6.46 1940 El Centro depremi: S_{33} maksimum çekme gerilmeleri (kN/m^2).....	125
Şekil 6.47 1940 El Centro depremi: S_{11} maksimum basınç gerilmeleri (kN/m^2).....	126
Şekil 6.48 1940 El Centro depremi: S_{22} maksimum basınç gerilmeleri (kN/m^2).....	127
Şekil 6.49 1940 El Centro depremi: S_{33} maksimum basınç gerilmeleri (kN/m^2).....	128
Şekil 6.50 Deprem hareketinde yapının muhtemel tepkisi (Demir, 2008).....	130
Şekil 6.51 Taban izolasyonlu yapı ile ankastre mesnetli yapı için çizilmiş ivme -periyot grafiği (Evcan, 2012).....	131
Şekil 6.52 Kuvvetli yer hareketi ivme spektrumu(Evcan, 2012).....	131
Şekil 6.53 Kuvvetli yer hareketi yer değiştirme spektrumu (Evcan, 2012).....	132
Şekil 6.54 Periyotda ki artışla artan deplasmanların sönümle azaltılması (Evcan, 2012).....	133
Şekil 6.55 İzole edilmiş yapı parametreleri (Demir, 2008).....	133
Şekil 6.56 Kauçuk izolatör (Demir, 2008).....	142
Şekil 6.57 55 cm ' lik izolatör detayı.....	142
Şekil 6.58 70 cm ' lik izolatör detayı.....	143
Şekil 6.59 40 cm ' lik izolatör detayı.....	143
Şekil 6.60 Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami sismik yalıtımı için yerleştirilen kauçuk izolatör yerleşim şeması.....	143

Şekil 6.61 27 Aralık 1939 Erzincan depremi: S_{11} maksimum çekme gerilmeleri (kN/m^2).....	149
Şekil 6.62 27 Aralık 1939 Erzincan depremi: S_{22} maksimum çekme gerilmeleri (kN/m^2).....	150
Şekil 6.63 27 Aralık 1939 Erzincan depremi: S_{33} maksimum çekme gerilmeleri (kN/m^2).....	151
Şekil 6.64 27 Aralık 1939 Erzincan depremi: S_{11} maksimum basınç gerilmeleri (kN/m^2).....	152
Şekil 6.65 27 Aralık 1939 Erzincan depremi: S_{22} maksimum basınç gerilmeleri (kN/m^2).....	153
Şekil 6.66 27 Aralık 1939 Erzincan depremi: S_{33} maksimum basınç gerilmeleri (kN/m^2).....	154
Şekil 6.67 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi: S_{11} maksimum çekme gerilmeleri (kN/m^2).....	155
Şekil 6.68 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi: S_{22} maksimum çekme gerilmeleri (kN/m^2).....	156
Şekil 6.69 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi: S_{33} maksimum çekme gerilmeleri (kN/m^2).....	157
Şekil 6.70 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi: S_{11} maksimum basınç gerilmeleri (kN/m^2).....	158
Şekil 6.71 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi: S_{22} maksimum basınç gerilmeleri (kN/m^2).....	159
Şekil 6.72 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi: S_{33} maksimum basınç gerilmeleri (kN/m^2).....	160
Şekil 6.73 12 Kasım 1999 Düzce depremi: S_{11} maksimum çekme gerilmeleri (kN/m^2).....	161
Şekil 6.74 12 Kasım 1999 Düzce depremi: S_{22} maksimum çekme gerilmeleri (kN/m^2).....	162

Şekil 6.75 12 Kasım 1999 Düzce depremi: S_{33} maksimum çekme gerilmeleri (kN/m^2).....	163
Şekil 6.76 12 Kasım 1999 Düzce depremi: S_{11} maksimum basınç gerilmeleri (kN/m^2).....	164
Şekil 6.77 12 Kasım 1999 Düzce depremi: S_{22} maksimum basınç gerilmeleri (kN/m^2).....	165
Şekil 6.78 12 Kasım 1999 Düzce depremi: S_{33} maksimum basınç gerilmeleri (kN/m^2).....	166
Şekil 6.79 23 Ekim 2011 Van-Erciş depremi: S_{11} maksimum çekme gerilmeleri (kN/m^2).....	167
Şekil 6.80 23 Ekim 2011 Van-Erciş depremi: S_{22} maksimum çekme gerilmeleri (kN/m^2).....	168
Şekil 6.81 23 Ekim 2011 Van-Erciş depremi: S_{33} maksimum çekme gerilmeleri (kN/m^2).....	169
Şekil 6.82 23 Ekim 2011 Van-Erciş depremi: S_{11} maksimum basınç gerilmeleri (kN/m^2).....	170
Şekil 6.83 23 Ekim 2011 Van-Erciş depremi: S_{22} maksimum basınç gerilmeleri (kN/m^2).....	171
Şekil 6.84 23 Ekim 2011 Van-Erciş depremi: S_{33} maksimum basınç gerilmeleri (kN/m^2).....	172
Şekil 6.85 19 Mayıs 1940 El Centro depremi: S_{11} maksimum çekme gerilmeleri (kN/m^2).....	173
Şekil 6.86 19 Mayıs 1940 El Centro depremi: S_{22} maksimum çekme gerilmeleri (kN/m^2).....	174
Şekil 6.87 19 Mayıs 1940 El Centro depremi: S_{33} maksimum çekme gerilmeleri (kN/m^2).....	175
Şekil 6.88 19 Mayıs 1940 El Centro depremi: S_{11} maksimum basınç gerilmeleri (kN/m^2).....	176

Şekil 6.89 19 Mayıs 1940 El Centro depremi: S_{22} maksimum basınç gerilmeleri (kN/m^2).....	177
Şekil 6.90 19 Mayıs 1940 El Centro depremi: S_{33} maksimum basınç gerilmeleri (kN/m^2).....	178
Şekil 6.91 17 Ocak 1995 Kobe depremi: S_{11} maksimum çekme gerilmeleri (kN/m^2).....	179
Şekil 6.92 17 Ocak 1995 Kobe depremi: S_{22} maksimum çekme gerilmeleri (kN/m^2).....	180
Şekil 6.93 17 Ocak 1995 Kobe depremi: S_{33} maksimum çekme gerilmeleri (kN/m^2).....	181
Şekil 6.94 17 Ocak 1995 Kobe depremi: S_{11} maksimum basınç gerilmeleri (kN/m^2).....	182
Şekil 6.95 17 Ocak 1995 Kobe depremi: S_{22} maksimum basınç gerilmeleri (kN/m^2).....	183
Şekil 6.96 17 Ocak 1995 Kobe depremi: S_{33} maksimum basınç gerilmeleri (kN/m^2).....	184

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 Modelde kullanılan malzeme parametreleri.....	31
Çizelge 6.1 Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami 'ye uygulanan depremlerin analizleri sonucunda elde edilen maksimum çekme ve basınç değerleri	129
Çizelge 6.2 Uniform Building Code (UBC-97)-Sismik Bölge Faktörü.....	135
Çizelge 6.3 Uniform Building Code (UBC-97)-Zemin Profil Tipi.....	135
Çizelge 6.4 Uniform Building Code (UBC-97)-Sismik Kaynak Tipleri.....	136
Çizelge 6.5 Uniform Building Code (UBC-97)-Kaynak Yakınlık Faktörü (N_v)....	136
Çizelge 6.6 Uniform Building Code (UBC-97)-Sismik Katsayı (C).....	137
Çizelge 6.7 Uniform Building Code (UBC-97)-Sönüm Katsayısı (β).....	137
Çizelge 6.8 Uniform Building Code (UBC-97)-Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı.....	138
Çizelge 6.9 Modellenen kauçuk izolatörlerin rijitlik ve akma dayanımı değerleri...	148
Çizelge 6.10 Kauçuk izolatörlerle sismik yalıtılmış Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami'ye uygulanan depremlerinin analizleri sonucunda elde edilen maksimum çekme ve basınç değerleri.....	185

1. GİRİŞ

Tüm insanlığın ortak kültür mirası olan tarihi yapıların, doğal afetler yaşanmadan önce korunması gerekir. Tarihi yapıların korunması ve onarılması için öncelikle yapının strüktürel davranışının bilinmesi coğrafyamızda fazlaca fay hattının bulunmasından ötürü önemlidir. Ülkemizde tarihsel önem taşıyan birçok değerli yapı mevcuttur. Dünya çapında tarihi yapıların korunması ve onarılması için birçok çalışma yapılmaktadır. Ülkemizde de söz konusu eserlerin varlığını sürdürebilmesi amacıyla bu çalışmaların yeterli bilgiye sahip ehil kişilerce yapılması gerekmektedir.

Bu çalışmanın amacı; Bayburt ili merkezinde bulunan, 1913-1915 yılları arasında inşa edilen tarihi Bayburt Yakutiye (Yeni) Camisi 'ni SAP 2000 programında üç boyutlu sonlu eleman modelini oluşturarak dinamik performansını belirlemek ve bazı gerçek deprem kayıtları uygulayarak taşıyıcı sistemin yapısal davranışını irdelemektir. Yapının kendi ağırlığı ile deprem yükleri etkisi altında zayıf ve kuvvetli olduğu yerler tespit edilerek güçlü bir depreme maruz kalmadan önce performansı belirlenmeye çalışılmış, önlem alınması gereken riskli bölgelerin tespit edilmesi hedeflenmiştir.

Bayburt Yakutiye Camisi 'nin bulunduğu bölgenin yerel zemin koşullarının, malzeme dayanımlarının yapının sismik performansına olan etkisinin incelenmesi ve yaşanmış deprem kayıtlarının oluşturulan zemin modeli kullanılarak yapıya etki ettirilmesi, bununla birlikte farklı karakteristik özelliklere sahip deprem kayıtları altında yapının sismik davranışının değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Yapıya kauçuk izolatörler yerleştirilerek izolatörsüz ve izolatörlü yapının gerilme değerleri karşılaştırılmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Bruneau (1995), Los Angeles 'ta meydana gelen 1994 depremi sonrası 450 adet yığma yapıda meydana gelen hasarları ve nedenlerini incelemiş, tarihi bir miras olan bu yapıların güçlendirilmesi gerektiğini belirtmiştir.

Selahiye vd. (1995), tarafından Tarihi Süleymaniye Cami 'nin üç boyutlu sonlu elemanlar modeli oluşturulmuş, çevresel titreşim testi uygulanarak yapının doğal titreşim periyodu bulunmuştur. Camiye yerleştirilen dokuz adet hassas yer hareketi kaydedicisi ile 1994 yılında meydana gelen depremin kayıtlarından faydalanarak aynı dinamik özellikler bulunmuştur. Üç uygulamada da yakın sonuçlar elde edilmiş ve böylece sonuçların güvenilirliği kanıtlanmıştır.

Laurenço (1996), mikro ve makro modelleme teknikleriyle yığma yapıların; doğrusal olmayan davranışlarını incelemiş, kayma ve göçme mekanizmaları hakkında bilgi sahibi olmamızı sağlamıştır.

Koçak (1999), doktora tezinde tarihi anıt ve yapıların korunması, takviyesi ve kuvvetlendirilmesi için yapılması gereken çalışmaları ve yapısal modellemeler ile analizlerin belirlenebilmesi amacıyla Küçük Ayasofya Camii 'ni FEA-LUSAS programında modellemiş, yığma yapıların hesabında dikkate alınması gereken hususları belirtmiştir. Osmanlı ve Bizans yapılarında kullanılan taş, tuğla teknikleri ile duvar yapımlarını, bu duvarlar üzerinde yapılan deneyleri de anlatmıştır.

De Luca vd. (2000), çalışmalarında tarihi yapıların sismik izolasyon ile güçlendirilmesini ele almışlardır. Sao Vincente de Fora Manastırı 'nın tam ölçekli ve sismik izolasyona sahip test modelini oluşturarak yapay sarsıntılarla yapay modelin dinamik performansını test etmişlerdir. Test modelindeki yer değiştirmelerin 24 kat daha az olduğunu ve herhangi bir hasarın oluşmadığı kanıtladıklarını, yapılan bu deneyin tam ölçekli model ile gerçekleştirildiğinden oldukça önemli olduğunu, sismik izolasyonun tarihi eserlere gelecek deprem kuvvetlerini ve deformasyonları etkili bir şekilde azaltabileceğini belirtmişlerdir.

Laurenço (2004), 1698 yılında Portekiz 'de inşa edilen Queterio Kilisesi 'nin malzeme özelliklerini deneysel olarak belirlemiş, yapı duvarlarında küçük sondajlar açarak duvar içine yerleştirdiği baroskopik kameralar yardımı ile yapı içinde meydana gelen hareketleri gözlemleyerek yapının güçlendirme projesini hazırlamıştır.

Ramos ve Laurenço (2004), çalışmalarında tarihi yapıların korunabilmesi için sismik güvenliğinin birincil ihtiyaç olduğunu ve bu tür yığma binaların yıkılmasının öncelikle dış duvarların devrilmesi ile gerçekleştiğini belirtmişlerdir. Portekiz-Lizbon 'da bulunan tarihi bir yapının sonlu eleman modelini oluşturarak dinamik ve statik analizleri gerçekleştirmiş, uygun güçlendirme metotlarını önermişlerdir.

Smirnov vd. (2004), yapmış oldukları çalışmada Rusya 'da ve eski SSCB 'de sismik izolasyon uygulamalarını araştırmış, tarihi eserlerde uygulanabilecek bu izolasyonun aşamalarını açıklamışlardır. Örnek olarak Sibiry'a 'da bulunan tarihi bir banka binası ve kiliseyi ele almışlardır. Banka binasına eklenen çelik-kauçuk desteklerin takılması için tüm adımları aşama aşama anlatmışlardır. Kauçuk izolatörlerle sismik izolasyonun bina esnekliğini artırarak deprem enerjisini dağıttığını ve yapının deprem anında güvenli bir şekilde yatay yer değiştirmesinin tarihi eserleri geleceğe güvenle taşıyacağını belirtmişlerdir.

Bayraktar (2005), " Tarihi Yığma Yapıların Depreme Karşı Güçlendirilmesi " konulu çalışmasında yapıların sismik güçlendirmesi yapılırken uyulması gereken hesap ve yapı kurallarını detaylı bir şekilde açıklamıştır. SGM 365 metodu ve alternatif önerilerden de bahsetmiştir.

Kaya vd. (2005), çalışmalarında tarihi yığma bir yapı olan Süleymaniye Camii 'ni LUSAS paket programında sonlu elemanlar modelini oluşturarak dinamik analizler yapmışlardır. Yapıya uygulanan titreşim testleriyle yapının doğal frekansını ve mod şekillerini, malzeme özelliklerini ise tahribatsız malzeme testleri ile belirlemişlerdir.

Ural (2005), Kocaeli Deprem Sempozyumu' nda sunmuş olduğu çalışmada Trabzon 'un Maçka ilçesi yakınlarındaki Coşandere (Kınalı) Köprüsü 'nü SAP 2000 programında üç boyutlu sonlu eleman olarak modellemiş, yapının kendi ağırlığından

dolayı oluşan gerilme ile şekil değiştirmeleri bulmuştur. Sonrasında yapıya 1940 El Centro depreminin ivme kaydını etkilerle maksimum gerilmenin kemer yüksekliğinin orta bölgesinde olduğunu belirtmiştir.

Artar (2006), hazırlamış olduğu yüksek lisans tez çalışmasında Osmanlı mimarisinin ilk başyapıtlarından biri olarak kabul edilen, 1543-1548 yılları arasında İstanbul'da inşa edilen Şehzade Mehmet Cami'nin Sap 2000 programında üç boyutlu sonlu elemanlar modelini oluşturup birçok deprem kaydı altındaki dinamik performansını incelemiştir.

Mahrebel (2006), yüksek lisans tezinde tarihi yapı türleri, yığma yapıda kullanılan malzemeler, taşıyıcı sistem özellikleri, deprem güvenliğinin incelenmesi, oluşan hasar türleri, onarım ve güçlendirme yöntemleri konularını ele almıştır.

Özen (2006), yüksek lisans tez çalışmasında tarihi yığma bir yapı olan Hasankeyf Kapısı 'nı Sap 2000 ve ANSYS paket programlarında modelleyerek bu iki yazılımı karşılaştırmak için gerilmeleri, şekil değiştirmeleri ve mod şekil değiştirmeleri yönünden incelemiştir. Sonuç olarak iki yazılımın birbirine çok yakın değerler verdiğini açıklamıştır.

Çelik (2007), çalışmasında tarihi yapı taşıyıcı bileşenlerinde ortaya çıkması olası pek çok yapısal hasarın kaynağını incelemiş, bu hasarların giderilmesi yönünde etkin çözüm önerileri sunmuştur. Tarihi yapılar için geliştirilen onarım ve güçlendirme yöntemlerini inceleyerek restorasyon ve iyileştirme için kullanılabilir temel bir başvuru rehberi niteliği taşıyan çalışmasını hazırlamıştır.

Mazlıgüney (2007), çalışmasında tarihi yığma bir yapı olan ve İstanbul'da 1828 yılında inşa edilen Kuleli Askeri Lisesi 'ni Sap 2000 programında modelleyerek yapıdaki problemleri tespit etmiş ve çözüm önerilerinde bulunmuştur.

Sesigür vd. (2007), çalışmalarında tarihi yapılardaki taşıyıcı bileşenleri, hasar bileşenlerini, onarım ve güçlendirme tekniklerini incelemiştir.

Dabanlı (2008), yüksek lisans tezinde 1851 yılında Sultan Abdülmecit tarafından İstanbul 'da yaptırılan Hırka-i Şerif Cami 'nin Sap 2000 programı yardımı ile üç boyutlu sonlu eleman modelini oluşturarak statik analiz, modal analiz ve davranış spektrumu analizlerine tabii tutmuştur. Son olarak yapı dayanımı için gerekli çözümleri sunmuştur.

Doğangün ve Ural (2009) yaptıkları çalışmada MATLAB programı kullanılarak kodlanan FEMMAS-L adlı sonlu elemanlar programının yığma yapı analizini nasıl gerçekleştirdiğini ve bu program ile gerçekleştirilen analizin hata payının ihmal edilebilir seviyede olmasının (en fazla 0,01 mm hata payı) programın geçerliliğinin ve doğruluğunun kanıtı olduğunu belirtmişlerdir.

Kara (2009), yüksek lisans tez çalışmasında 5 adet tarihi yığma yapının mevcut durumlarının tespitini DBYBHY 2007 'ye göre yapmış, yapılarda kullanılan güçlendirme yöntemleri hakkında bilgiler vermiştir.

Arıcan (2010), yüksek lisans tezinde Isparta 'da bulunan yedi adedi tarihi yığma yapı olmak üzere toplamda 42 adet yığma yapının Sap 2000 programında üç boyutlu sonlu elemanlar modellerini oluşturarak 20 farklı özelliğe sahip olan deprem verileri ile dinamik analizlerini gerçekleştirmiştir. Belirlenen değerleri karşılaştırmalı olarak değerlendirip yorumlamıştır. Yapı modellerinin tümünden elde ettiği sonuçlar ise en büyük yer değiştirmenin ve taban kesme kuvveti değerlerinin en büyük ilk üç yer ivmesine sahip olan Cape Mendocino, Landers ve Morgan Hill depremlerine ait olduğudur.

Bakır (2010), yüksek lisans tezinde Ankara 'da bulunan Selçuklu mimarilerinden olan Sultan Alaaddin Cami 'nin rölevesini çıkararak restorasyon yapılması, geleceğe güvenle aktarılması için gereken araştırmayı yapmış ve projeleri hazırlamıştır.

Dalkılıç ile Halifeoğlu (2010), yapmış oldukları çalışmada Akkoyunlular Dönemi 'nde inşa edilen Mardin Teke Cami (Şah Sultan Hatun Medresesi) ve çevrede bulunan birçok tarihi yığma köprülere, tarihi dokusuna zarar verilmeden uygulanan restorasyon örneklerini ve yığma ve betonarme kısımlardan oluşan Kuleli Askeri

Lisesi 'nin SAP 2000 programı kullanılarak hazırlanan güçlendirme projesini detaylı bir şekilde açıklamışlardır.

Doğu (2010), yüksek lisans tezinde klasik dönem Osmanlı İmparatorluğu yapılarında sıklıkla kullanılan çift cidarlı moloz dolgulu tarihi taş duvarların düşey ve duvar düzlemi doğrultusunda etkiyen yatay yükler (deprem yükleri) altındaki davranışlarını deneysel olarak incelemiştir.

İspir (2010), doktora tezinde İstanbul-Beşiktaş 'ta bulunan 1875 yılında Sultan Abdülaziz tarafından yapılan Akaretler Sıraevler Grubu 'nun taşıyıcı duvarlarından alınan numuneler üzerinden deneysel çalışmalar yapmıştır. Deneysel neticesinde, kayma ve basınç dayanımları ile deformasyon özellikleri belirlenmiştir. Sonlu elemanlar analizinin, numunelerin ilgili dayanımları karşıladığı anlaşılmıştır.

Martelli ve Forni (2010), çalışmalarında İtalya başta olmak üzere dünya çapında uygulanan sismik izolasyon yöntemini incelemiştir. Elde ettikleri son bilgilere göre ABD 'de sismik izolasyon yöntemi ile izole edilmiş yapıların, tarihi yapılar da dahil olmakla birlikte yaklaşık 200 yapı olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmada örnek olarak tarihi yığma bir yapı olan San Fransisco 'daki Asya Sanat Müzesi 'nin İtalyan mimar Gae Aulenti 'nin tasarımına göre sismik izolatörlerle güçlendirilmesini ele almışlardır. Los Angeles Kaliforniya Üniversitesi 'ndeki 6 katlı tarihi yığma bir yapı olan Kerchoff Solonu da çalışmada sismik izolasyon yönteminin uygulandığı yapılar arasında gösterilmiştir.

Örmecioğlu (2010), çalışmasında tarihi yapılarda oluşan bozuklukları tespit etme yöntemlerini incelemiş, yapısal güçlendirme projelerinde kullanılan yöntemleri mevcut tüzük ve yönetmeliklere temel olan ilkelere dayalı olarak değerlendirmiş ve bu konuda çalışan teknik elemanların eğitim görmeleri gerektiğini vurgulamıştır.

Soyluk (2010), doktora tezinde tarihi yığma bir yapı olan Şehzade Mehmet Cami 'ni Sap 2000 programı ile modellemiş ve sismik izolasyon uygulamasının; ankastre mesnetli, kurşun kauçuk mesnetli ve yüksek sönümleyici kauçuk mesnetli olmak üzere üç ayrı modelin dinamik davranışlarını birbirleriyle karşılaştırmış, dinamik

analizleri ise maksimum yapı tepkilerini veren Davranış Spektrum yöntemiyle gerçekleştirmiştir. Sonuç olarak sismik izolasyonun yapının tarihi dokusuna zarar vermeden dinamik performansını iyileştirdiğini belirtmiştir.

Türker (2010), hazırlamış olduğu yüksek lisans tezinde tarihi yığma yapıları inceleyip tanıtmış, Türk Deprem Yönetmeliği 'nde belirtilen esaslara uyarak EXCEL formatında bir bilgisayar programını oluşturmuştur. Bu program ile İstanbul Üniversitesi Eczacılık Fakültesi binasının deprem analizlerini gerçekleştirmiştir. Yapıya ait malzeme özelliklerini belirlemek amacıyla mevcut bina ile aynı dönemde (19. yy) ve aynı yapım tekniğiyle inşa edilmiş Sultan Abdülmecit Evi ve Ali Fakih Sıbyan Mektebi 'nden alınan numunelerle laboratuvar ortamında deneyler yapmıştır. Son olarak SAP 2000 programında modellediği tipik bir yığma duvarın davranışını analiz ederek kayma emniyet gerilmelerinin aşılmasını kat yüksekliklerinin fazla olmasına ve duvar kalınlıklarının yetersiz olmasına bağlamıştır.

Akdeniz (2011), doktora tezinde tarihi yığma yapı olan Malatya Ulu Cami 'ni ANSYS paket programında modelleyerek Bingöl (2003) depremi ivme kayıtları altında analiz etmiştir. Analizler sonucunda çatlakların çekme gerilemelerinin büyük değerler aldığı duvar-kemer birleşim bölgelerinde, duvar birleşim bölgelerinde ve duvar-temel birleşim ara yüzeyinde yoğunlaştığını, minarede ise genellikle minare orta kısmında ve minare-cami duvarı birleşim bölgesinde daha çok meydana geldiğini tespit etmiştir.

Almaç (2011), doktora tez çalışmasında 1985 yılında Unesco 'nun Dünya Mirası Listesi'ne giren ve 1960'larda yapılan onarım çalışmaları sonrası bakımsız kalmış İstanbul 'daki bir Bizans yapısı olan Zeyrek Camii 'nin (Pantokrator Kilisesi) taşıyıcı sistem analizini ANSYS programı kullanılarak gerçekleştirmiştir.

Clemente ve Stefano (2011), çalışmalarında tarihi bir yapı olan İtalya-Marquerita Sarayı 'nın yenilenmesi için öncelikle çevresel titreşim testleri yapmışlardır. Elde ettikleri sonuçlar neticesinde yapının güçlendirilmesi için temel izolasyonun en uygun çözüm olacağına karar vermişlerdir ve tarihi dokuya zarar vermeyeceğini belirtmişlerdir.

Çavuş (2011), çalışmasında Sap 2000 programında prototip tonoz modelleri üreterek üç farklı çelik kontrüksiyon ile sağlamlaştırma önerileri hazırlamıştır. Ayrıca Tokat 'ta bulunan tarihi yığma bir yapı olan Deveci Hanı 'nın üç boyutlu sonlu elemanlar modelini ilgili programda oluşturmuş, analiz sonrası güçlendirme önerilerini sunarak, çelik ile güçlendirme yönteminin geleneksel malzemeye göre daha emniyetli olduğunu belirtmiştir.

Eisenberg vd. (2011), çalışmalarında Sibiryaya, Uzak Doğu, Kırım, Kafkaslar, Orta Asya ve Rusya Federasyonu 'nun deprem bölgelerinde 500 'den fazla binanın ve tarihi anıtın sismik izolasyon ile güçlendirildiğini belirtmişlerdir. Irkutsk şehrindeki iki tarihi kilisenin sismik izolasyon uygulaması aşamalarını açıklamışlardır.

Köseoğlu (2011), yüksek lisans tezinde 16. yüzyıl klasik Osmanlı mimarisinin tek kubbeli hasarlı bir camisi olan ve Ankara 'da bulunan Cenabi Ahmet Paşa Cami 'nin SAP 2000 programında sonlu elemanlar modelini oluşturup, caminin kullanıma kapanmasına sebep olan hasarların ana nedenlerini araştırmıştır. Araştırmanın sonucunda zemin oturmasına bağlı olarak hasarların meydana geldiğini, sert kaya zemine kadar mini fore kazık uygulamasının gerekli olduğunu açıklamıştır.

Melkumyan vd. (2011), yapmış oldukları çalışmada yığma bir apartmanı, tarihi yığma bir yapı olan okul binasını ve 178 yıllık Romanya-Iasi Belediye Binası yapılarını ele alarak sismik izolasyon yöntemiyle yapıların depreme karşı dinamik performanslarını incelemişlerdir. Iasi Belediye Binası 'nı SAP 2000 programında modelledikten sonra analizler yapıp yapının güçlendirilmesi için uygulanacak sismik izolasyonlu lamine kauçuk çelik rulmanların yapının depreme karşı dinamik performansını arttırdığını belirtmişlerdir.

Sayın vd. (2011), çalışmalarında Malatya 'da bulunan Tarihi Uzunok Köprüsü 'nü ANSYS paket programında üç boyutlu sonlu eleman olarak modelleyip sismik analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Sonrasında 2003 Bingöl Depremi ivme kayıtları altında dinamik performansını incelemişlerdir.

Şeker (2011), tarafından doktora tezi olarak hazırlanan çalışmada cami yapım teknikleri, kullanılan malzemeler ve özellikleri incelenmiştir. Mimar Sinan tarafından yapılan 28 adet tarihi caminin ANSYS programında üç boyutlu modelleri oluşturularak statik ve dinamik analizleri yapılmıştır.

Amman (2012), yüksek lisans tezinde tarihi yığma yapılarda kullanılan malzemeler ve özelliklerini, meydana gelen hasarların onarımı ve güçlendirilmesini, restorasyon çalışmalarını inceleyerek tarihi yapıları koruma önerileri sunmuştur.

Armağan (2012), yüksek lisans tezinde tarihi yapıların yapım tekniklerini, kullanılan yapı elemanlarının özelliklerini ve kullanılmış olan mühendislik ilkelerini incelemiş, tarihi yapıların yapısal davranışlarının nasıl anlaşılabileceğini, tarihi yapılarda kullanılan kemer, tonoz, kubbe elemanlarına ait özellikleri SAP 2000 programında oluşturduğu beşer model üzerinde araştırmıştır.

Betti ve Galano (2012), tarafından yapılan çalışmada İtalya'nın Pescia şehrindeki Vicarious Sarayı üzerinde yapılan statik analizler sonucu yapının düşey yüklere karşı dayanımını yeterli olduğu belirlenmiş, sismik analiz yapılırken global statik itme analizi ile basitleştirilmiş kinematik kombinasyon yaklaşım metotları uygulanmıştır. Analizler sonucunda yapının zayıf olan bölgeleri tespit edilmiştir.

Can vd. (2012), çalışmalarında düzensiz geometrik şekle sahip tarihi yığma yapıların sismik davranışını irdelemişlerdir. Bu amaçla Küçük Mustafa Paşa Hamamı'nı SAP 2000 programında modelleyip analiz sonucunda yapının emniyetli olduğu kanaatine varmışlardır.

Can ve Ünay (2012), yapmış oldukları çalışmada, yapı mühendisleri tarafından geliştirilen sayısal modellerin ve yapılan hesapların mimarlar, restorasyon uzmanları ve mimarlık tarihçileri tarafından da kolaylıkla anlaşılmasını amaçlamışlardır. Çalışmada tarihi yapıların yapısal performansı ve dayanımını belirleyebilmek için de tavsiyelerde bulunmuşlardır.

Çalık vd. (2012), çalışmalarında tarihi yığma bir yapı olan Trabzon Merkez Hacı Kasım Muhittin Camii taş minaresinin yapısal güvenliğini belirlemek ve restorasyonu için sonlu eleman modelini SAP 2000 programında hazırlamışlardır. Minarenin yapısal davranışının belirlenebilmesi için Operasyonel Modal Analiz yöntemini kullanmışlardır ve bu amaçla 6 adet ivmeölçeri minare taş merdivenin çekirdek kısmına monte etmişlerdir. Elde ettikleri veriler doğrultusunda analizleri yapı ağırlığı, deprem etkisi, rüzgar etkisi, sıcaklık değişimleri durumlarına göre Modal Analiz yöntemi ile yapmışlardır. Restorasyonun yapıldığını varsayarak onarılmış modelin malzeme özelliklerini revize edip yeniden analizler gerçekleştirmişlerdir.

Demir (2012), yüksek lisans tez çalışmasında tarihi yapılarımızda sıklıkla karşılaşılan çift cidarlı taş yığma duvarların düzlem içi doğrultusunda etkiyen yükler altındaki yapısal davranışını deneysel ve teorik olarak numune duvarlar üretip laboratuvar ortamında, mikro modelleme yaklaşımı ile ABAQUS programında oluşturduğu sonlu eleman modelini kullanarak test etmiştir.

Durutürk (2012), yüksek lisans tezinde Isparta ili Yalvaç ilçesinde 1912 yılında inşa edilen tarihi yığma bir yapı olan Hamidiye Cami 'ni SAP 2000 programında modelleyip statik ve dinamik analizler gerçekleştirmiştir. Analiz sonuçlarına göre boşluk oranının fazla olduğu kotlarda basınç ve kayma gerilmelerinin maksimum olduğunu, maksimum gerilmelerin taşıyıcı taş duvarın birleşim bölgelerinde ve kapı-pencere boşluklarının bulunduğu yüzeylerde olduğunu belirlemiştir. Yapının günümüze kadar ulaşmasının sebebini, Düzce (1999) depremi ivme kaydını kullanarak gerçekleştirmiş olduğu analiz sonucuna göre, kat yüksekliğinin az oluşu, yapının rijit taş duvarlarına ve üzerindeki çatının ahşap oluşuna bağlamıştır. Sonuç olarak yapının deprem yönetmeliğine göre güvenli olduğu kanaatine varmıştır.

Kuruşcu (2012), doktora tezinde yığma yapıların duvar ve temellerinde zemin-üstü yapı etkileşimini üç boyutlu yapısal analizlerle incelemiştir. Makro modelleme yaklaşımı ile duvarlarda doğrusal olmayan malzeme davranışını temel alan malzeme bilgilerini de irdelemiştir.

Ocakcan (2013), yüksek lisans tezinde 18. yüzyılda inşa edilen I. Mahmut Kütüphanesi 'nin yapım tekniklerini göz önüne alarak yapıda meydana gelen bozulmaları ele almış ve 2008-2012 yılları arasında yapılan restorasyon uygulaması hakkında da bilgiler vermiştir.

Çalık vd (2013), yapmış oldukları çalışmada tarihi eserlerin restorasyonunun yapısal davranışına nasıl etki ettiğini belirlemek amacıyla Rize Merkez Büyük Gülbahar Camisi 'nin restorasyon öncesi ve sonrası durumunu dinamik karakteristiksel Çevresel Titreşim Testi ile deneysel olarak belirlemişlerdir.

Çavuş (2013), tarafından yapılan çalışmada tarihi yığma yapıların restorasyon çalışmalarında kullanılan yeni malzemelerin geleneksel malzeme ile birlikte kullanımından dolayı ortaya çıkan sorunlar üzerinde durulmuş ve örnek yapı olarak Tarihi Niksar Kulak Kümbeti SAP 2000 programında modellenerek yapının deprem altındaki sismik davranışı incelenmiştir. Yapılan analizler sonucunda yapının depreme karşı performansının iyi olduğu gözlemlenmiştir.

Erdek vd. (2013), çalışmalarında 1224 'te Selçuklular döneminde inşa edilmiş Tarihi Malatya Ulu Cami 'nin sismik davranışını incelemişlerdir. Yapıyı ANSYS programında üç boyutlu olarak modelleyip doğrusal ve doğrusal olmayan analizler yapmışlardır. Sismik etki olarak; Türk Deprem Yönetmeliği (TDY-2007) tasarım spektrumuna uyumlu yapay deprem ivme kayıtlarını dikkate almışlardır.

Laurenço (2013), yapmış olduğu çalışmada mikro modelleme ve hemojenizasyon tekniklerinden bahsetmiştir. Avrupa yönetmeliklerinin (Eurocode 8) bazı düzenlemelere ihtiyacı olduğu kanaatine varmıştır. Elde edilen sonuçların yapının davranışını anlamada yardımcı olacağını fakat karmaşık yığma yapılarda doğrusal olmayan analiz yerine kinetik metoda göre limit analiz yapmanın daha emniyetli olduğunu açıklamıştır.

Oğuz (2013), doktora tezinde Antalya 'da bulunan Myra–Andriake limanında; Roma, Bizans, Selçuklu dönemlerinde inşa edilmiş sekiz adet yapıda kullanılan taş, tuğla ve harç gibi malzemeleri, deneysel olarak incelemiş ve karakteristik özelliklerini

belirlemiştir. Son olarak özgün malzemeye uygun özelliklerde yeni bir harç önerisi sunmuştur.

Pergel (2013), çalışmasında tarihi yığma bir yapı olan Amasya Taşhan'ı SAP 2000 programında modelleyerek statik ve dinamik analizleri yaptıktan sonra uygun güçlendirme yöntemlerini açıklamıştır.

Chamaky (2014), yüksek lisans tez çalışmasında tarihi yığma yapıların sismik güçlendirmesi yapılırken uyulması gereken hesap ve tasarım kurallarını detaylandırmıştır. Değişik tipteki tarihi yığma yapıların her biri için kendisine uygun güçlendirme prensiplerini ele almıştır.

Korkmaz vd. (2014), “ Rize Merkez Kurşunlu Camisi ’nin deprem davranışlarının incelenmesi “ isimli çalışmalarında SAP 2000 programında ilgili tarihi yığma camiyi modelledikten sonra Cape Mendocino, Düzce ve Landers depremlerini uygulayarak sonlu elemanlar yöntemi ile yapının deprem performansını belirlemişlerdir. Doğrusal analizler sonucunda Düzce depreminde 271,53 mm değeri ile en fazla yer değiştirmenin, Landers depreminde ise 55,21 mm değeri ile en az yer değiştirmenin meydana geldiği görülmüştür. Cape Mendocino depremi yer değiştirme değerleri iki deprem arasında yer almıştır. Gerilme değerleri incelendiğinde ise en büyük gerilme değerinin yine Düzce depreminde 10,672 MPa, en düşük gerilme değerinin ise Landers depreminde ve 2,151 MPa olduğu görülmektedir. Analizlerden elde edilen yer değiştirme ve gerilme değerleri incelendiğinde Düzce depremi değerleri diğer depremlere kıyasla daha büyük çıkmıştır. Değerler arasındaki farkın depremlerin tanımlanmasında önemli rol oynayan; etkin yer ivmesi, odak noktası uzaklığı ve yer hızındaki fark nedeniyle ortaya çıktığını düşünmektedirler.

Utkan (2014), yapmış olduğu çalışmada Adana ’da bulunan tarihi Yeni Cami (Abdürrezzak Antaki) ve Camili Köyü Camisi ’ni ele alarak tarihi yapı temelleri ve bu temellerin yapım teknikleri ile tarihi yapılarda karşılaşılan zemin ve temel problemleri üzerine durmuş, bu problemlerin çözümü için kullanılan zemin iyileştirme yöntemlerini incelemiştir. Ayrıca Yeni Camii restorasyonunda inşa edilen fore kazıkları ve Camili Köyü Camii restorasyonunda inşa edilen betonarme istinat

duvarı, PLAXIS programında sonlu elemanlar yöntemini kullanarak modellemiş ve gerekli analizleri yapmıştır. Çalışma sonucunda enjeksiyon basıncının sürekli kontrol edilmesi durumunda, jet-grout metodunun tarihi yapı temellerinin iyileştirilmesinde herhangi bir hasara sebep olmadan uygulanabileceğini açıklamıştır.

Bayülke vd. (2015), çalışmasında 2011 Simav Depremi 'nde hasar gören camilerde deprem sonrası hasarlı durumda ve onarım-güçlendirme uygulamalarının tamamlanması sonrasında, dinamik özellikleri çevresel titreşim testi ile ölçmüştür. Sonuç olarak uygulanan çatlakların doldurularak kapatılması ve dikilmesi gibi onarım-güçlendirme yöntemlerinin rijitliği ve dayanımın artmasına katkı sağladığını belirtmiştir.

Çal ve Şahin (2015), çalışmalarında Sultan Abdülmecit tarafından yapılan İstanbul-Beşiktaş 'ta bulunan Ortaköy Büyük Mecidiye Camii 'nin sayısal modelini oluşturarak yapısal performansını belirlemek amacıyla Kocaeli, Landers ve Nortridge depremlerinin ivme kayıtlarını kullanarak analizler gerçekleştirmişlerdir. Analiz sonuçlarında yapıda en fazla zorlanan kesit ve bölgeler belirlenmiş, büyük bir depremin oluşması ile yapıda büyük çatlaklar ve hasarların meydana gelebileceğini öngörmüşlerdir.

Değirmenci vd. (2015), çalışmalarında tarihi yığma yapıların güçlendirilmesinde FRP malzemelerinin kullanımına değinmişlerdir.

Düzgün vd. (2015), “ Zahit Efendi Camisi'nin Sonlu Elemanlar Analizi ile Taşıyıcı Sistem Performansının Belirlenmesi “ adlı çalışmalarında Bayburt merkezinde yer alan, 1515 yılında inşa edilen ilgili camiyi SAP 2000 programını kullanarak statik ve dinamik analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Tarihi yığma bir yapı olan camiye Erzincan ve Erciş depremleri uygulandığında meydana gelen yer değiştirme ve gerilme değerlerinin 2007 Deprem Yönetmeliği 'nde kabul edilen emniyet değerlerinin altında olduğu, Düzce depremi uygulandığında ise meydana gelen yer değiştirme ve gerilme değerlerinin bu emniyet değerlerinin üstünde olduğu ve risk oluşturabileceği görülmüştür.

Düzgün vd. (2015), yapmış oldukları çalışmada Bayburt ili merkezinde bulunan tarihi Ahmet-i Zencani Kümbeti 'nin üç boyutlu sonlu elemanlar modelini SAP 2000 programında oluşturarak yapıya ait taşıyıcı sistemin performansını belirlemek amacıyla yapının statik ve dinamik analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak yapının yer değiştirme ve gerilme değerlerinin literatürde alınan emniyet değerlerinin altında olduğu görülmüştür.

Hökelekli (2015), doktora tezinde tarihi Manisa Hafza Sultan Camii 'ni ABAQUS programında Sonlu Elemanlar Modelini (SEM) oluşturup 1999 Kocaeli depremi ivme kayıtlarını kullanarak yapının dinamik ve statik analizlerini gerçekleştirmiştir. Analiz sonuçlarını detaylı bir şekilde açıklamıştır.

Karabörk ve Çelik (2015), çalışmalarında farklı metal bağlantı elemanlarının tarihi yığma duvarların kayma dayanımına etkisini araştırabilmek için üç farklı bağlantı elemanı (kenet) geliştirmişlerdir. Kenet elemanları ve yapay Horasan harcı kullanılarak taş duvar imal etmişlerdir. Bu duvara diyagonal basınç deneyi yaparak kenet sistemlerin duvarın kayma dayanımına etkisini ölçmüşlerdir. Çalışma sonunda geliştirilen yeni metal bağlantı elemanlarının yığma taş duvarın kayma dayanımını ve sünekliğini arttırdığı görülmüştür.

Koç (2015), yüksek lisans tezinde hasara uğramış tarihi taş kemerlerin FRP ile güçlendirilmesi kapsamında güçlendirme tekniklerinin kemer davranışı üzerindeki etkisini araştırmıştır. Sonuç olarak FRP malzemesinin dayanımını en az %24,83 arttırdığını ve aynı zamanda kemer derzlerinin yalnızca epoksi reçinesi ile güçlendirilmesinin taş kemer kapasitesini önemli oranda arttırdığını laboratuvar ortamındaki deneyleri ile kanıtlanmıştır.

Koçyiğit (2015), çalışmasında Tuna Nehri üzerine kurulmuş olan Edirne Sarayı'nda bulunan Fatih Köprüsü 'nü SAP 2000 programı ile üç boyutlu sonlu elemanlar modelini oluşturarak 15. yüzyılda yapılan bu yapıyı geometri ve malzeme özelliklerine bağlı olarak analiz etmiştir.

Kuran (2015), çalışmasında tarihi yığma yapıların lineer elastik analizinde kullanılan deprem yükü azaltma katsayısını (R_a) irdelemek amacıyla Amerika Birleşik Devletleri, Avrupa Birliği, İtalya ve Yeni Zelanda gibi deprem tehlikesi yüksek olan gelişmiş ülkelerdeki yönetmelikleri karşılaştırmış ve Deprem Azaltma Katsayısı'nın ne olması gerektiği hakkında bilgiler vermiştir.

Menceloğlu ve Okan (2015), çalışmalarında tarihi eserlerin mikroorganizmalara karşı korunabilmesi için etkin maddesi kuarterner amonyum bileşiği olan bir kaplama malzemesi geliştirmişlerdir.

Mumyalmaz (2015), yüksek lisans tezinde Afyon'da bulunan tarihi Gedik Ahmet Paşa Camisi'ni ANSYS WORKBENCH programı ile sonlu eleman modelini oluşturmuş eşdeğer deprem yükü hesap yöntemine göre deprem yüklemeleri yapmıştır. Deprem yüklemesi sonrasında yapıda oluşabilecek gerilme ve yer değiştirmelerin maksimum, minimum olduğu alanları belirtmiştir.

Orhan ve Özyazıcıoğlu (2015), yapmış oldukları çalışmada tek açıklıklı dairesel kâgir kemer köprülerin limit analizini alt-limit teoremine göre göçme yüklerini belirlemeye yönelik MATLAB programında bir algoritma geliştirmişlerdir. Örnek yapı olarak İngiltere'de bulunan tek açıklıklı Prestwood Köprüsü'nü analiz etmişlerdir. Analiz sonucunda programın gerçek değerlere yakın değerler verdiği görülmüştür.

Özden vd. (2015), " Tarihi L'union Han'ın Depreme Karşı Güçlendirilmesi " adlı çalışmalarında ilgili çok katlı yığma yapıyı kendi ilk tasarım prensibine mümkün olan en az müdahale ile deprem anında oluşabilecek gerilmeleri karşılayabilecek şekilde güçlendirebilmek için yapılacak olan güçlendirme uygulamasını belirlemek adına yapıyı SAP 2000 programında modellemişlerdir.

Özden vd. (2015), çalışmalarında tarihi Tokat Yazmacılar Han'ın depreme karşı güçlendirilmesi kapsamında cephe duvarlarındaki deformasyonunu sınırlamak amacıyla çelik lamalar, tonozlardaki ve duvarlardaki gerilmeleri düzgün bir şekilde dağıtarak genliklerini azaltmak için karbon lifli kumaş, ahşap katın yüklerini alt kata

doğru aktarılabilmesi için de elik makas uygulaması gibi güçlendirme yöntemleri önermişlerdir.

zkaya vd. (2015), çalışmalarında Erzurum-Tortum 'da bulunan tarihi Kireçli Köprü'nün dinamik performansını belirlemek için ANSYS paket programında üç boyutlu sonlu eleman modelini oluşturup, köprü üzerine ivmeölçerler aracılığıyla çevresel titreşimler ve yaya yürüyüşleri ile yapının doğal frekanslarını ve mod şekillerini deneysel ölçüm verileriyle karşılaştırmışlardır. Yapıya 1992 Erzincan deprem kayıtları uygulanarak analiz gerçekleştirmişlerdir. Analiz sonucunda en büyük yer değiştirmenin yapının orta noktasında meydana geldiği gözlemlenmiştir.

Serhatoğlu ve Livaoğlu (2015), yapmış oldukları “ Tarihi Molla Arap Cami Minaresinin Dinamik Karakteristikleri ve Deprem Analizi “ konulu çalışmalarında Bursa ilinde yer alan ilgili camii minaresinin dinamik performansını modal analiz yöntemi ile belirlemiş, olası depremlere karşı yapısal davranışını irdelemişlerdir. Bu bağlamda Bursa ilinde yer alan tarihi Molla Arap Cami ve tarihi Muradiye Cami minarelerine evresel Titreşim Testi uygulayarak tarihi yığma minarelerin dinamik karakteristikleri analiz edilmiştir. Sonuç olarak minarelerin en çok hasar aldığı kısımların geçiş elemanı-gövde, şerefe-petek gibi eleman kesitlerinin değiştiği bölümler olduğu ve minarelerin sonlu elemanlar modelinin yapıyı oldukça iyi temsil ettiği görülmüştür.

şeker vd. (2015), çalışmalarında ANSYS paket programıyla üç boyutlu sonlu eleman modelini oluşturmuş oldukları tarihi Erzurum Lala Paşa Camii 'nin statik ve dinamik performansını araştırmışlardır. Yapılan analizler sonucu caminin kritik yerinin asıl kubbe ve kasnağı ile kubbeyi taşıyan askı kemer sisteminin mesnetleri olduğunu, zaman tanım alanı yöntemiyle yapılan dinamik çözümlemelere göre ise caminin kritik yerlerinin asıl taşıyıcı ayakların alt kesitleri, pencere kenarları ve kk kubbeler olduğunu, açıklamışlardır.

Tetik (2015), yüksek lisans tezinde İstanbul 'da bulunan şeyh Süleyman Mescidi 'ni SAP 2000 programında modellemiş, analiz sonuçlarına göre güçlendirme önerilerinde bulunmuştur.

Yadollahi ve Benli (2015), çalışmalarında farklı yer hareketi ile tarihi yığma yapı sistemlerinin depreme dayanıklı tasarımı veya değerlendirilmesi için bir metod sunmuşlardır. Tarihi yığma yapıların afet risklerinin azaltılması için kullanılacak statik-itme (pushover) tekniğini de anlatmışlardır.

Yazıcı (2015), Mengücekoğulları tarafından M.S. 1228 yılında inşa edilen Sivas Divriği Ulu Camii 'ni ve Darüşafakası 'nı SAP 2000 programında modelleyerek yapının Eşdeğer Analizini, Modal Analizini ve minarenin durum analizini gerçekleştirmiştir.

Aslan ve Şahin (2016), yapmış oldukları çalışmada 1550 yılında Mimar Sinan 'ın yapımını 7 senede bitirdiği Süleymaniye Camii 'ni SAP 2000 programında modelleyerek Düzce, Kobe ve Northridge deprem kayıtları ile yapının statik ve dinamik analizlerini gerçekleştirmişlerdir.

Arpacı (2016), yüksek lisans tezinde tarihi yapıların onarımında yaygın olarak kullanılan kireç esaslı hazır enjeksiyon şerbetlerinin reolojik ve mekanik özelliklerinin belirleyerek özgün malzeme özellikleriyle karşılaştırmasını laboratuvar ortamında yığma test duvarı ile yapmış, bu duvar numunesinin enjeksiyon öncesi ve sonrası mekanik performansını değerlendirmiştir.

Gürün (2016), çalışmasında Çetinkaya-Divriği Köprüsü, Fevzipaşa-Diyarbakır Köprüsü, Başköy Köprüsü ve Hacıkırın Köprüsü olmak üzere 4 adet tarihi kemerli yığma demiryolu köprüsünü SAP 2000 programında modelleyip deprem davranışlarını incelemiştir. Sonrasında modal ve zaman tanım alanında dinamik analizlerini yapmıştır.

Koç (2016), çalışmasında tarihi yapıları da inceleyerek yığma yapılarda depremlerden sonra meydana gelen hasar şekillerini, yığma yapı davranışının özellikle deprem yükleri altında irdelenmesini ve bu hususta dikkat edilmesi gereken kuralların formüle edilmesi gerektiğini açıklamıştır.

Kuran ve Dabanlı (2016), “ Tarihi Yığma Yapıların Mekanik Özelliklerinin Yerinde Yapılan Flat-Jack (Yassı Kriko) Deneyi İle Belirlenmesi “ isimli çalışmalarında

yapıları oluşturan duvar, kemer, tonoz gibi elemanların basınç dayanımı, kayma dayanımı, elastisite modülü gibi mekanik parametrelerin belirlenmeden, bazı kabullere dayalı yapılan hesaplamaların yapıya gereğinden fazla müdahale veya bazen de yetersiz müdahale yapılmasına sebep olabileceğini belirtmiş, literatürde hafif tahribatlı ya da yarı tahribatlı olarak tanımlanan, yapıda kolayca tamir edilebilir nitelikte hafif hasar oluşturan bu deneyi Eskişehir İli İnönü İlçesi 'nde bulunan Tarihi Sultan Alaaddin Camii 'ne uygulamışlardır. İki yassı plaka ile yapılan deney sonucunda tarihi kâgir yapıların basınç dayanımı ve elastisite modülü gibi mekanik özelliklerin belirlenebildiği görülmüştür.

Mutlu ve Şahin (2016), yapmış oldukları çalışmada tarihi yığma bir yapı olan Bursa Ulu Cami 'nin doğu minaresini sonlu elemanlar yöntemi ile SAP 2000 programında 4 farklı modelini oluşturmuş, modal analizleri ile mod şekillerini belirlemişlerdir. Daha sonra 1999 Kocaeli Depremi 'nin Bursa Tofaş istasyonundan alınan ivme kayıtlarını kullanarak analizler gerçekleştirmişlerdir.

Özkul (2016), yüksek lisans tezinde İzmir ili Tire ilçesinde bulunan 1894 yılında inşa edilmiş Rahmanlar Camii'nin ayakta kalabilen tek bölümü olan minaresini Artemis programında sonlu elemanlar yöntemiyle modellemiş, 16 adet ivmeölçer ile elde ettiği verileri kullanarak modal analizini gerçekleştirmiştir.

Uğuz (2016), çalışmasında Konya Gazi Lisesi 'ni (Darü'l Muallim) ETABS programında modelleyerek mevcut durumun sonlu elemanlar analiz sonuçlarının yorumlanabilmesi için deplasman, moment, kesme ve eksenel kuvvetleri gösteren grafiklerinden faydalanmıştır.

Yavuzer (2016), çalışmasında İstanbul 'da bulunan tarihi Zal Mahmut Paşa Cami 'nin Artemis programında sonlu eleman modelini oluşturmuş, çevresel titreşim testi yapıldıktan sonra modal analizini ve eşdeğer deprem yükü yöntemi ile analizlerini yapmıştır.

Yılmaz (2016), yüksek lisans tezinde tarihi köprülerin statik ve dinamik davranışlarına kemer açıklık ve yükseklik etkisini ANSYS programında hazırladığı

Güneydoğu Anadolu Bölgesinde yer alan Göderni Köprüsü 'nün sonlu eleman modeli üzerinde yaptığı analizlerle irdelemiştir.

Aşıkoğlu vd. (2017), Tarihi Yapıların Korunması adı altında düzenlenen 3.Uluslararası Konferans 'ta sunmuş oldukları çalışmada Kütahya Merkez Kurşunlu Cami 'nin yapısal davranışını ve güçlendirilmiş modelin Düzce depremi kayıtları altındaki dinamik performansını incelemiştir. Sonlu Elemanlar Metodu ile hazırlanan modelde taşıyıcı duvarların üst kısmı ile kasnak kısmına (kubbe ile duvar bağlantı bölgesi) çelik kirişler monte edilmiştir. Uygulanan güçlendirme sonrası kubbe tepesinde ve taşıyıcı duvarların üstündeki yer değiştirmede yaklaşık %20 azalma gözlemlenmiştir.

Bayraktar (2017), yaptığı çalışmada karbon elyaf esaslı iplerle örülmüş özel bantların çekme elemanı olarak kullanıldığı Sismik Güçlendirme Yöntemi'nin yapıya minimum zararı vereceğini ve deprem anında oluşacak çekme gerilmelerini de yapının karşılamasını sağlayabilecek şekilde geliştirilen bir yöntem olduğunu açıklamıştır.

Doran ve Aktan (2017), çalışmalarında sayısal modelleme tekniği olarak basitleştirilmiş mikro modelleme tekniği olan, lastik model izotropik hasar modelini dikkate alan bir elasto-plastik hasar modelini önermiş, bu modelleme tekniği ile üç boyutlu doğrusal olmayan sonlu elemanlar analizlerini gerçekleştirmişlerdir.

Döndüren vd. (2017), yaptıkları çalışmada genellikle yığma yapı olarak tasarlanmış olan tarihi yapılarda görülen hasar türlerini detaylı bir şekilde anlatmışlar, sonuç olarak ise tarihi yapıların aslına sadık kalarak statik problemlerin çözümlenmesi ve bunun için yeni yöntemlerin geliştirilmesi gerektiğini belirtmişlerdir.

Keskin ve Özen (2017) çalışmalarında tarihi yapıların onarım ve güçlendirilmesinin Venedik Tüzüğü 'ne uygun olarak yapılması gerektiğini ve güçlendirme tekniklerini açıklamışlardır.

Koçuk (2017), yüksek lisans tezinde İstanbul Üniversitesi bünyesinde Beyazıt yerleşkesinde bulunan Eski Devlet Arşivleri A Blok binasının SAP 2000 programında üç boyutlu sonlu eleman modelini oluşturmuştur. Söz konusu yapının döşemesi volta döşeme olup restorasyon çalışmaları sonucu eklenen betonarme kesit nedeni ile oluşan yeni kompozit döşeme sisteminin yapı davranışına etkisini de irdelenmiştir.

Akbulut vd. (2018), çalışmalarında tarihi yığma yapıların onarımında uygulanan enjeksiyon yöntemini açıklayarak kireç esaslı enjeksiyon malzemesinin gelişimine katkıda bulunan diğer şerbetler ve harçlarla ilgili çalışmalara değinmişlerdir.



3. BAYBURT YAKUTİYE (YENİ) CAMİ HAKKINDA BİLGİLER

3.1 Tarihçesi

1310 yılı İlhanlılar Döneminde Bayburt ve çevresinin valiliğini yapmakta olan Hoca Yakut tarafından Bayburt ve buraya bağlı bulunan Erzurum iline birçok cami ile medrese yapılmıştır. Bayburt Cumhuriyet Caddesi üzerinde, Eski Yakutiye Medresesi 'nin bulunduğu alanda yer alan Yakutiye (Yeni) Cami Evkaf Nezareti yani bugünkü adıyla Vakıflar Genel Müdürlüğü ile Bayburt halkının yardımlaşması ile 1913-1915 yılları arasında alttan ısıtmalı olarak yapılmıştır. Bayburt Yeni Cami Hoca Yakut anısına Yakutiye (Yeni) Cami ismini almıştır (Çiğdem vd., 2018).

Cami 2010 yılının Ağustos ayında 6 ay süren bir tadilata uğramıştır. Tadilatta aslına uygun işlemler yapılmış, cami yeni ses ve kamera sistemiyle donatılmıştır.



Şekil 3.1 Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami-1

3.2 Coğrafi Konumu

Yakutiye (Yeni) Cami, Şekil 3.2 'de görüldüğü üzere Türkiye 'nin Bayburt İli, Merkez İlçesi, Şeyh Hayran Mahallesi, Cumhuriyet caddesinde yer almaktadır.



Şekil 3.2 Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami harita üzerindeki konumu



Şekil 3.3 Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami-2

3.3 Yapısal ve Mimari Özellikleri

Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami 600 kişilik kapasiteye sahip, dört adet fil ayağı üzerine kurulmuştur. Caminin ana kubbe yükü bu fil ayaklarına ve dört adet yarım kubbelere oradan 1 metre kalınlığındaki dış duvarlar yardımıyla zemine iletilmektedir. **Şekil 3.4** 'te görüldüğü üzere fil ayaklarının arasında dört adet ana kemer bulunmaktadır.

Caminin ana kubbesi tepede bulunan alem kısmı hariç 15,38 metre yüksekliğinde, iç çapı 5,50 metre, kubbe kalınlığı ise 60 santimetredir. Kubbe kasağında 4 adet pencere bulunmaktadır. Bunlara ek olarak caminin her köşesinde bulunmak üzere toplamda 4 adet 3,33 metre açıklık, 4,58 metre uzunluklu tonozlar mevcuttur.



Şekil 3.4 Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami İç Görünüm



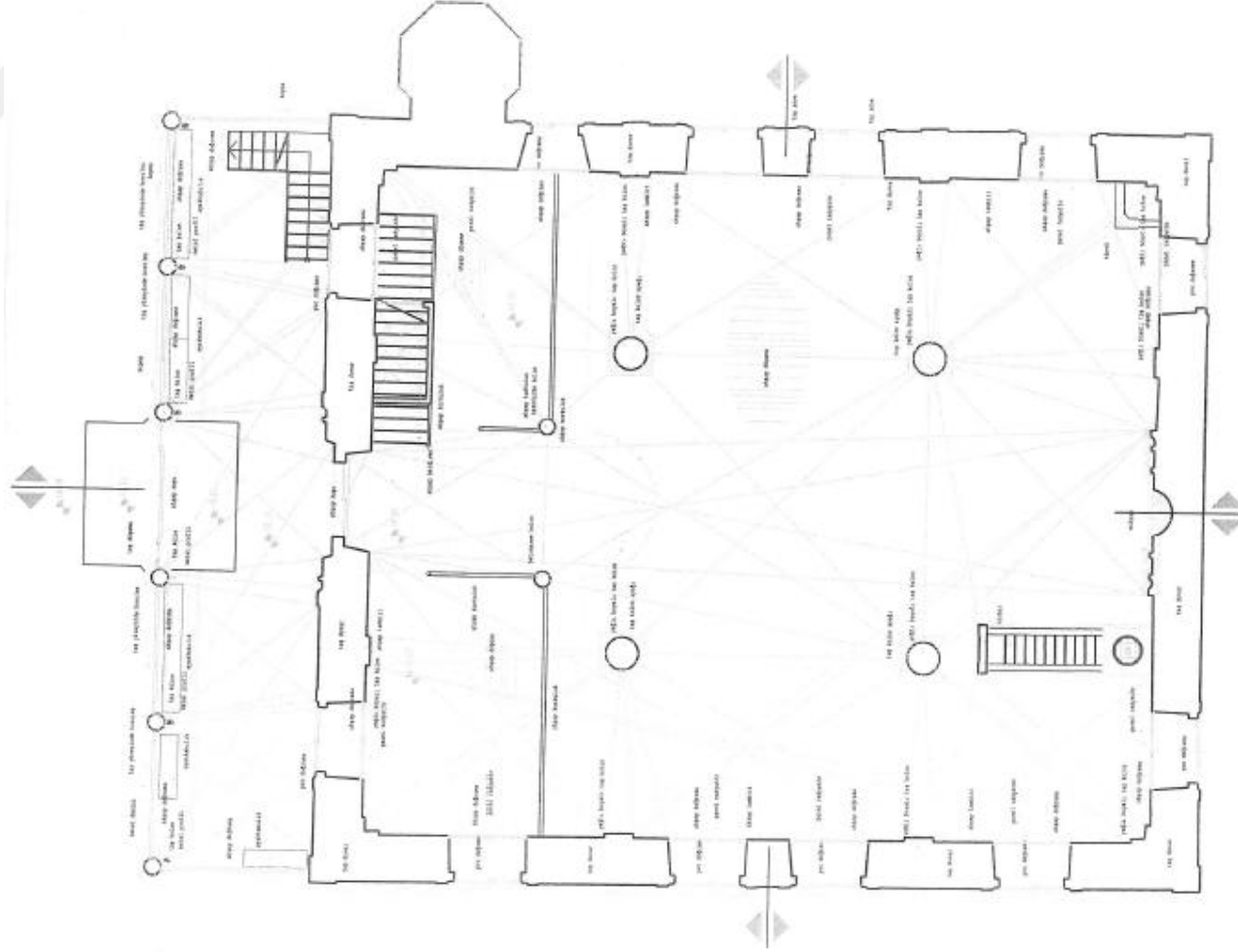
Şekil 3.5 Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami-3

Cami merkezine göre kuzeydoğu yönünde giriş kapısı cami içerisinde bulunan bir adet minare vardır. Minarenin yüksekliği 28,68 metre olup bir adet şerefesi bulunmaktadır.

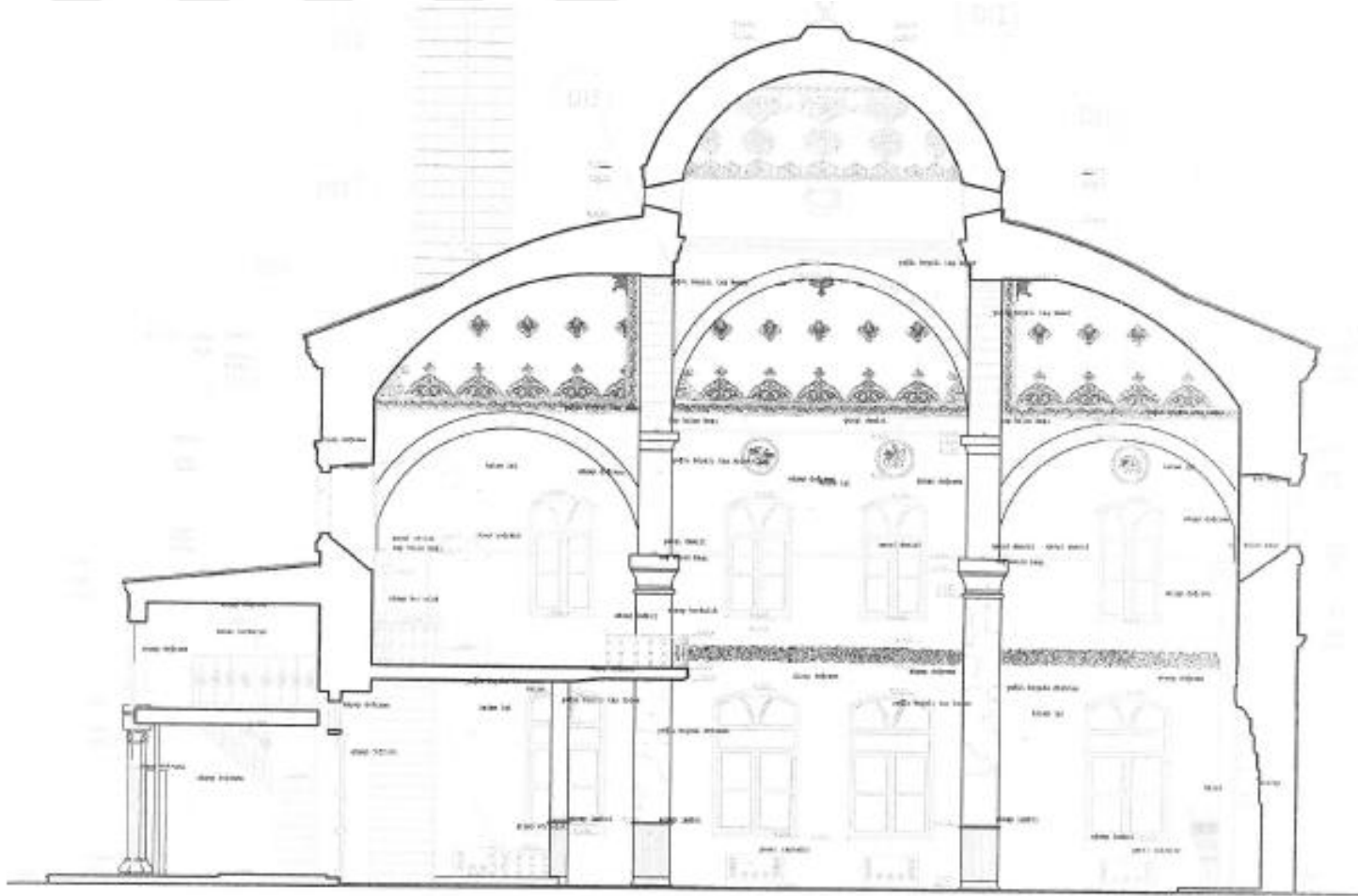
Yakutiye Cami Kâbe eksen doğrultusunda 17,85 metre giriş bölümü dahil edildiğinde ise 21,05 metredir (**Şekil 3.6**). Buna dik doğrultuda 15,35 metredir. Cami ana bölümü 274 m², 49,12 m² 'lik giriş bölümü ile toplamda 323,12 m² 'lik bir alana sahiptir. Yapı Kâbe eksenine göre neredeyse tamamen simetrik olup buna dik ekseninde simetriğe yakındır. Yapıya ait zemin planı rölevesi **Şekil 3.7** 'de ve kesit rölevesi **Şekil 3.8** 'de gösterilmektedir.



Şekil 3.6 Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami giriş bölümü



Şekil 3.7 Erzurum Vakıflar Bölge Müdürlüğü tarafından AutoCAD programında hazırlanmış rölevedeki zemin planı



Şekil 3.8 Erzurum Vakıflar Bölge Müdürlüğü tarafından AutoCAD programında hazırlanmış rölevedeki kesit planı

Ana kemerler üzerine oturtulmuş kubbe ile kemerler arasındaki kısmı kapatan üçgen biçimindeki kubbe parçası olan pandantif (bingi) Şekil 3.9’da görülmektedir.



Şekil 3.9 Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami Pandantif (Amulet-Muska) kısımları



Şekil 3.10 Bayburt Yakutiye (Yeni) Camisi 'nin gece görünümü

3.4 Malzeme Özellikleri

Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami dış duvarları, minare ve ana kubbe kasnağında Bayburt Sarı Taşı ve Bayburt Beyaz Taşı, kubbelerle tonozlarda ise Tuğla Taşı kullanılmıştır. Bayburt taşı çok geniş kullanım alanına ve büyük rezerve sahip olup dış duvar kaplaması, denizlik, yüzey kaplamaları, çeşitli restorasyon, köprü, cami, çeşme gibi imalatlarda kullanılabilir.

“ Bayburt Taşı “ olarak bilinen Bayburt tuf ve tüfitleri il ekonomisinde, özellikle yapı taşı olarak kullanılması ile ticari bir öneme sahiptir. 2005 yılında Bayburt Valiliği 'nin talebi ile Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tarafından Bayburt ilinde detaylı etütler gerçekleştirilmiş ve Toptepe, Sırataşlar, Gevenli, Konakdağ ve Gümüşdamla sahalarında toplam 2.535.700 ton görünür rezerv tespit edilmiştir. Üç çeşit Bayburt Taşı çıkmaktadır.


Bayburt Beyaz Taşı: Kayaç içinde; volkanik malzemedan oluşan bir matrix ve matrix içinde kuvars-plajioklaz-biyotit veya kaya parçaları bulunmaktadır.

Bayburt Sarı Taşı: Kayaç içinde; altere olmuş (kimyasal dönüşüme uğramış) 46 volkanik malzemelerden oluşan bir matrix ve matrix içinde kuvars-plajioklaz ve kaya parçaları bulunmaktadır.

Bayburt Yeşil Taşı: Kayaç içinde; volkanik malzemedan oluşan bir matrix ve matrix içinde kuvars-plajioklaz ve kloritleşmiş biyotit minareleri bulunmaktadır.

T.C. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü 'nün Bayburt Doğal Taş Potansiyeli Maden Jeolojisi Raporu 'na göre Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami yapımında kullanılan Bayburt Beyaz ve Sarı Taşları teknik analiz sonuçları **Şekil 3.11** 'deki gibidir.

BEYAZ BAYBURT TAŞI TEKNİK ANALİZ		
MgO	% 0,85	
SiO ₂	% 69,20	
CaO	% 2,95	
Fe ₂ O ₃	% 1,10	
Kız. Kay.	% 25	
		
Plaka Verme Durumu		İyi
Kenar Köşe Kesilmesi		İyi
Cila Alma Durumu		Orta
Özgül Ağırlık	(g/cm ³)	2,37
Sertlik	(Mohs)	4-5
Birim Hacim Ağırlığı	(g/cm ³)	1,70
Atmosfer Basıncında Su Emme	Ağırlıkça (%)	12,2
	Hacimce (%)	20,6
Kaynar Suda Su Emme	Ağırlıkça (%)	12,3
	Hacimce (%)	21,0
Görünür Porozite	(%)	20,6
Basınç Direnci	(kgf/cm ²) 1	450
Don Sonrası Basınç Direnci	(kgf/cm ²) 1	440
Don Kaybı	(%)	0,34
Darbe Direnci	(kgf.cm/cm ³)	8,0
Eğilme Direnci	(kgf/cm ²)	125
Doluluk Oranı	(%)	71,6
Gözeneklilik Derecesi	(%)	28,4
Ortalama Aşınma Direnci	(cm ³ /50cm ²)	25,0

SARI BAYBURT TAŞI TEKNİK ANALİZ		
MgO	% 0,5	
SiO ₂	% 64,80	
CaO	% 7,30	
Fe ₂ O ₃	% 2,45	
Kız. Kay.	% 24	
		
Plaka Verme Durumu		İyi
Kenar Köşe Kesilmesi		İyi
Cila Alma Durumu		Orta
Özgül Ağırlık	(g/cm ³)	2,71
Sertlik	(Mohs)	2-3
Birim Hacim Ağırlığı	(g/cm ³)	1,84
Atmosfer Basıncında Su Emme	Ağırlıkça (%)	13,0
	Hacimce (%)	24,0
Kaynar Suda Su Emme	Ağırlıkça (%)	13,1
	Hacimce (%)	24,3
Görünür Porozite	(%)	24,0
Basınç Direnci	(kgf/cm ²) 1	282
Don Sonrası Basınç Direnci	(kgf/cm ²) 1	285
Don Kaybı	(%)	0,14
Darbe Direnci	(kgf.cm/cm ³)	4,0
Eğilme Direnci	(kgf/cm ²)	60
Doluluk Oranı	(%)	67,8
Gözeneklilik Derecesi	(%)	32,2
Ortalama Aşınma Direnci	(cm ³ /50cm ²)	63,6

Şekil 3.11 MTA Bayburt Doğal Taş Potansiyeli Maden Jeolojisi Raporu-2005

Cami'nin yapısal modelinde kullanılan elemanlara ait model tipleri ve malzeme özellikleri **Çizelge 3.1**'de görüldüğü gibidir.

Çizelge 3.1 Modelde kullanılan malzeme parametreleri

Yapı elemanı	Eleman tipi	Model tipi	Elastisite Modülü (kN/m ²)	Öz kütle (kg/m ³)	Poisson oranı	Çekme Dayanımı (kN/m ²)	Basınç Dayanımı (kN/m ²)
Duvarlar	Beyaz Taş	Solid	18922,40	1720,26	0,09	4,87	40,55
	Sarı Taş	Solid	11654,30	1820,19	0,12	2,18	18,18
Kolonlar	Beyaz Taş	Solid	18922,40	1720,26	0,09	4,87	40,55
Minare	Beyaz Taş	Solid	18922,40	1720,26	0,09	4,87	40,55
	Sarı Taş	Solid	11654,30	1820,19	0,12	2,18	18,18
Ana kubbe	Tuğla	Solid	2443,00	2037,00	0,15	-	-
Yarım kubbeler	Tuğla	Shell	2443,00	2037,00	0,15	-	-
Tonozlar	Tuğla	Solid	2443,00	2037,00	0,15	-	-
Kemerler	Beyaz Taş	Solid	18922,40	1720,26	0,09	4,87	40,55

Taş ve harçtan oluşan kompozit elemanın mekanik değerleri belirlenemediğinden Bayburt sarı ve beyaz taş duvarlarının elastisite modülü değerleri sadece taşların elastisite modülü değerlerinin %70 'i (Ekompozit = $(2E_{tuğla/taş} \times E_{harç}) / (E_{harç} + E_{tuğla/taş})$ Koçak (1999)) olarak alınmıştır. Tuğla malzemesinin mekanik özellikleri Şeker vd (2014) çalışmasından alınarak tuğla duvar için tuğla malzemesinin elastisite modülünün %70 'i alınmıştır. Aynı şekilde Bayburt sarı ve beyaz taş duvarların basınç dayanımı değerleri de taşların basınç dayanımlarının %70'i olarak alınmıştır (Koçak, 1999).

Bayburt sarı ve beyaz taş duvarların çekme dayanımı değerleri ise taşların çekme dayanımının %12 civarında düşürülmesi ile elde edilmiştir (Şeker vd, 2014).

Yapının ana kubbe kasnağında Bayburt sarı taşının kullanıldığı, kubbelerinde ise tuğla taşının kullanıldığı Erzurum Vakıflar Bölge Müdürlüğü tarafından 2010 yılında yapılan restorasyon çalışmalarında açıkça görülmektedir (**Şekil 3.12**).



Şekil 3.12 Erzurum Vakıflar Bölge Müdürlüğü tarafından 2010 yılında yapılan restorasyon çalışması öncesi ana kubbe görünümü

3.5 Zemin Özellikleri

Camiye ait temel zemininde siltli kil zemin bulunmaktadır. Bayburt İli, Merkez İlçesi, Şeyh Hayran mahallesi 1 pafta, 4 ada, 9 nolu parselde yapılması planlanan 4 katlı konut inşaatına ait jeoteknik özelliklerin belirlenmesi amacıyla yapılmış jeolojik zemin etüdü raporundaki değerler şöyledir:

-İnceleme alanı kuyularında 0,30 metre dolgudan sonra kalınlığı 0,30-4,20 metre kahve renkli, içinde çakıl ihtiva eden düşük plastisiteli siltli kil, 4,20-6,80 metre kadar kahve renkli kil dolgulu çakıl blok, onun altında ise 6,80-7,50 metre arası gri renkli kum, 7,50-13,10 metre arası kalın taneli kumlu çakıllı seviyeler bulunmaktadır.

-Saha içinde 2 adet uzunluğu 13,10 m ve 13,00 m olan temel etüt sondajı açılmıştır.

-Zemin emniyet gerilmesinin projelendirme çalışmalarında $1,31 \text{ kg / cm}^2$ 'den büyük alınması önerilir.

-İnceleme alanında yer altı suyu 6,50 metredir. Temeller yer altı suyunun üstünde kaldığından sorun beklenmemektedir. Ancak yağmur ve yüzey sularının temellere zarar vermesini önlemek amacıyla çevre drenaj sistemi uygulanmalıdır.

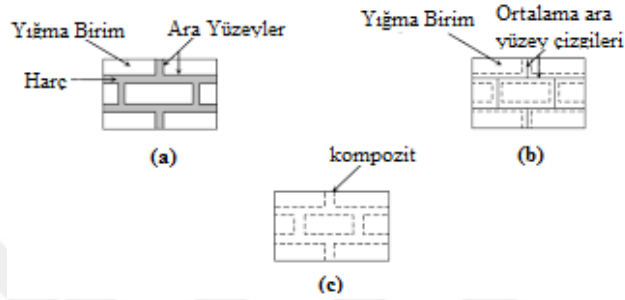
-Proje sahası içinde sıvılaşma potansiyeline sahip zeminler ve ortamlar bulunmamaktadır.

-Temel araştırma sondajları çalışmalarına bağlı olarak, “ Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik “ verilerine göre inceleme alanının zemin grubu B, yerel zemin sınıfı Z3, spektrum karakteristik periyotları $T_A = 0,15$, $T_B = 0,60$ sn aralığındadır. Zemin hakim titreşim periyodu 0,30 sn, zemin yatak katsayısı 15000 kN/m^3 (Bowles, 1988) olarak hesaplanmıştır.

-Yöre 3.derece tehlikeli deprem bölgesi içinde yer almaktadır.

4 KARMAŞIK YAPILARIN MODELLENMESİ

Yığma yapıların modellenmesinde, mikro ve makro modelleme teknikleri mevcuttur (Şekil 4.1). Genellikle mikro modelleme yığma duvarlar veya yapının belirli bir bölümünün modellenmesinde, makro modelleme ise tüm yapı sisteminin modellenmesinde kullanılır.



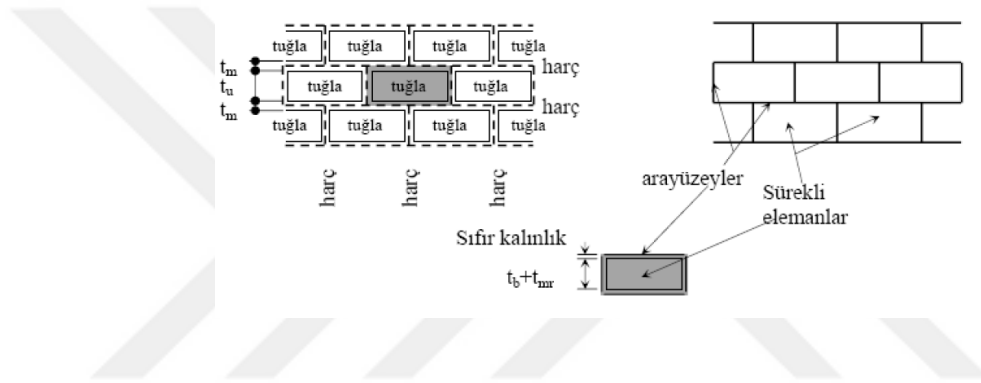
Şekil 4.1 Yığma duvarların a) Mikro, b) Meso (Basitleştirilmiş mikro) ve c) Makro modelleme teknikleri (Doğan, 2016)

4.1 Mikro Modelleme Tekniği

Yığma yapılarda taş/tuğla ve harç farklı malzeme özelliklerine sahip birimler olup, mikro modelleme tekniğinde bu malzeme özellikleri ayrı ayrı dikkate alınarak sonlu elamanlar modeli oluşturulmaktadır. Bu sebepten küçük ölçülerdeki duvarların sonlu elaman modelinde çok fazla elaman ve düğüm noktasına ihtiyaç duyulduğundan büyük ölçülerdeki yığma yapıların analizlerinin yapılması güçleşmektedir. Özellikle doğrusal olmayan analizlerde iterasyon sayısına bağlı olarak çözüm sayısının arttığı düşünülürse, sistemin çözüm süresi aşırı oranlarda artmaktadır. Bunların yanı sıra doğru bir şekilde malzeme özellikleri ve sınır şartları tanımlanmış bir yığma duvarın doğrusal olmayan analizi ile taşıyabileceği yükü, kırılma mekanizmasını, harçlarda meydana gelen kaymayı ve çatlak yörüngesini doğru bir şekilde belirlemek mümkün olmaktadır.

Yığma yapıların lineer olmayan analizlerinde kullanılan meso (basitleştirilmiş mikro) modelleme tekniğinde ise, tuğla/taş ile harç arasında yer alan ara yüzey bölgesi, sonlu elemanlarla diğer kısımlar ise rijit veya şekil değiştirebilen ayırık elemanlarla

modellenmektedir. Rijit elemanlar, bir tuğla/taş ve iki yarım harçtan meydana gelmektedir. Böylece rijit elemanların boyutları tuğla/taş boyutlarından harç ölçüleri kadar büyük olmaktadır. Rijit elemanlar, açılma ve kayma yapabilen ara yüzey sonlu elemanlar ile birbirine bağlanmaktadır. Meso modelleme kullanılarak elde edilen çözümlerde, muhtemel göçme mekanizmalarının tamamının dikkate alınamaması önemli sorunlardan birisidir. Çatlakların ara yüzeylerde meydana geldiği kabul edilmekte olup sadece açılma ve kayma etkileri için dikkate alınmaktadır. Aynı zamanda rijit elemanlardaki çatlakların ise sadece eleman orta bölgesinde oluşabileceği kabulü vardır (**Şekil 4.2**).



Şekil 4.2 Meso (Basitleştirilmiş mikro) modelleme tekniği (Doğan, 2016)

Bu tekniğin avantajları ise büyük yer değiştirmelerin, çatlak yörüngesinin ve kırılma yükünün yeterli bir yaklaşımla elde edilebilmesidir. Aynı zamanda, mikro modele göre daha az düğüm noktası, eleman ve hafızaya ihtiyaç duyulmaktadır. Meso modelleme tekniğinin dezavantajları ise modelde kullanılan blok elemanlar arasında çok sayıda ara yüzey elemanı gerektirmesi ve üç boyutlu problemler için çok zaman harcanmasıdır.

4.2 Makro Modelleme Tekniği

Bu yaklaşımda, malzeme kompozit kabul edilmekte olup taş/tuğla ve harç homojenleştirilerek tek bir malzeme özelliğine dönüştürölmektedir. Yöntem uygulanırken **şekil 4.2** 'de göröldüğü gibi her bir kırılma durumu ayrı ayrı dikkate alınıp homojenleştirilmiş malzemenin akma yüzeyi ve kompozit malzeme teorisi ile tespit edilmektedir. Akma yüzeyi için izotrop, ortotrop ve anizotrop olmak üzere farklı akma yüzeyleri tanımlanmaktadır. Aynı zamanda kompozit malzeme teorisi kullanılarak yığma biriminin homojen ve izotrop bir malzeme özelliğine sahip olduğu kabul edilerek homojenleştirme işlemi yapılmaktadır.

Makro modelleme tekniği, mikro ve meso modelleme tekniklerinde kullanılan düğüm ve eleman sayısından çok daha az sayıda sonlu eleman gerektirdiği için büyük yapı sistemlerinin analizlerinde tercih edilmektedir. Bu yaklaşım genellikle karmaşık sistemli kâgir yapıların duvar, ayak, payanda, kemer ve tonozlarının modellenmesine kullanılmaktadır. Ancak bu yaklaşımda çatlak geometrisi ve yayılışı hakkında detaylı bir bilgi elde edilememektedir.

Tuğla duvarda basınç deneyleri sonucunda bağlayıcı harcın kalınlığına bağlı olarak; 2 cm 'lik harç kalınlığında basınç dayanımının %70 civarı olduğu belirlenmiştir (Koçak, 1999).

Tarihi yapıların modellenmesinde kullanılan makro modelleme yönteminde Bayburt Sarı Taşının Elastisite Modölü ise %70 olarak alınmıştır, dinamik performans analizleri bu değerler ile gerçekteştirilmiştir (Koçak, 1999).

4.3 SAP 2000 Programı İle Yapı Sistemlerinin Çözümü

SAP2000 paket programı, her türlü yapı sisteminin tasarım ve analizi için kullanılan bir inşaat mühendisliği programıdır. SAP (Structural Analysis Program) sözcüğu Yapısal Analiz Programı anlamına gelmektedir. Programda iki boyutludan üç

boyutluya, basit geometriden kompleks geometriye pek çok yapı modellenabilir, statik ve dinamik analizler yapılabilir.

SAP2000 programında; doğrusal veya eğimli parçalar, kablolar veya yaylar, amortisörler, izolatörler gibi parçaların bulunduğu şablonlar ile hızlı ve başarılı bir modelleme yapılabilir.

Sonlu eleman analizi ile karmaşık geometriye sahip yapılar bu programda sonlu sayıda elemanlara bölünerek her birinin ayrı ayrı gerilme analizi yapılır. Çıkan sonuçlar birleştirilip tek seferde gerilme analizi mümkün olmayan parçaların analizi SAP2000 programında Sonlu Elemanlar Yöntemi ile doğru bir şekilde yapılabilir.

4.3.1 SAP 2000 programında kullanılan kavramlar

4.3.1.1 Düğüm noktaları (Joints)

Sistemin dış ortam ile birleştiği veya elemanların birbirleriyle birleştiği noktalara düğüm noktaları denir. SAP2000 programında düğüm noktalarına **Joint** adı verilmektedir. Düğüm noktaları adları/numaraları ve koordinatları ile tanımlıdır.

4.3.1.2 Çubuk elemanlar (Frame elements)

Gerçek sistemde iki boyutu üçüncü boyutunun yanında küçük olan, elemanın eksen ve normal kesitiyle tanımlı olan elemana çubuk eleman adı verilir. SAP2000’de bu tür elemanlar **Frame** olarak adlandırılmaktadır. Çubuk elemanlar adları/numaraları, başlangıç bitiş noktalarını gösteren düğüm noktaları ve kesit özellikleriyle tanımlıdır.



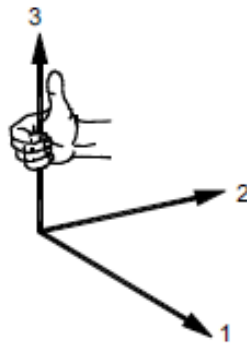
Şekil 4.3 Bir boyutlu çubuk eleman

Bina türü sistemlerde kolon, kiriş, bazı durumlarda perde, dişli ve kaset döşemelerin dişleri, sürekli temel, ızgara temel elemanları çubuk eleman kullanılarak modellenebilir.

4.3.1.3 Kabuk elemanlar (Shell elements)

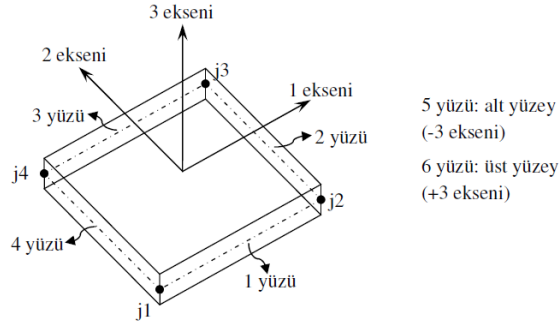
SAP2000 programında kabuk eleman (Shell Element), iki ve üç boyutlu yapılarda kabuk, plak ve zar (membrane) eleman davranışını modellemek için kullanılmaktadır. Tonozlar ve kubbe gibi üç boyutlu kabuklar, döşeme gibi plak türü yapılar ve perde taşıyıcılar gibi zar yapılar Shell Eleman olarak modellenmektedir. Genellikle yapı sistemlerinin modellenmesinde, dörtgen şeklindeki kabuk elemanları tercih edilmelidir. Zira daha sıhhatli bir çözüm verirler. Üçgen elemanlar ancak, geçiş bölgelerinde kullanılmalıdır (Çağdaş, 2016).

Shell elemanlar kullanılarak yapı modellerinin doğru bir şekilde oluşturulabilmesi için shell elemanlardaki yerel (lokal) eksen takımlarının ve yüzey numaralarının iyi bilinmesi gerekmektedir. Yerel eksenler sağ el kuralına göre belirlenmekte olup, 1, 2, 3 numaraları ile ifade edilmektedir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 Sağ el kuralı (Darılmaz, 2005)

3-ekseni daima shell eleman düzlemine diktir. **Şekil 4.5** 'te görüldüğü üzere; j_1, j_2, j_3 ve j_4 düğüm noktalarının saat ibresinin tersi yönde oluşturulması halinde 3-ekseni yukarı yönlüdür.



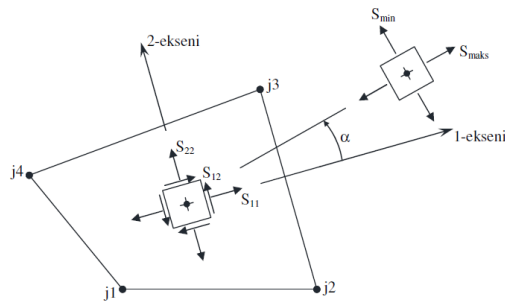
Şekil 4.5 Dört düğüm noktalı (dörtgen) shell eleman (Şimşek, 2010)

Shell elemanlarda, bir veya birden çok sayıda malzeme ve kalınlık vb. geometrik boyutlar ile tanımlanmış olan kesit özellikleri verilecektir. Üç tip shell eleman vardır.

-Membrane: Basit membran davranışı; sadece düzlem içinde kuvvetler ve düzlemine dik doğrultuda moment oluşur.

-Plate: Basit plak davranışı; sadece eğilme momentleri ve düzlemine dik doğrultuda kesme kuvvetleri oluşur.

-Shell: Tam olarak kabuk davranışı (membran ve plak davranışı kombinasyonu); bu halde elemanda tüm kuvvetler ve momentler oluşur (**Şekil 4.6**).



Şekil 4.6 Shell elemanda oluşan gerilmeler (Şimşek, 2010)

Shell elemanlarda kullanılacak her bir kesit özelliği için farklı malzemeler tanımlanabilmektedir. Hatta bu malzemeler **ortotropik**¹ veya **anizotropik**² olabilmektedirler. Shell elemanlarda kullanılacak malzeme özellikleri şu şekildedir:

- **e_1 elastisite modülü** ve **u_{12} Poisson oranı**; membran ve plak eğilme rijitliğinin,
- **a_1 ısı genleşme katsayısı**; membran için ısıya bağlı olan uzama ve eğilme şekil değiştirmelerinin,
- **m kütle yoğunluğu**; elemanın kütesinin,
- **w birim hacim ağırlığı**; elemanın kendi ağırlığın ve yerçekimini yüklemesinin, hesabında kullanılır.

Shell elemanlarda kesit özellikleri için ise iki tip kalınlık kullanılmaktadır. Genel olarak bu iki kalınlık aynıdır fakat bazı özel durumlarda farklı olması söz konusudur.

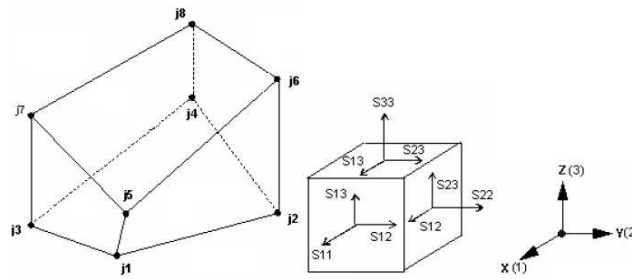
- **t_h membran kalınlığı**; basit membran (levha) ve kabuk davranışı gösteren sistemlerde membran rijitliği hesabı için kullanılır. Ayrıca elemanın kendi ağırlığı ve kütesinin hesabında da bu kalınlık alınır.
- **t_{hb} eğilme kalınlığı**; basit plak (döşeme) ve tam kabuk davranışı gösteren sistemlerde eğilme rijitliği hesabında kullanılır.

4.3.1.4 Katı elemanlar (Solid elements)

Solid eleman, üç boyutlu yapı sistemlerinin modellenmesinde kullanılır. **Şekil 4.7'** de görüldüğü üzere sekiz adet düğüm noktası ve altı yüzeyi bulunmaktadır.

¹ **Ortotropik malzeme:** Her üç ekseninde de birbirinden bağımsız ve farklı mekanik özelliklere sahip malzemedir.

² **Anizotropik malzeme:** İzotrop malzemenin tersine bir malzemenin değişik yönlerde değişik optik özelliklere sahip olmasına anizotropik malzeme denir.



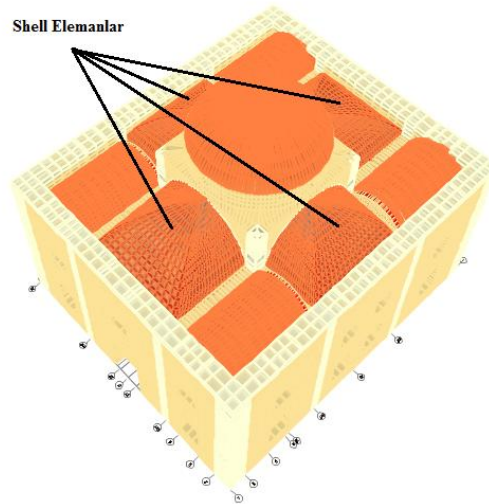
Şekil 4.7 Solid elemanlarda oluşan gerilmeler (Korkmaz vd., 2013)

SAP2000 programında her solid eleman için yerel (lokal) koordinat sistemi, global sistem ile aynıdır. Solid elemanda bulunan altı yüzeyde şekil değiştirmeler, gerilmeler ve bu gerilmelerin bileşenleri mevcuttur.

Solid elemanlar için önceden tanımlanmış malzemelere referans verilerek değişik malzeme özellikleri tanımlanabilir. Solid elemanlarda kullanılacak malzeme özellikleri şunlardır:

- e_1, e_2, e_3 elastisite modülleri,
- g_{12}, g_{13}, g_{23} kayma modülleri,
- $u_{12}, u_{13}, u_{23}, \dots, u_{56}$ poisson oranları,
- $a_1, a_2, a_3, \dots, a_{23}$ ısı genleşme katsayıları,
- m kütle yoğunluğu,
- w birim hacim ağırlığı.

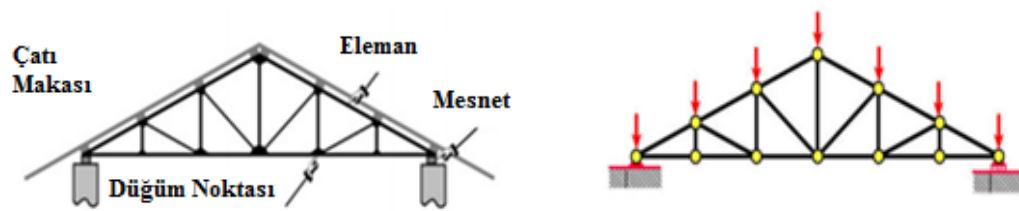
Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami'nin modellenmesinde genellikle solid eleman kullanılmıştır. Shell elemanlar **Şekil 4.8** 'de görüldüğü üzere solid elemanın modellenemediği, ana kubbeyi çevreleyen dört yarım kubbenin modellenmesinde kullanılmıştır.



Şekil 4.8 Bayburt Yakutiye Cami yapısal modelinde bulunan shell elemanlar

4.3.2 Sonlu Elemanlar Metodu

Sonlu Elemanlar Metodu (FEM: Finite Element Method) yapıların üç boyutlu doğrusal ve doğrusal olmayan, statik ve dinamik analizlerinin yapılabildiği sayısal bir yöntemdir. Sonuçlar sayısal ve grafik ortamda elde edilebilmektedir. Temel mantığı karmaşık bir problemi basite indirgeyerek çözüme götürmektir. Teknolojinin ilerlemesi ile karmaşıklaşan buluşların artışı çözüm sistematığında sonlu elemanlar kullanımını arttırmıştır.



(a) Fiziksel model

(b) Parçalara ayrılmış matematiksel model

Şekil 4.9 Sonlu eleman modelinin oluşturulması

İlk kullanımı; 1950 'li yıllarda İnşaat Mühendisliği 'nde olan sonlu elemanlar yöntemi orijinal olarak yapı sistemleri için geliştirilmiş olsa da dayandığı esasların genelliği dolayısıyla yöntem akışkanlar mekaniği, zemin mekaniği, uçak mühendisliği, nükleer mühendislik, kaya mekaniği, elektromanyetik alanlar, termal analiz ve daha pek çok mühendislik problemlerinin çözümünde araç olarak kullanılmaktadır.

Bu yöntemin özellikleri şöyle sıralanabilir :

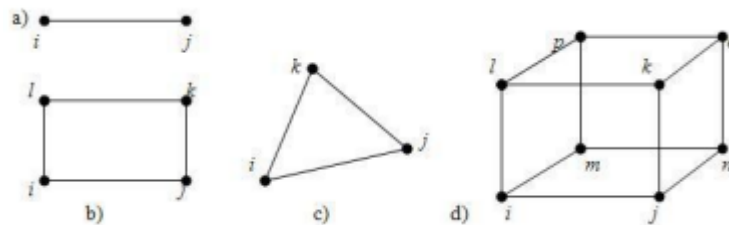
-Sonlu Elemanlar Yöntemi fiziksel bir sistemin matematiksel olarak ifade edilmesidir.

-Bitişik elemanlardaki malzeme özelliklerinin farklı olabilmektedir. Bu özelliği sayesinde birkaç malzemenin birleştiği cisimlerde Sonlu Elemanlar Yöntemi uygulanabilir.

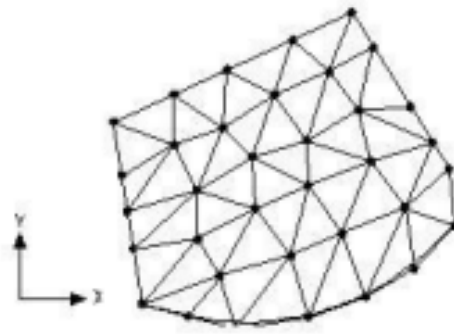
-Kullanıcı tarafından eleman boyutları değiştirilebilir.

-Bu yöntem ile düzensiz ve karmaşık geometriye sahip sistemler incelenebilir. (Fahjan, 2008).

Sonlu Elemanlar Yönteminde kullanılan elemanlar **Şekil 4.10** 'da görüldüğü üzere bir, iki ve üç boyutlu elemanlar olabilir. **Şekil 4.11** 'de ise düzensiz geometriye sahip bir levhanın üçgen sonlu elemanlara bölündüğü görülmektedir.



Şekil 4.10 Sonlu elemanlar metodunda kullanılan bazı eleman tipleri: a) Bir boyutlu çubuk eleman, b) İki boyutlu dikdörtgen eleman, c) İki boyutlu üçgen eleman, d) Üç boyutlu dikdörtgen prizma eleman

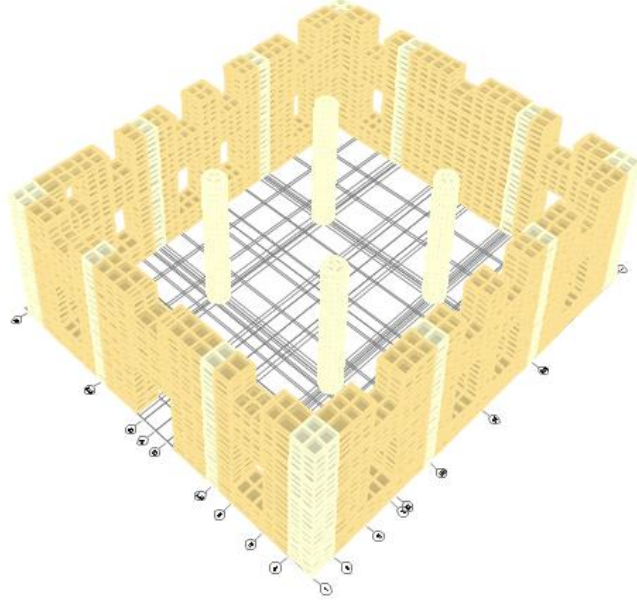


Şekil 4.11 Düzensiz geometriye sahip bir levhanın üçgen sonlu elemanlara bölünmesi

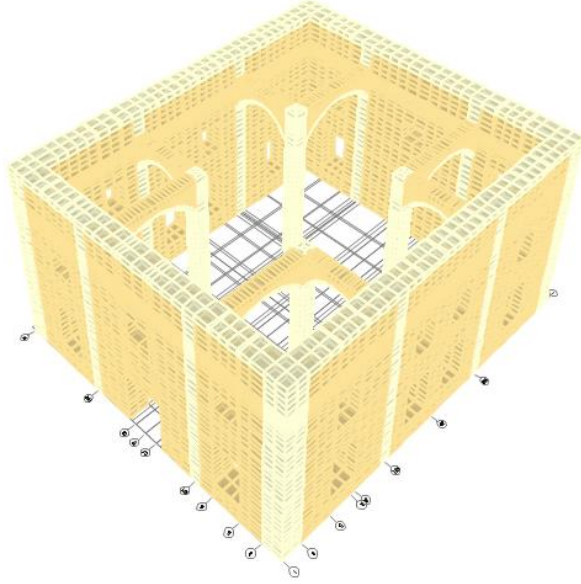
4.4 Yapısal Modelleme

Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami bilgisayar ortamında SAP2000 programı ile sonlu elemanlar yöntemine uygun olarak modellenmiştir. Sonlu elemanlar yöntemi ile modelleme yapılırken yapıyı doğru şekilde parçalara ayırarak modellemek oldukça önemlidir. Yapının hassas veya geometrik olarak zor olan bölgelerinde yapı daha küçük parçalara ayrılarak modelleme yapılmıştır. Modelleme yapılırken yük aktarımının düzgün ve analiz sonuçlarının gerçeğe en yakın değerler olması istenildiğinden parçaların bağlantı noktaları özenle yapılmıştır.

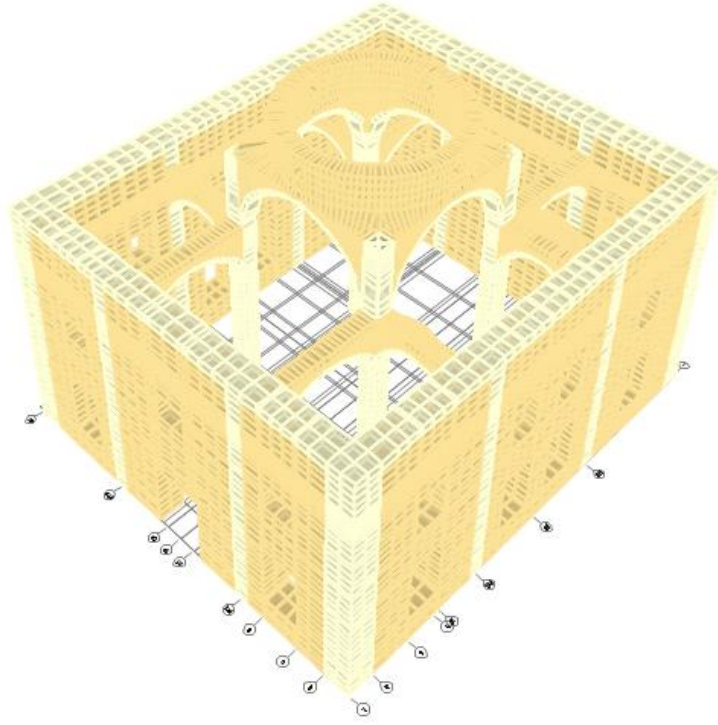
Modelde 45664 adet bağlantı noktası (joint), 4747 adet kabuk (shell) eleman, 25227 adet katı (solid) eleman mevcuttur. Model X ekseninde 21,05 metre, Y ekseninde 17,90 metre, Z ekseninde 28,68 metrelik alan içerisinde yer almaktadır. Ana kubbe ve minare üzerindeki alem kısımları statik açıdan dayanıma bir etkisi olmayacağından modelde ihmal edilmiştir. Modelleme aşamaları **Şekil 4.12-4.21** 'de gösterilmiştir.



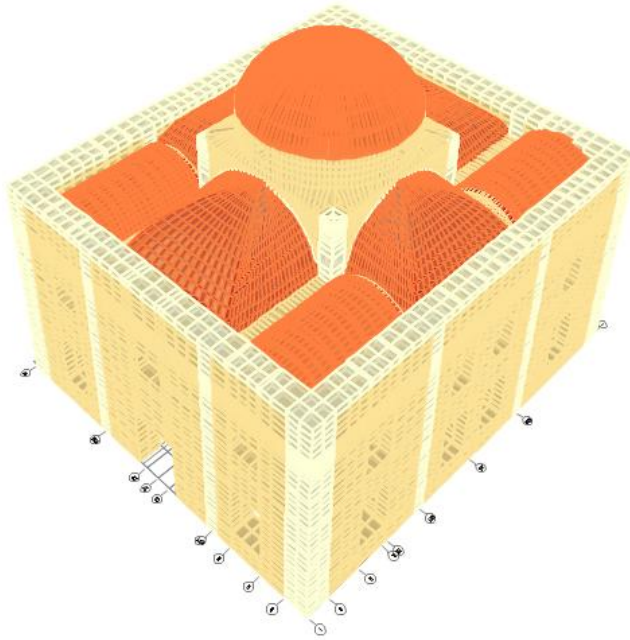
Şekil 4.12 Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami modelleme aşamaları 1



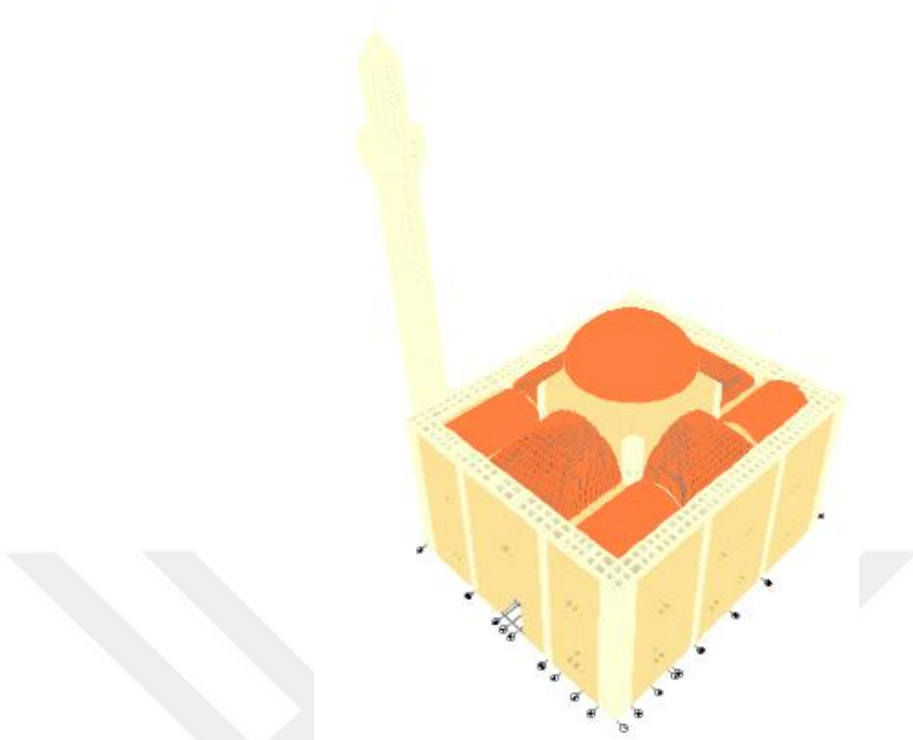
Şekil 4.13 Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami modelleme aşamaları 2



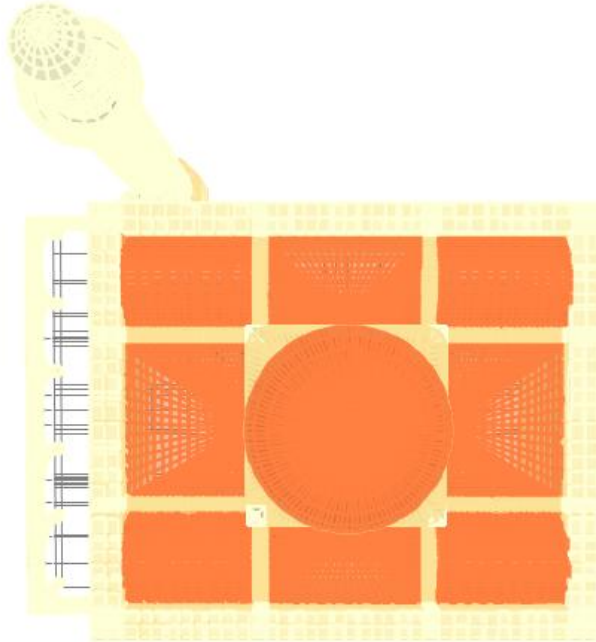
Şekil 4.14 Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami modelleme aşamaları 3



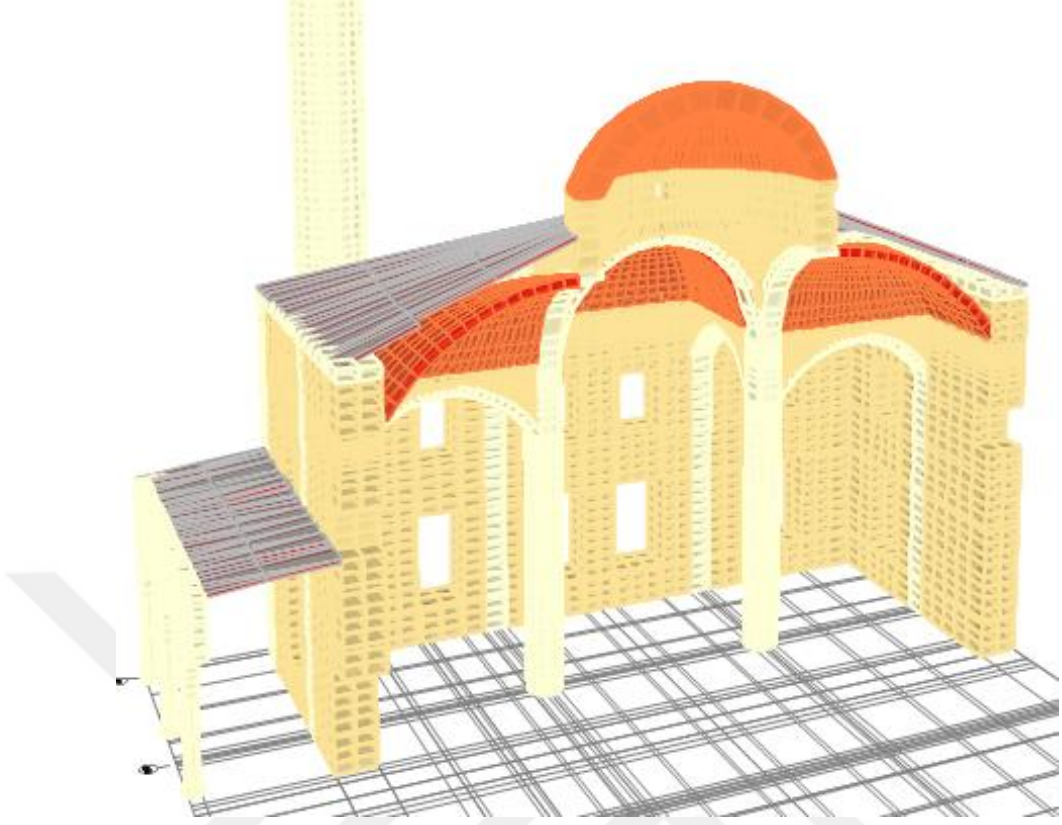
Şekil 4.15 Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami modelleme aşamaları 4



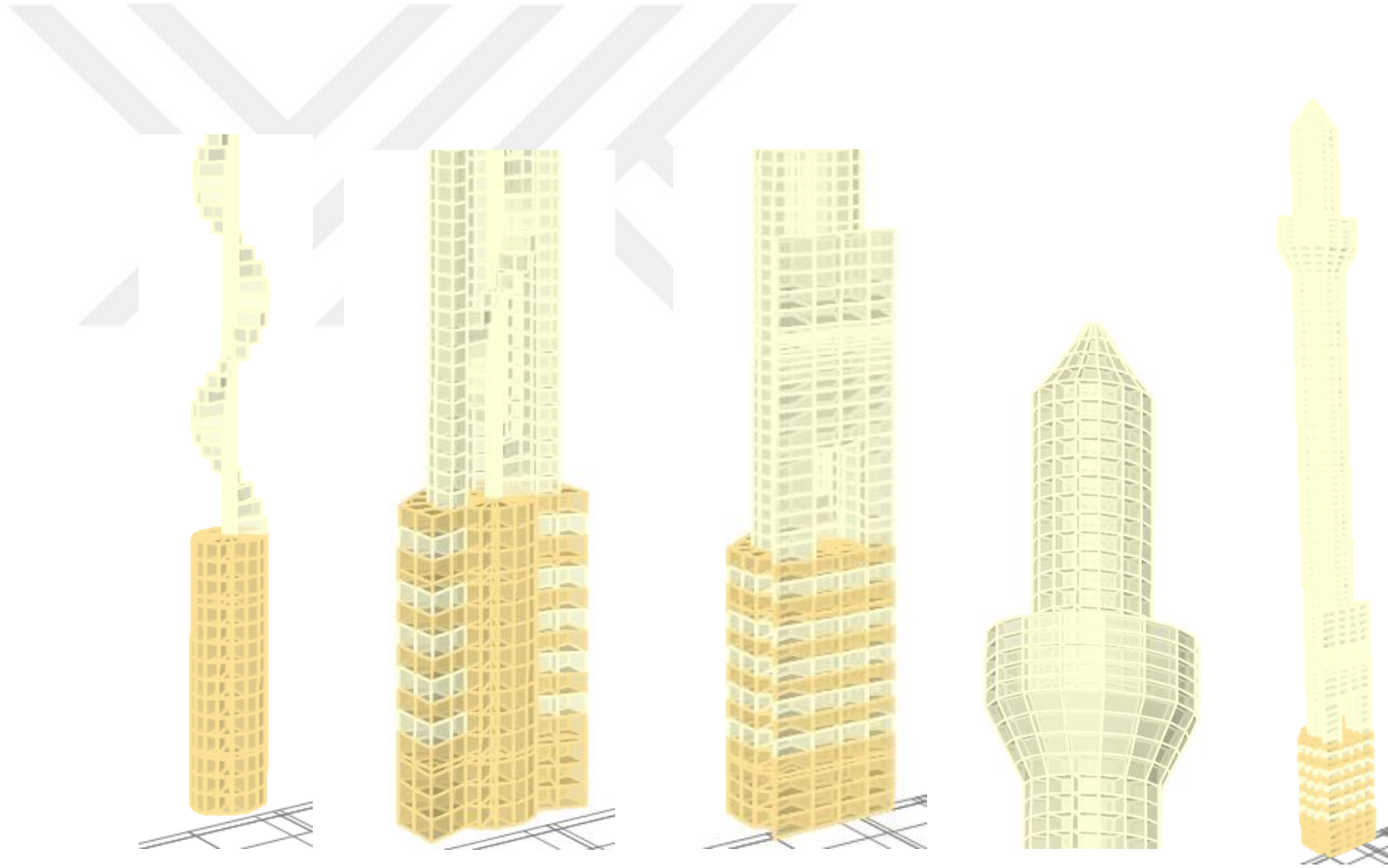
Şekil 4.16 Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami modelleme aşamaları 5



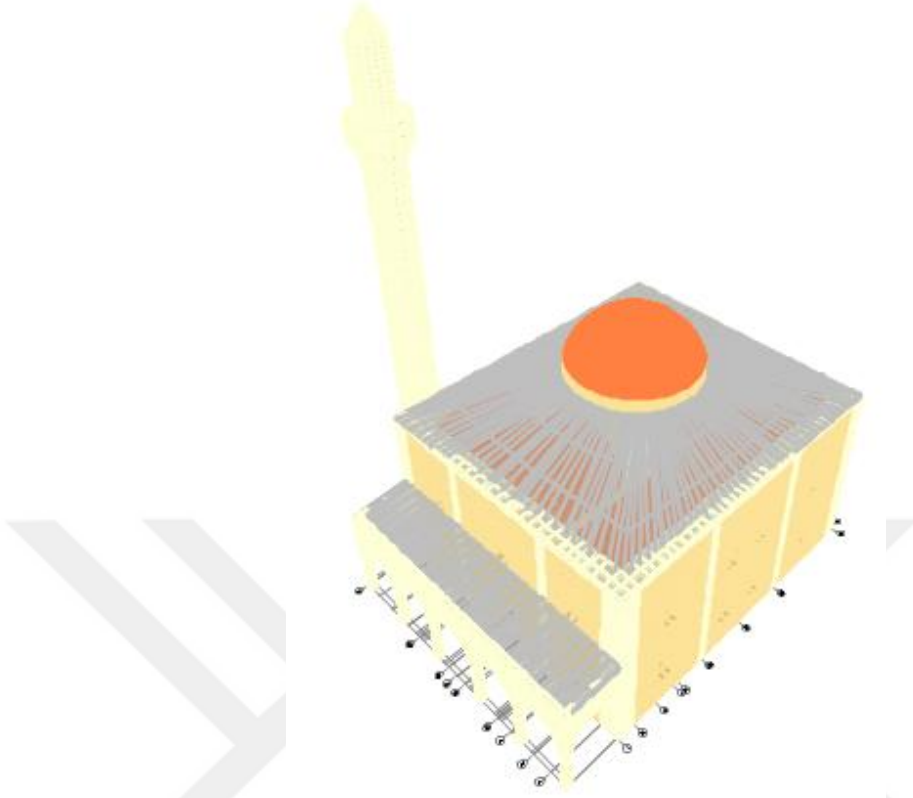
Şekil 4.17 Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami modelleme aşamaları 6



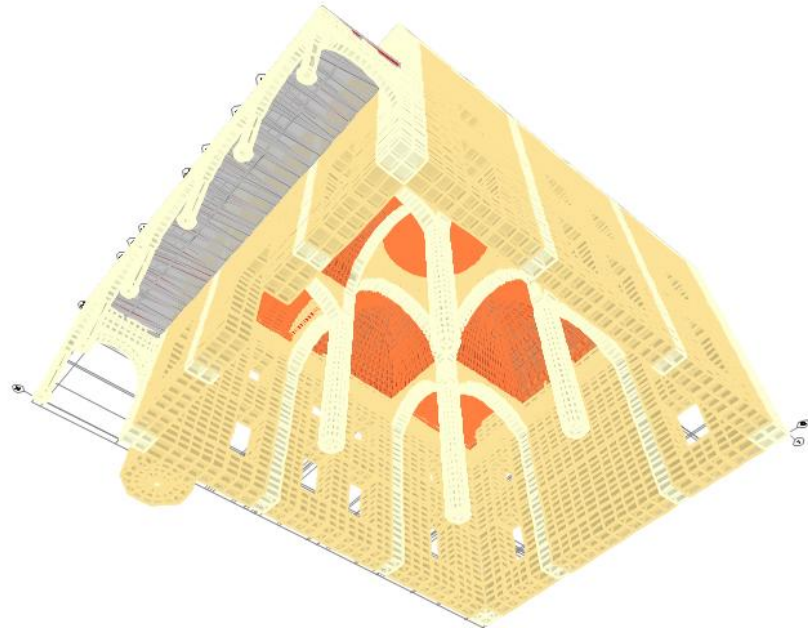
Şekil 4.18 Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami 'nin y düzlemindeki yarım görünümü



Şekil 4.19 Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami Minaresi modelleme aşamalar



Şekil 4.20 Bayburt Yakutiye (Yeni) Camisi 'nin sonlu elemanlar modeli



Şekil 4.21 Bayburt Yakutiye (Yeni) Camisi 'nin alttan görünümü

5 TARİHİ YAPILARDA ONARIM VE GÜÇLENDİRME YÖNTEMLERİ

Tarihi yapıların büyük bir bölümü; depremler, yangınlar, çevresel faktörler, zemin kaynaklı problemler, taşıyıcı sistemdeki düzensizlik ve süreksizlikler nedeniyle yapısal bozulmalara ve hatta yıkımlara uğramışlardır. Hasar görmüş veya analizler sonucu hasar görmesi muhtemel olan tarihi yapıların onarım ve güçlendirme çalışmalarından önce, yapıların zemin özellikleri, taşıyıcı sistemleri, yapılarda kullanılan malzeme özellikleri detaylı bir şekilde araştırılmalıdır.

Tarihi yapılarda onarım sırasında yapılan müdahalelerin derecesi, sağlamlaştırılmadan yeniden yapıma doğru artar. Tarihi dokusunu bozmamak adına en uygun yöntem olarak sağlamlaştırma ile yetinilmelidir.

Tarihi yığma yapılarda uygulanan onarım ve güçlendirme tekniklerini şu şekilde sınıflandırmak mümkündür:

-Sağlamlaştırma

-Malzeme güçlendirmesi

-Taşıyıcı sistemin sağlamlaştırılması

-Zemin sağlamlaştırma

-Bütünleme

-Yenileme

-Yeniden yapım

-Temizleme

-Taşıma (Mahrebel, 2006) .

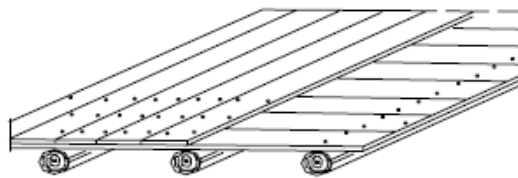
5.1 Sağlamaştırma

5.1.1. Malzeme güçlendirmesi

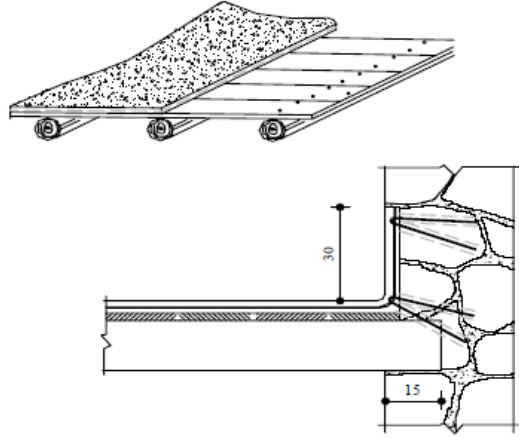
Tarihi yapıların inşa edildikleri yörede bulunan ve yörenin gelenekleri doğrultusunda kullanılan malzemelerin dayanımının artırılması amacıyla çeşitli güçlendirme yöntemleri uygulanmaktadır.

Kerpiç malzemenin sağlamaştırması: Kerpiç üzerine zift sürülerek veya üstleri harçlarla sıvanarak uygulanan bu yöntemler, malzemenin rengine ve dokusuna zarar verdiği için günümüzde uygulanmamaktadır. Günümüzde kerpiç malzeme sürekli bakım yapılarak, çamur harçlarla sıvanarak korunmakta ve böylece eriyerek yok olması önlenmektedir.

Ahşap malzemenin sağlamaştırılması: Amaç; üzerine etkiyen yapı yüklerini karşılaması ve sistemin stabilitesini arttırmaktır. Bu amaçlar doğrultusunda mevcut olan taşıyıcı döşemenin taşıyıcılık özelliğini yitirmiş parçalar değiştirir, çelik çubuk profiller yardımıyla döşemelerin altına “ X “ şeklinde bağlantılar yapılabilir, döşemeyi taşıyan ahşap kirişlerin sayıları artırılabilir. Bunlara ek olarak döşemelerin iki doğrultulu çalışabilmesi amacıyla mevcut ahşap malzeme üzerine dik doğrultuda ikinci bir ahşap malzeme çivilenir (**Şekil 5.1**). Başka bir yöntem ise **Şekil 5.2** ‘de gösterildiği üzere döşeme üzerine hasır çelikli ince bir betonarme tabaka yapılmasıdır.

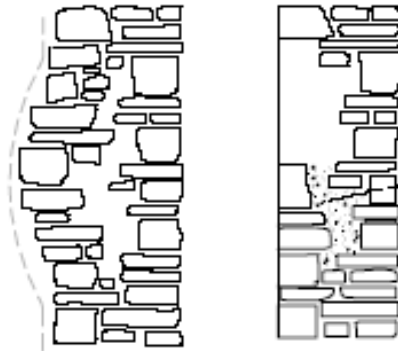


Şekil 5.1 Mevcut ahşap döşeme üzerine uygulanan ikinci ahşap katman (Mahrebel, 2006)



Şekil 5.2 Mevcut ahşap döşeme üzerine uygulanan betonarme katman (Mahrebel, 2006)

Taş öğelerin sağlamlaştırılması: Tarihi yapılarda bulunan rölyef(kabartma), yazıt gibi özel ayrıntıları yaşatmak amacıyla özel kimyasal malzemeler taş yüzeyine püskürtülür. Bu sağlamlaştırma yöntemi taşın türüne ve bozulma durumuna göre belirlenmelidir. Kullanılacak olan kimyasal malzeme taşın özgün yapısını değiştirmemelidir. Uygulamada kullanılan tamir harçları ise; doğal hidrolik kireç, duvarların, fresk sıvalarının ve mozaiklerin güçlendirilmesi için kullanılan grout harçlarıdır (Şekil 5.3).

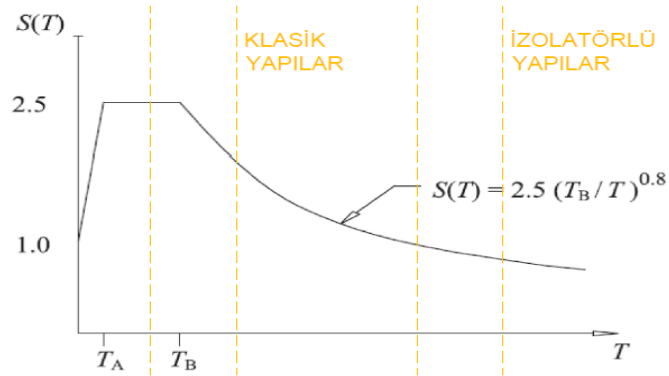


Şekil 5.3 Duvarlardaki hasarlı kısmın beton ya da grout ile doldurulması

5.1.2 Taşıyıcı sistemin sağlamlaştırılması

Doğal afetler, zemin hareketleri, ısı farkları, donma-çözünme gibi uzun süreli doğal etkenler tarihi yapıların taşıyıcı sistemlerinde hasara neden olmaktadır. Geçmişte düşeyden ayrılma, çatlama gibi hasarlar gergilerle, payandalarla desteklenmiş fakat günümüzde ise; betonarme, çelik, lifli polimer, izolatör, enjeksiyon, ön germe, ankraj, temel genişletme ve sağlam zemine inen kazıklı temeller ile destekleme teknikleri uygulanmaktadır. Bu yöntemlere ek olarak kesit genişletme-mantolama, sismik yalıtım gibi tekniklerle de tarihi yapılar güçlendirilmektedir.

Sismik Yalıtım: Taban yalıtımının temel ilkesi; yapıların ve kuvvetli yer hareketlerinin özellikleri göz önüne alarak; yapıların rijitliklerini azaltıp **Şekil 5.4** 'te görüldüğü üzere yapıların periyotlarını uzatmak, sönümlerini arttırarak yapılara daha küçük yatay yüklerin gelmesini sağlamak, yapıların orta şiddetli depremlerdeki hasarının önlenmesi ve çok şiddetli depremlerdeki hasarının daha küçük boyutlara indirilmesidir (Bayülke, 2002).

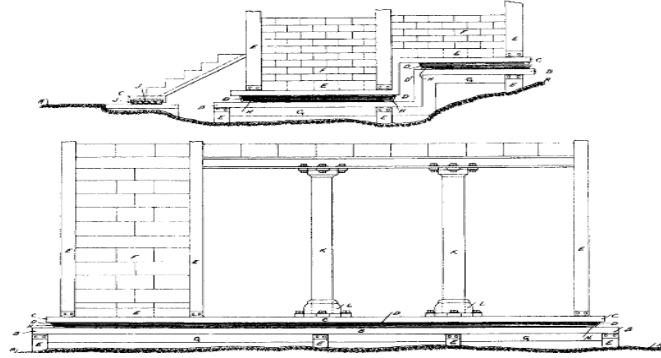


Şekil 5.4 Klasik ve İzolatörlü yapıların periyot karşılaştırması

Temel izolasyon sistemlerinin ilk örneği 2500 yıl önce Efes 'teki Artemis Tapınağı 'nın temelinde kömür parçaları üzerine koyun yünü konularak inşa edilmesidir (**Şekil 5.5-5.6**).



Şekil 5.5 İzmir-Efes 'te bulunan Artemis Tapınağı



Şekil 5.6 İzmir-Efes 'te bulunan Artemis Tapınağı temel izolasyonu

Sismik yalıtımda ilk kauçuk mesnet ise 1969 yılında Yugoslavya'nın Skopie şehrinde üç katlı betonarme bir okul binasında kullanılmıştır. Mesnet Sistemi olarak doğal kauçuk bloklardan yararlanılmıştır.

Sismik izolasyonun binalarda kullanımı için öncü isimlerden biri Amerikalı mimar Frank Lloyd Wright 'tir. Wright 'in kendi tasarımı olan Imperial Oteli 1921 'de Tokyo 'da tamamlanmıştır. Bu otelin inşa edildiği bölgede yaklaşık 20 cm kalınlığında iyi bir toprak zeminin hemen altında yumuşak çamur vardı. Wright 'in

düşüncesi bu binayı yumuşak çamur üzerinde yüzdürerek sismik etkilerden yalıtılmak şeklindeydi. Bunu, binayı yumuşak çamurun üst kısımlarına kadar uzanan kazıklarla bağlayarak gerçekleştirdi. 1923 Büyük Kanto depremde etrafındaki birçok bina göçerken depremi az-orta hasarla atlatan bu tarihi yapı, 1968 yılında yıkılarak yerine bir kopyası Japonya Nagoya 'daki Meiji Mura Müzesi 'nde yeniden inşa edilmiştir (Şekil 5.7).



Şekil 5.7 1923 yılında Imperial Oteli (Özpalanlar, 2004)

Sismik yalıtım tarihi yapılarda ve hastane gibi kullanımında hiçbir aksamanın olmaması gereken yapılarda uygulanmaktadır. Bu yöntem ile;

-Depremde yapıya etkiyecek yüklerin düzeyini, yapının yetersiz olan deprem dayanımının altına indirilebilir.

-Yapının bütün katlarının güçlendirilmesi yerine sadece temel yalıtımı ile yapının mimari özellikleri bozulmadan güçlendirilmesi mümkündür.

-Perde duvar ve kolon eklenmesi gibi klasik güçlendirme yöntemleri, yapının değerli ve yeniden yapılamayacak iç kaplamalarının, fresk ve tavan ya da duvar resimlerinin yıkımına yol açmakta. Temel yalıtımı ile özellikle tarihi yapılarda bu durumlara izin verilmez.

-Taban yalıtımı ile sağlanan deprem yükündeki azalma miktarı yeterli olmayabilir fakat bu yöntem sayesinde gereken güçlendirmenin düzeyi azaltılabilir.

-Bunlara ek olarak, yüksek can güvenliği ve minimum bakım gereksinimi ve şiddetli depremlerden sonra bile hemen kullanım gibi önemli faktörlerin göz ardı edilmemesi gerekir (Saraç, 2003).

Sismik yalıtım cihazlarını ve metotlarını şu şekilde sıralayabiliriz:

-Kauçuk esaslı sismik izolatörler

-Düşük sönümlü kauçuk izolatörler (LDRB)

-Yüksek sönümlü kauçuk izolatörler (HDRB)

-Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler (LRB)

-Sürtünme esaslı sismik izolatörler

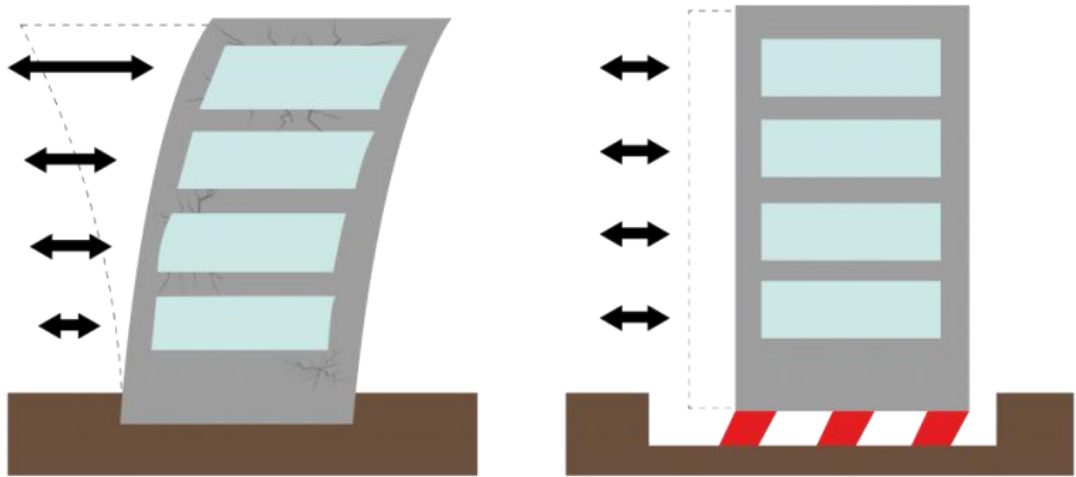
-Enerji sönümlendirici cihazlar;

-Vizkoz esaslı sismik sönümlendiriciler

-Kurşun çekme sönümlendiriciler

-Çelik sönümlendiriciler

-Vibrasyon kontrol cihazları

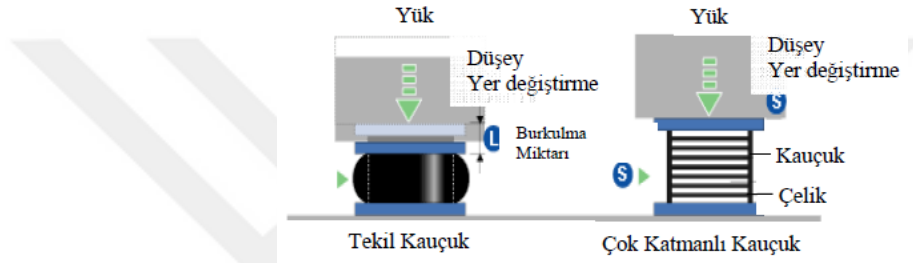


Ankastre mesnetli yapı,

Taban izolasyonlu yapı

Şekil 5.8 Deprem etkisi altında ankastre mesnetli ve taban izolasyonlu yapı hareketi

Kauçuk esaslı sismik izolatörler: Doğal ya da sentetik kauçuğun 8-20 mm kalınlığında kesilerek, 2-3 mm kalınlığındaki çelik levhalara yüksek sıcaklık ve basınçla yapıştırılmasıyla oluşan izolatör tipidir. İlk kez 1969 yılında, Üsküp’te bir okul inşaatında doğal kauçuk bloklarla sismik izolasyon uygulaması yapılmıştır. Ancak uygulamada çelik levhalar kullanılmadığından kauçuk blok yanal yönde şişmiştir ve yeterli düşey rijitlik sağlanılamamıştır. Yapı deprem hareketinin etkisinde yanal yer değiştirme yaparken yukarı yönde sıçrayabilmektedir. İzolatöre yerleştirilen çelik levhalar; düşey rijitliği artırırken, yanal burkulmayı da önlemektedir (**Şekil 5.9**).



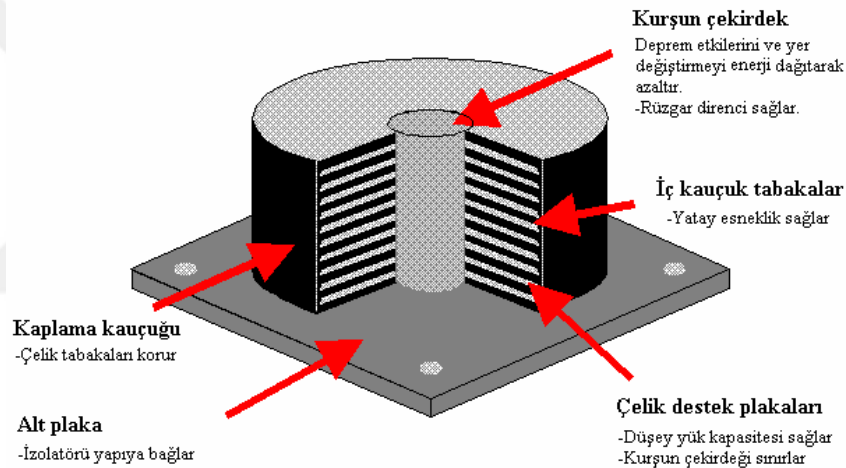
Şekil 5.9 Kauçuk blok ve çelik levhalı mesnedin yük altındaki şekil değişimi (Sevim, 2016)

Bu izolatörlerde yatayda her yönde kayma deformasyonu yaklaşık %150’dir. İzolatör cihazının orijinal pozisyonuna dönmesi düşey yüke, içindeki çelik levhalara ve kurşun çekirdeğe bağlıdır. Yatayda ve düşeyde hesaplanan deplasmanları karşılayabilecek kapasitedeki kauçuk esaslı sismik izolatör taban plakları yardımıyla kolon altına yerleştirilir (**Şekil 5.10**).



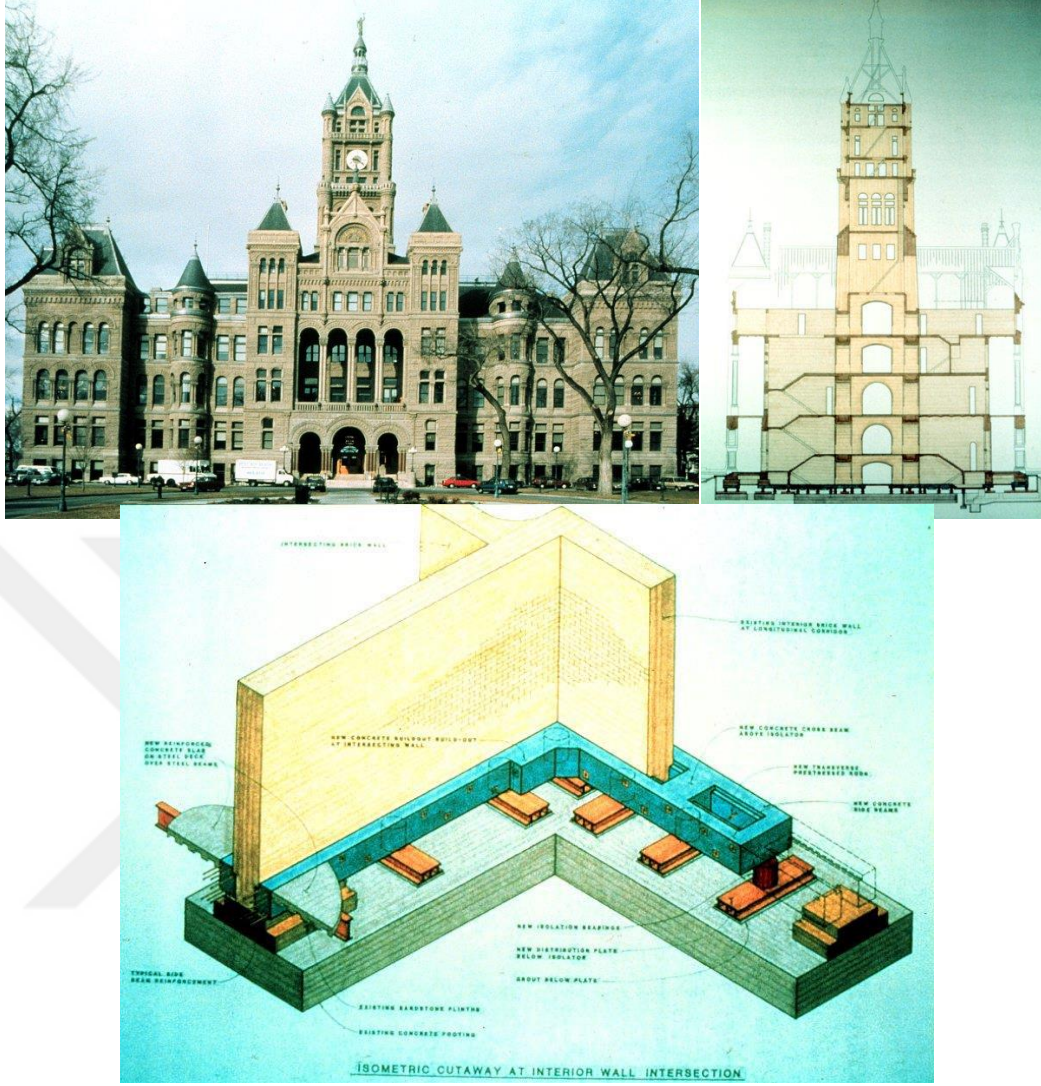
Şekil 5.10 Kauçuk esaslı kurşun çekirdekli kauçuk izolatör (Oflaz, 2013)

Kauçuk yastığın yatay yük etkisi ile ötelenmesi **Şekil 5.10** 'da gösterilmektedir. Kurşun çekirdekli izolator modeli, 1975 yılında Yeni Zelanda 'da geliştirilmiş, Japonya ve ABD ülkelerinde de geniş bir alanda kullanılmıştır. Yastıkların arasına konulacak çelik plaklar ile üst yapının ağırlığını taşıyabilmek ve ara kauçuk tabakaların düşey yükler altında yanal şişmesini engellemek için kauçuğun düşey rijitliği artırılır. Düşey yönde yastığın davranışını değiştiren bu çelik plaklar, yastığın yatay yönde ötelenmesini etkilememektedir. Sistem yatay kuvvetlere maruz kaldığında çelik tabakalar kurşun başlığı şekil değiştirmeye zorlar. Kurşun tabakanın akma gerilmesi yaklaşık 10 MPa 'dır ve kurşun çekirdeğin enerji yutabilme kapasitesi ile izolatorün yatay yer değiştirmesi azalmaktadır.



Şekil 5.11 Lamine edilmiş (tabaklanmış) kauçuk esaslı kurşun çekirdekli izolator (Oflaz, 2013)

The Salt Lake City and County Building, sismik izolasyon sistemi uygulanmış ilk güçlendirme projesidir. 19. yüzyılın son çeyreğinde 40x80 m² alana, tuğla, taş ve kumtaşı kullanılarak inşa edilen 5 katlı tarihi yapının orta kısmında 20 katlı, 69 m yüksekliğinde 4 m² 'lik alanlı, taştan yapılmış bir saat kulesi vardır (**Şekil 5.12**).



Şekil 5.12 The Salt Lake City and County Building (Özpalanlar, 2004)

Sismik izolasyon, temel sistemi ile yapı arasına yerleştirilen 447 elastomer mesnet ve dış duvarların altına yerleştirilen kurşun çekirdekli mesnetlerle sağlanmıştır. Güçlendirme için çeşitli alternatifler düşünülmüş, şiddetli deprem etkisinde hasarı önlemekte en etkili ve en ekonomik yöntem olarak görülen sismik izolasyon seçilmiştir (Şekil 5.12). Yapının doğal periyodu 0,5 sn. iken sistemin uygulanmasından sonra 2,5 sn. ye yükselmiştir. Bu değerın taban kesme kuvvetinde 1,5 kat mertebesinde bir azalmaya sebep olacağı hesaplanmıştır. Bilgisayar simülasyonlarına göre yapı 0,20 g yer ivmesine sahip depremde elastik

davranabilecektir. Bu değere geleneksel güçlendirme yöntemleriyle ulaşılmasının imkansız olduğu görülmüştür. Proje, sismik izolasyonun uygulandığı ilk güçlendirme projesi olmasına rağmen, öngörülen bütçe aşılmadan ve zamanında bitirilebilmiştir.

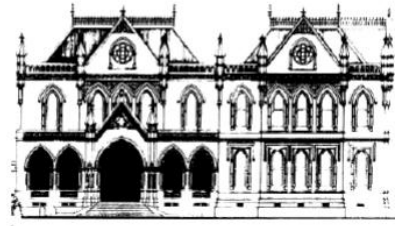
San Fransisco Belediye Binası, dünyanın en büyük güçlendirme projelerinden biridir. 1912 yılında inşa edilmiş olan yapı 1989 Loma Prieta depreminde ciddi derecede hasar görmüştür. Projenin amacı, tarihi ve mimari değerlere zarar vermeden yapının sismik kapasitesini artırmaktır. 5 katlı, 90 m uzunluğundaki bu yapının sismik izolasyonunda 500 elastomer mesnet kullanılmıştır (**Şekil 5.13**).



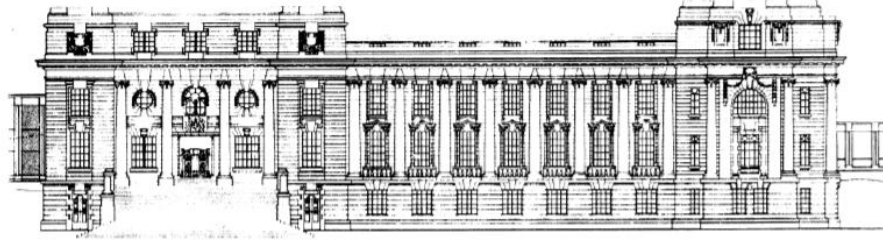
Şekil 5.13 San Fransisco Belediye Binası

Yeni Zelanda Parlamento Binası (1912) ve Parlamento Kütüphanesi (1898) binalarının güçlendirilmesi, 165 milyon \$ 'a varan maliyetiyle ülkede gerçekleştirilen en büyük güçlendirme projelerinden biridir. Yapıların tarihi ve mimari değerleri ile aktif Wellington fayına yakın olmaları düşünüldüğünde geleneksel tasarım anlayışına göre güçlendirme uygulamasından yaklaşık %3 daha maliyetli olmasına rağmen güçlendirmede sismik izolasyonun kullanılmasına karar verilmiştir. Bu kararın verilmesinde hem sağlayacağı yüksek depreme dayanıklılık performansı, hem de mevcut değerli içeriğe, tarihi dokuya en az zarar vererek uygulanacak olması etkili olmuştur. Yapının sismik izolasyonu %75 'inden fazlası kurşun çekirdekli olmak üzere 400 civarı yüksek sönümlü kauçuk mesnet ile gerçekleştirilmiştir. 5 katlı

Parlamento Binası'nın iç duvarları ile bodrum katının tüm duvar ve kolonları güçlendirildi. Yapının mevcut temelleri teker teker kesilip çıkarılarak yerlerine izolatörlerin monte edileceği betonarme temeller yerleştirildi. Başarılı sonuçlar almak için projelendirme aşamasında, birçok testler yapıldı. Her iki yapının da doğal periyodunun yaklaşık 0,5 sn.den 3,0 sn.ye yükseldiği görülmüştür. Bu yığma binaların 7,5 Richter şiddetindeki depreme dayanacak kapasitede güçlendirildikleri tahmin edilmektedir (Şekil 5.14).

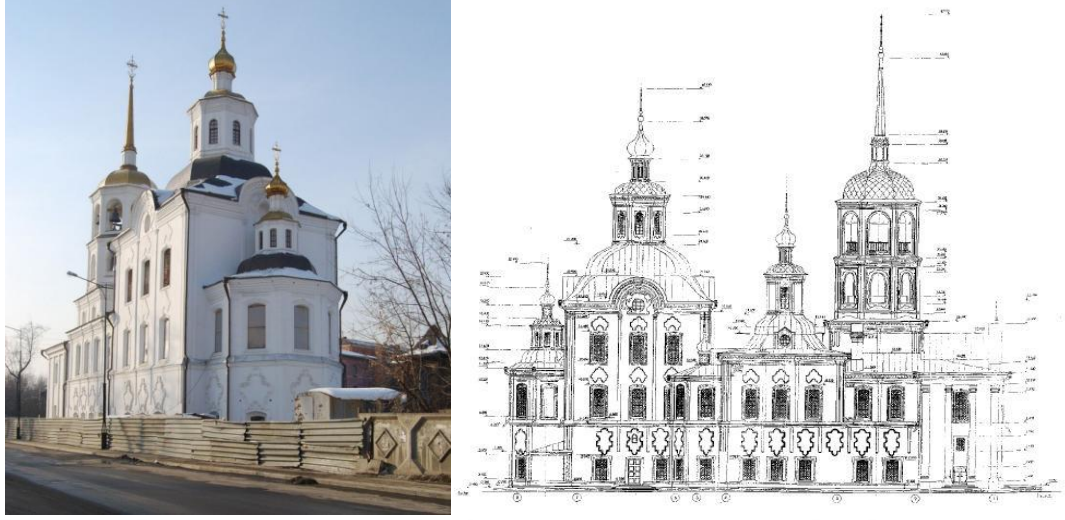


New Zealand Parliament Library



New Zealand Parliament House

Şekil 5.14 Yeni Zelanda Parlamento Binaları

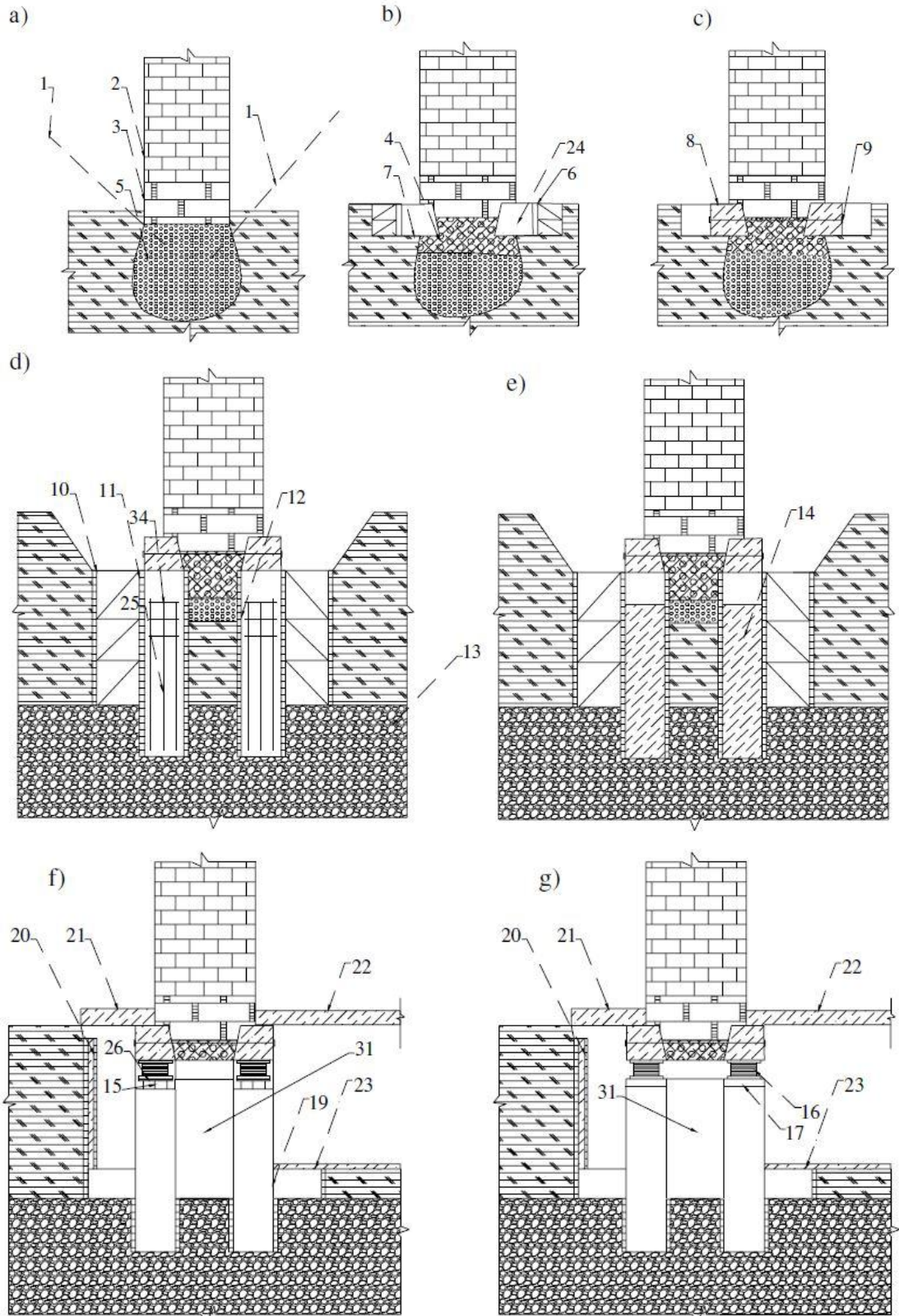


Şekil 5.15 Kharlampiyevskaya (Mikhailo-Arkhangelskaya) Kilisesi ve rölevesi (Smirnov vd., 2004)

Rusya’da 1779-1790 yılları arasında inşa edilmiş tarihi ve kültürel bir eser olan Kharlampiyevskaya (Mikhailo-Arkhangelskaya) Kilisesi ’nin sismik yalıtımında 92 adet metal kauçuk izolatör kullanılmıştır (**Şekil 5.15**). Yapı ağırlığı tahmini olarak 158.060 kN olan bu tarihi kiliseye sismik izolatörlerin yerleştirilme aşaması şöyledir:

- 1) Zemin pedinin (5) üst bölgesini (4) güçlendirmek için enjektörlerle (1) beton harcı enjekte edilmiştir.
- 2) 3 metrelik hendekler (24) belirli aralıklarla kazılmıştır (**Şekil 5.16.b**). Açılan hendeklerin tabanları düzleştirilerek iki kat polietilen lif (7) ile kaplanmıştır (**Şekil 5.16.b**). Kalıp panelleri (6) monte edilmiştir (**Şekil 5.16.b**). Sismik payandaların (26) sabitlenmesi için antisismik kemer (8) desteklenmiştir (**Şekil 5.16.c**).
- 3) Tüm binaya destek antisismik kemer yerleştirildikten sonra, sismik payandaların yerleştirileceği her yerde ikinci bir delik açılarak (25), duvarlar sabitlenmiştir (10), sütun kalıp (11,12) oluşturulmuştur (**Şekil 5.16.d**). Sonrasında sismik destek kolonları (14) yapılmıştır (**Şekil 5.16.e**).
- 4) Zemin ve beton kütesindeki (4) kuyu delikleri delinmiş, destekler sismik kemer içinde bırakılarak kaplin civataları (9) bunlardan geçirilmiştir (**Şekil 5.16.c**).

- Civatalar sıkılarak kuyuların özel kanallar (18) yardımıyla basınç ile doldurulması gerçekleştirilmiş ve zemin betonunun güçlendirilmesi sağlanmıştır (4).
- 5) Çevre boyunca her bir ikinci temel sütunu çıkarılıp (%70 beton gücüne ulaşıktan sonra), delik desteği sökülmüş kalıp çıkarılmıştır. Daha sonra temel tabakalar (19) yerleştirilmiş ve temeller (31) bağlanmıştır (**Şekil 5.16.f,g**).
- 6) Kalan temeller, sürekli bir kayışa bağlı ayrı temel plakalarla dikilmiştir.
- 7) İç duvarların temelleri benzer şekilde düzenlenmiştir.
- 8) Tüm temeller hazır olduktan sonra ve antisismik kemer desteklendikten sonra, binanın altındaki hendek, zemin katın düzenlenmesi için açık olmalıdır. Bodrum katın takviyeli betonarme duvarları (20) ve bodrum katın (22) üzerindeki dökme betonarme tavan, destek antisismik kemer üzerinde ve ona sıkı bir şekilde bağlanmıştır (**Şekil 5.16.g**).
- 9) Dış duvar kontrolü boyunca kemer ile bodrum duvar arasındaki mesafeyi örtmek zorunda olan, destek antisismik kemerin dış kolunda rijit bir şekilde inşa edilmiş, katı dökme betonarme levha (21) plaka oluşturulmuştur. Üst bodrum duvar meyilli ve dirsekli plaka (21) arasında, bina üstündeki kısmı yer altı kısmından ayıran, 50 mm yüksekliğinde yatay bir antisismik bağlantı sağlanmıştır. Derz, polietilen kutuya sarılı mineral yün levha ile doldurularak tiyolkol sızdırmazlık maddesi ile kapatılmıştır.
- 10) Bodrum kat tamamlandıktan sonra kauçuk izolatörler yerleştirilmiştir.
- 11) Kauçuk izolatörlerin desteklenmesi aşağıdaki sırayla sağlanmıştır:
- Destek kolonları (**Şekil 5.16.f,g**) üst gömülü parçalara (27) dört civata ile beton uygularken kalan boşluklara kauçuk izolatörler (16) monte edilmiştir.
 - Temel civataları (15) ile alt gömülü parçalar (27'ye benzer), kauçuk izolatörler alt bağlantı plakalarındaki dört civata ile monte edilmiştir.
 - Takviyeli beton destek pedleri (17) 50 mm'lik bir boşluk bırakılarak gömülü parçalar altında beton ile sabitlenmiştir.
- 12) Tüm kauçuk izolatörler monte edildikten sonra, destek kolonları (30) izolatörlerin altından çıkartılmıştır.

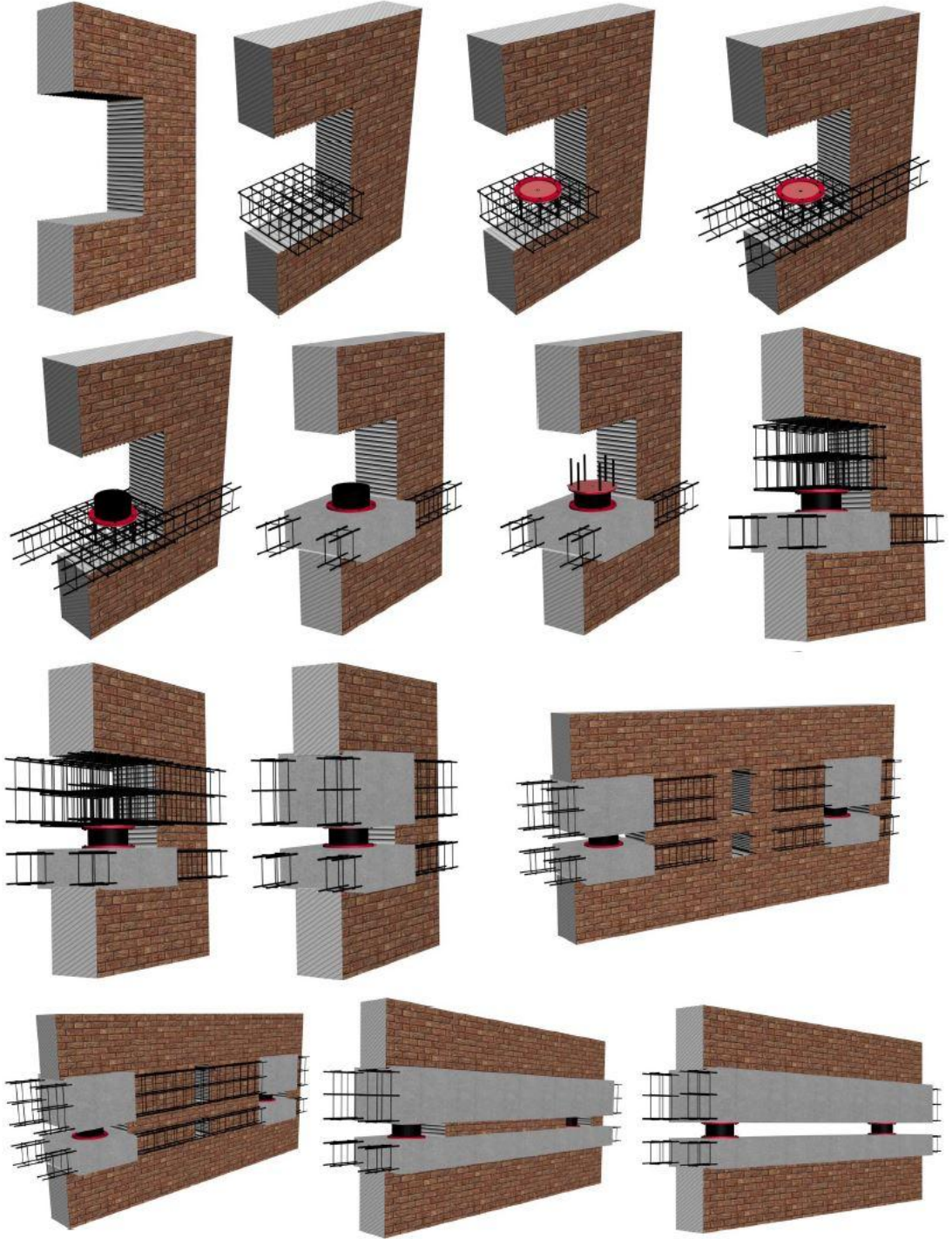


Şekil 5.16 Kauçuk İzolatörlerin yerleştirilme aşamaları (Smirnov vd., 2004)

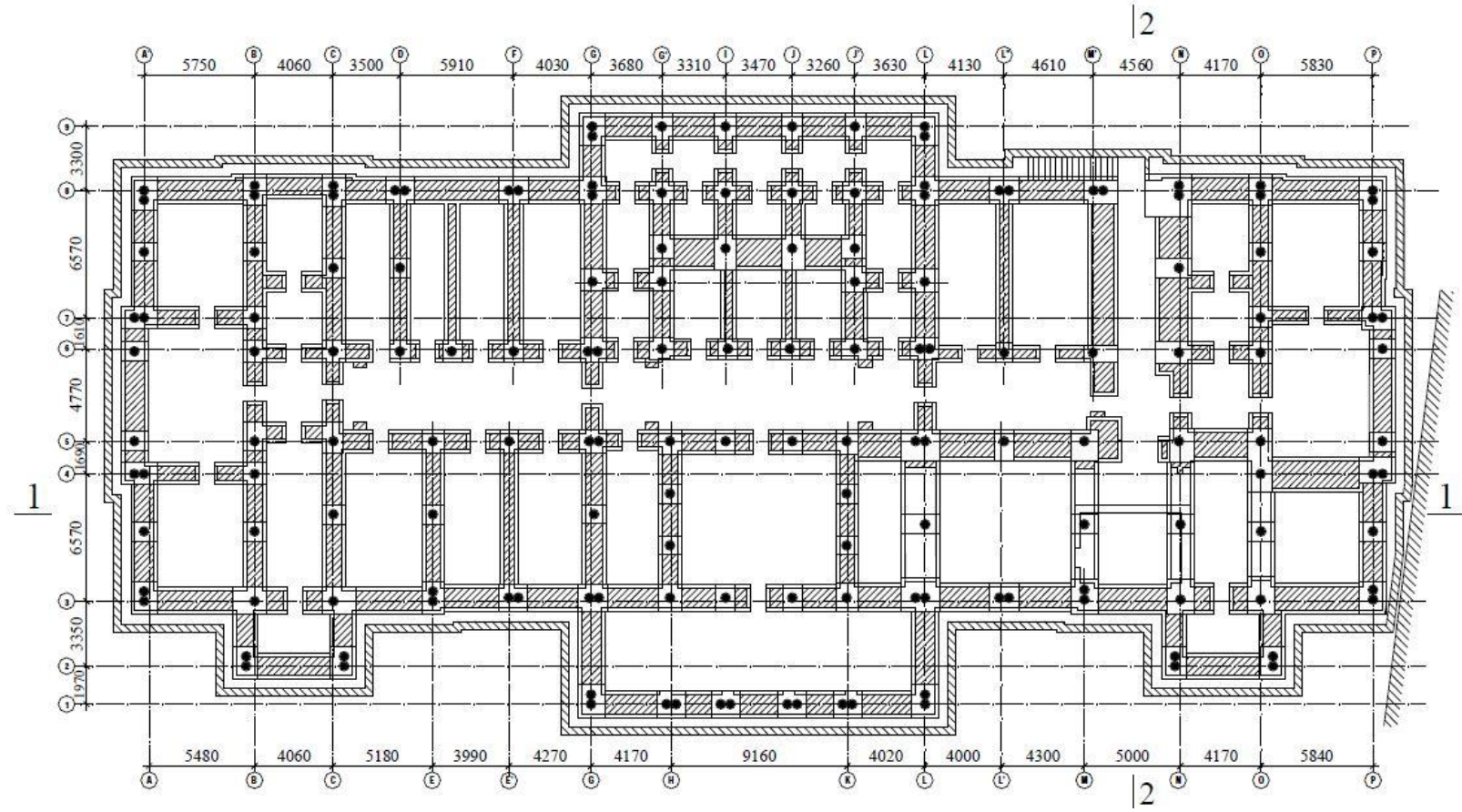


Şekil 5.17 Romanya-Iasi Belediye Binası

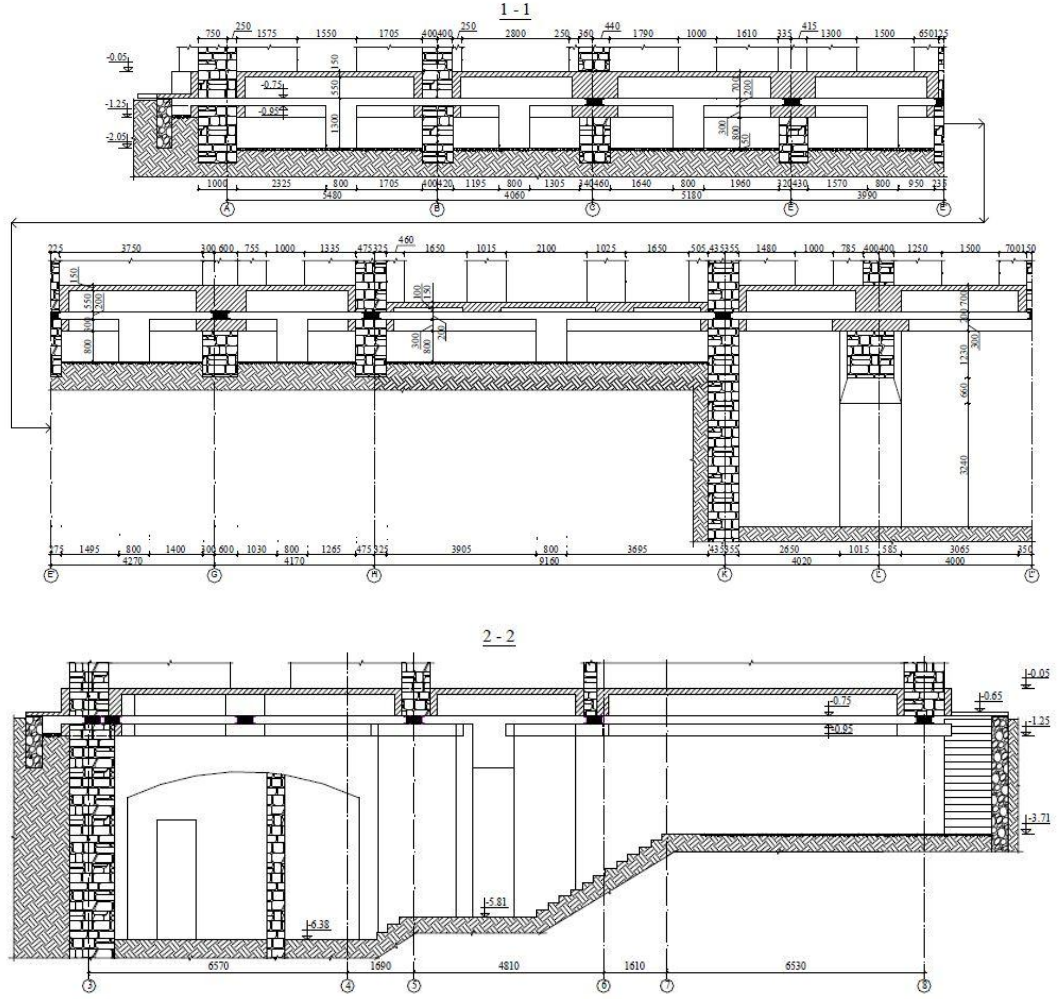
Romanya'nın Yaş kentinde bulunan tarihi Iasi Belediye Binası'nın sismik yalıtımında kauçuk izolatörler kullanılmıştır. Öncelikle yapının bodrum katında bulunan duvarlar izolatörlerin yerleştirilebilmesi için kesilmiştir. Donatılar **Şekil 5.18**'de de görüldüğü üzere yerleştirildikten sonra kauçuğun oturacağı çelik levha sabitlendikten sonra beton dökülmüştür. Kauçuk izolatör çelik levhaya monte edilmiş, alt tabaka için uygulanan işlemler üst tabaka için de aynen gerçekleştirilmiştir. Son olarak izolatörler monte edilip her bir izolatör arasında kalan taş duvarlar da kesilmiştir. Her izolatör arası betonarme bloklar ile devam ettirilip alt ve üst bloklar arasındaki taş elemanlar çıkartılmıştır. Böylece deprem anında, tarihi yapıya yerleştirilen izolatörlerin kotundan itibaren alt ve üst kısmı birbirinden bağımsız hareket edebilmesi için yapının sismik yalıtımı sağlanmıştır. Yerleştirilen kauçuk izolatörler yerleştirilme planları **Şekil 5.19** ve **Şekil 5.20**'de gösterilmiştir.



Şekil 5.18 Yığma yapılarda sismik izolasyon sisteminin kurulum aşamaları (Melkumyan vd., 2011)



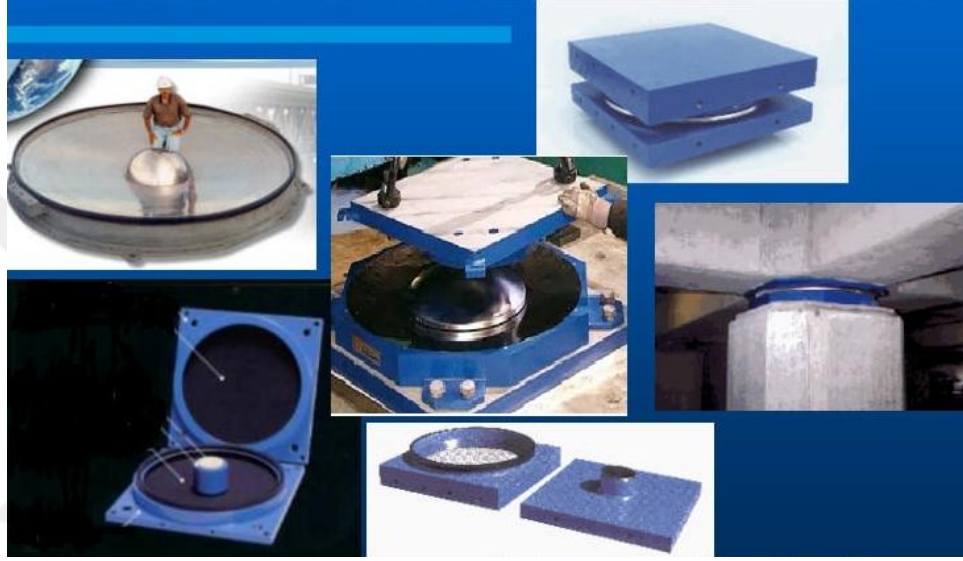
Şekil 5.19 Romanya-Iasi Belediye Binası'na yerleştirilen kauçuk izolatörlerin planı (Melkumyan vd., 2011)



Şekil 5.20 Romanya-Iasi Belediye Binası 'na yerleştirilen kauçuk izolatörlerin düşey kesit planı (Melkumyan vd., 2011)

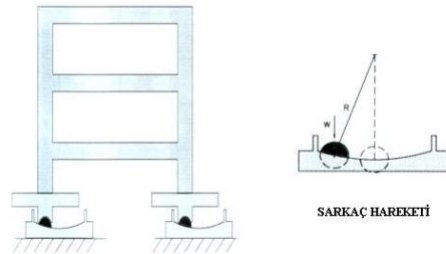
Sürtünme esaslı sismik izolatörler: Sürtülmeli sarkaç sistemi kayma hareketi ve geri-döndürme kuvvet geometrisini birleştiren bu sürtülmeli izolasyon elemanları özel metaller kullanılarak iç bükey küresel yüzey üzerinde kayabilen mesnet elemanlarıdır. Bu sistemin teorik analizlerinde Coloumb sürtünme kabulü kullanılır. Fakat bu yaklaşımın gerçek davranışı tam olarak ifade etmesi mümkün değildir. En yaygın kullanılan kayma yüzeyi malzemeleri paslanmaz çelik üzerine yerleştirilen teflondur.

Kolon altına yerleştirilen sürtünme esaslı sismik izolatörler, iç bükey %5 sürtülmeli yüzeyleri sayesinde tabandan gelen deprem yüklerinin %5 'lik kısmını aktarırlar. Yapıya etkiyen yük ile oluşan yatay hareket sırasında binayı yükselterek gelen enerjiyi sönmülemekte, yapının doğal titreşim periyodunu arttırmakta ve böylece deprem etkisini %80 oranında azaltmaktadırlar.



Şekil 5.21 Sürtünme esaslı sismik izolatörler (Oflaz, 2013)

Deprem enerjisi, iç bükey kısmın sarkaç prensibine dayanarak yapı ağırlığının kullanılmasıyla sönmülenmiş olur (**Şekil 5.22**).



Şekil 5.22 Sürtülmeli sarkaç sistemin çalışma mekanizması (Hoşbaş, 2006)

Sürtülmeli sarkaç sistemlerde kullanılan kayıcının yüzeyi, düşük sürtülmeli kompozit bir malzeme ile kaplıdır. İzolatörlerin rijitlik merkezi ile yapının kütle merkezinin çakışmasıyla yapının burulma hareketi azalır. Sürtülmeli sarkaç izolatörün yapının ağırlığından bağımsız oluşu sayesinde deprem etkisine yapının yanıtı kontrol edilmektedir.

Sürtülmeli sarkaç tipindeki bir izolatörün taşıdığı yük W , yaptığı yatay yer değiştirme D , sürtünme katsayısı μ ve sürtünme kuvveti F_s olsun.

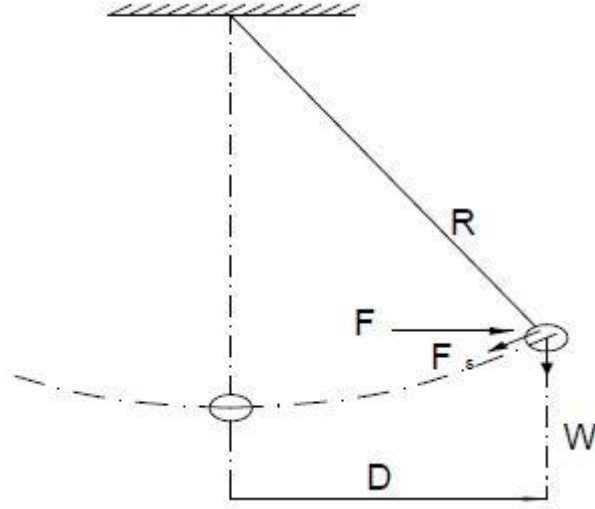
Sistemde meydana gelen F tepki kuvveti şöyle ifade edilir:

$$F = \frac{W}{R} * D + \mu * W [\text{sgn}(\dot{D})] \quad (5.1)$$

F : Kütlein yükselmesinden kaynaklanan geri dönüş kuvveti yani sarkaç kuvvetidir.

R : Küresel yüzeyin eğrilik yarıçapı

$[\text{sgn}(\dot{D})]$: Kayma hızına bağlı durumu gösteren bir işaret fonksiyonunu ifade etmektedir.



Şekil 5.23 Sürtünme esaslı sismik izolatör sisteminin serbest cisim diyagramı ve temel parametreleri (Demir, 2008)

“ F ” sarkaç kuvveti bir yatay rijitlik (K_H) sağlamaktadır. Bu yatay rijitlik;

$$K_H = \frac{W}{R} \quad (5.2)$$

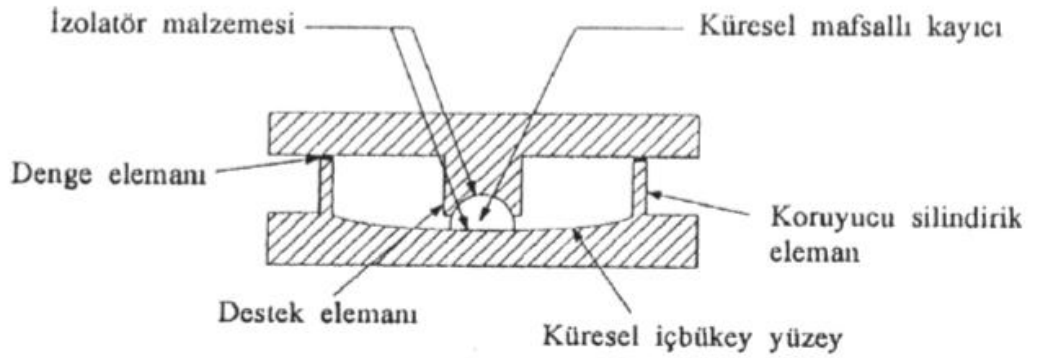
İzolatörün periyodu konkav yüzeyin eğrilik yarıçapı olan “R” nin seçilmesi ile belirlenir. Periyot, yapı ağırlığından bağımsızdır. Rijit yapının doğal titreşim frekansı şu formül ile hesaplanır :

$$T=2\pi\sqrt{(R/g)} \quad (5.3)$$

Yukarıdaki denklemden anlaşılacağı üzere, izolasyonlu yapı periyodu taşınan kütleden bağımsızdır. **Şekil 5.23** ‘te yer alan F_s terimi ise mafsallı kayıcı ve içbükey (konkav) yüzey arasında oluşan sürtünme kuvvetini ifade etmektedir. Sürtünme katsayısı μ ; p basıncına ve kayma hızı \dot{D} ‘ne bağlıdır. Basınç değeri arttıkça, sürtünme katsayısı azalmakta 51 mm/sn ‘nin üzerindeki hızlarda ve 14 MPa ‘dan yüksek basınçlarda ise hızdan bağımsız hale gelmektedir. Sürtünmeli sarkaç tipteki izolasyonlu sistemlerde geri dönüş, kuvvetinin çok doğrusal özellik göstermesi, kayma hareketi meydana gelmeden önce sistemin yüksek rijitliğe sahip olması ve kayma hareketi nedeniyle oluşan sürtünme dolayısıyla enerji yutulması gibi özellikler, kuvvet-yer değiştirme histerezis eğrilerinin karakteristik özellikleridir.

Efektif rijitlik aşağıdaki eşitlik ile hesaplanabilir :

$$K_{eff} = \frac{W}{R} + \frac{\mu * W}{D} \quad (5.4)$$



Şekil 5.24 Sürtünmeli sarkaç sistemler (Özpalanlar, 2004)

Sürtünme esaslı sismik izolatör tipteki sistemlerin diğer karakteristikleri aşağıdaki eşitliklerde verildiği gibidir:

$$\beta_{\text{eff}} = \frac{4\pi Wd}{2\pi\left[\left(\frac{W}{R}\right)D + \pi W\right]D} = \frac{2}{\pi} * \frac{\pi}{\left(\frac{D}{R}\right) + \pi} \quad (5.5)$$

D yatay yer değiştirmesinden sonra düşey yöndeki δ_V yer değiştirmesi ise;

$$\delta_V = R \left[1 - \cos \left(\arcsin \frac{D}{R} \right) \right] \text{ denklemi ile hesaplanır.} \quad (5.6)$$

Sürtünme esaslı izolatörlerin sarkaç rensibine dayanan çalışma esasında; deprem yükü etkisi altında yapıda oluşan yükselmeler yükü fazla olan yapılarda sarkaç altındaki plakanın yırtılmasına sebep olabilmektedir. Bu sebeple yükün az olduğu kolon altlarında sürtünme esaslı, yükün fazla olduğu kolon altlarında ise kauçuk esaslı izolatörler tercih edilmektedir (Şekil 5.25). Bu sistemlere de karma (Hibrit) sistem adı verilmektedir.



Şekil 5.25 Çelik yapıda karma sistem-Dış kolon altlarında kauçuk esaslı, iç kolon altlarında sürtünme esaslı izolatör (Ofraz, 2013)

Sürtüneli sarkaç modeli uygulamalarından biri Amerika 'da “ U.S. Court of Appeals “ te uygulanan 256 izolatörden biridir. San Francisco'da bulunan yapı, tarihi bir mahkeme binasıdır. İki büyük deprem atlattıktan sonra temel altlarına yerleştirilen FPS sistemi ile iyileştirmeye gidilmiştir. (Chopra, 1995) Her kolon temel ile birleştiği noktadan geçici kriko sistemi ile desteklendikten sonra kesilmiş, daha sonra bu birleşim yerlerine izolatörler yerleştirilmiştir.



Şekil 5.26 San Francisco'da bulunan Temyiz Mahkemesi

Enerji sönmümlendirici cihazlar : Yatay rijitlik sağlayacak akslara yerleştirilen bu sistemin kullanım amacı; yapıdaki yatay hareketleri minimuma indirmek, yatay deprem enerjisini absorbe etmek ve sönmümlenektir. Hidrolik esaslı sıvıların sıkışması prensibine dayanarak çalışan cihazlar, yatay yükleri lineer olmayan bir mantık ile sönmümledikleri için rijit bağlantılardan daha kullanışlı ve elverişlidir.



Viskoz esaslı

çelik

kurşun

Şekil 5.27 Enerji söndürücü sistemler (Mahrebel, 2006)

Vibrasyon kontrol cihazları: Yapının en üstüne yerleştirilen kütleler yardımıyla deprem sırasında yapının yapacağı deplasmanla ters yönde uyumlu hareket ederler. Böylece bu kütleler, yapının yatay deplasmanlarını minimuma indirmeye çalışır (Şekil 5.28).



Şekil 5.28 Vibrasyon kontrol cihazları



Şekil 5.29 Sismik yalıtımlı bir binanın giriş kısmı (Oflaz, 2013)

Şekil 5.29 'da sismik yalıtımlı binanın giriş kısmındaki basamaklarla, zemin kat döşemesi arasındaki boşluk gösterilmektedir.

Yapı tabanına yerleştirilecek yalıtım araçlarının düşey yönde rijitliği büyük olması, yapının düşey yükünü taşıyabilecek kapasitede olması ve uzun süre dayanıklı olması gerekmektedir.

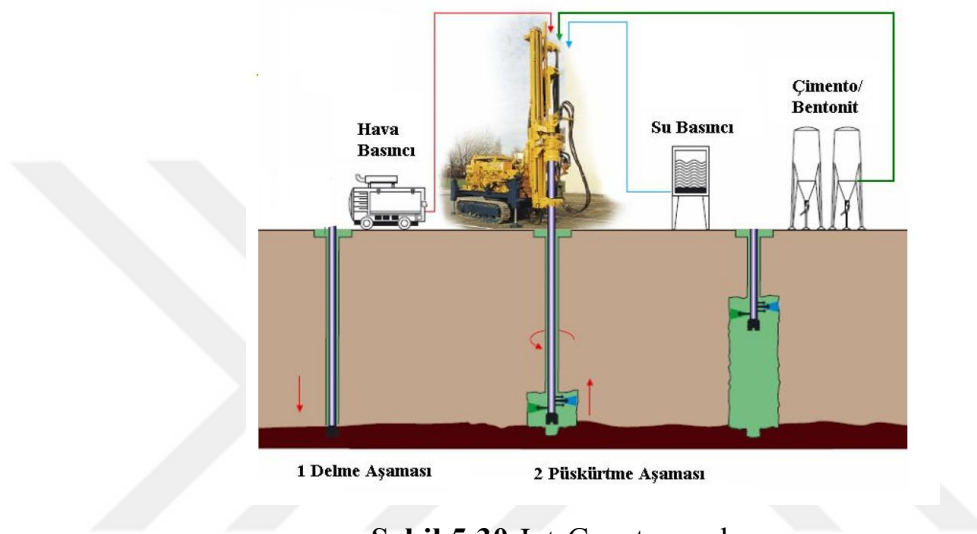
Sismik yalıtım araçlarının yumuşak zeminlerde kullanılması; yapı periyodunu arttırması halinde yapıya gelecek deprem yükünü de arttıracığından ötürü zararlıdır. Kullanımının zararlı olacağı bir başka durum ise bitişik nizamda sismik yalıtımın uygulanmasıdır.

5.1.3 Zemin sağlamlaştırma

5.1.3.1 Temel altı zeminin ıslahı

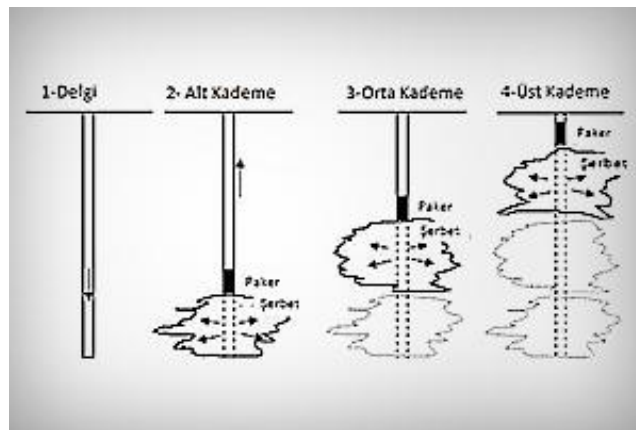
Yer altı suyu rejimindeki değişiklikler, çok sıkıştırılabilir tabakaların varlığı, sıkışabilir zemin tabakalarının farklı kalınlık veya özellikte olması gibi etkenlerden dolayı temel zemini ıslah edilmektedir.

Jet-Grout uygulaması : Bu teknikteki esas; delici bir takımın istenilen derinlikte 4” çapında delik açarak hazırlanan harcın özel aletlerle alttan yukarıya doğru istenilen seviyeye kadar zemini kesip çakıl ve kumu bünyesine alarak 320-440 atmosfer basınç ile zemine enjekte edilmesi, böylece kolon oluşturmasıdır. Zemin yapay olarak taşlaştırılıp taşıyıcı kolonlar oluşturulması ile temel altı zemini ıslah edilmiş olur (Şekil 5.30).



Şekil 5.30 Jet-Grout uygulaması

Enjeksiyon uygulaması : Zeminin geçirirliğin azaltılıp kayma mukavemetinin artırılması için kullanılan zemin iyileştirme tekniklerinden biridir. Çimento, silikat esaslı ve reçine esaslı harçlar zemine enjekte edilerek temel altı zemini ıslah edilmiş olur (Şekil 5.31).



Şekil 5.31 Zemin enjeksiyon uygulaması

5.1.3.2 Temelin güçlendirilmesi

Tarihi yapıların yenilenmesi veya uygulanan güçlendirme metotlarından sonra yapı yüklerinin artması ile temellerin yeni yükleri taşıyabilmesi için temellerin de güçlendirilmesi gerekebilmektedir. Temel güçlendirmesinden önce sondajlar, deneme çukurları açılmalı ve numuneler üzerinde laboratuvar ortamında deneyler yapılarak zemin incelenmelidir.

Temel güçlendirilmesinde temelin genişletilmesi veya derinleştirilmesi kazı yapılarak mevcut temelin altına ilave beton kütle oluşturulması ile yapılırken kazı derinliğinin fazla olması veya yer altı suyunun oluşturduğu zorluklar nedeniyle bu yöntem uygulanamayabilir.

Kısa parçalar halinde bir kriko yardımı ile zemine itilerek yerleştirilen burgulu kazıklar veya jet-grout yöntemi ile temel yüklerinin daha derindeki taşıyıcı tabakalara aktarılması daha avantajlı yöntemlerdir.

5.2 Bütünleme

Bir kısmı hasar gören ya da yok olan yapının tasarımındaki ilk bütünlüğüne kavuşturulması işlemdir. Bütünlemenin yapılabilmesi için ilk tasarıma ilişkin verilerin bulunması önemlidir fakat veri bulunmaması halinde yarısı yıkılan kısımlar simetriden yararlanılarak bütünlenebilir. Yapılan onarım sonrasında anıtın uygun bir yerine restorasyonun yapıldığı tarih, yaptıran ve yapan mimar ile ilgili bir yazıt yerleştirilir.

5.3 Yenileme

İlk yapılış amacından farklı bir işleve hizmet etmek için uyarlanan tarihi yapılar yenileme işlemine tabi tutulur. Yangın, bakımsızlık nedeniyle tavan ve döşemelerde hasar bulunuyor ve ilk tasarımına ait yeterli veri bulunmayan yapılarda yeni bir iç

düzenleme yapılmasına izin verilmektedir. Çok önemli plan ve iç mekan değerlerine sahip tarihi yapılarda yeni kullanıma elverişli restorasyon uygulamaları, tarihi yapının anısını sürdüren düzenlemeler yapılması uygun olur.

5.4 Yeniden Yapım

Bir yapım tekniğinin sürdürülmesi, geleneği yaşatma bakımından tarihi bir yapının aynısını inşa etme uygulaması yapılmaktadır. Tarihi açıdan bir anlam ifade etmeyen bir uygulamadır. Yeniden yapım uygulaması için teknik verilerin, fotoğraf, röleve ve benzeri grafik belgelerin var olması gerekmektedir.

5.5 Temizleme

Tarihi ve estetik değer taşımayan eklerden arındırma, iç ve dış cephe üzerinde yapılan mekanik ve kimyasal işlemlere temizleme denir. Tarihi yapıların cephe temizlikleri dikkatli yapılmalıdır. Özensiz yapılan temizleme işlemi yüzeye zarar verebilir, bozulmayı hızlandırabilir.

Cephe temizleme işlemi mekanik, kimyasal temizlik, su ile yıkama, emici kil ve kağıt hamurları uygulama, emici jeller uygulaması olarak sınıflandırılabilir.

Bazı özellikli kimyasal bir madde olan AB-57 kullanımının, eser üzerinde çizik ve deformasyona neden olmadığı Kültür Bakanlığı Restorasyon ve Konservasyon Merkez Laboratuvarı analizleri sonucunda tespit edilmiştir (**Şekil 5.32**).



kirli yüzeyin yıkanması



temizlenmiş ve kirli yüzeyler arasındaki fark

Şekil 5.32 Temizleme işleminde kimyasal madde kullanımı (Mahrebel, 2006)

5.6 Taşıma

Yerinde korunamayacak yapıların taşıma işlemi tarihi yapının boyutlarına, malzemesine ve yapım tekniğine uygun metotlarla yapılmalıdır. En kolay ve tercih edileni, tarihi yapının tüm elemanlarının numaralandırılarak sökülmesi, taşındıktan sonra tekrar kurulmasıdır. Ahşap yapılar bu uygulama için çok elverişlidir. Fakat Batman-Hasankeyf 'te bulunan Zeynel Bey Türbesi gibi tarihi yığma yapıların yerinden alınarak taşınması daha uygundur. 1100 ton ağırlığındaki Zeynel Bey Türbesi 90 cm kalınlığında 15 metre uzunluklu kare beton plak etrafına yerleştirildikten sonra 1500 ton ağırlığına ulaşmıştır. Dünyada ilk kez 555 yıllık tarihi bir yapı bu yöntemle taşınmıştır (Şekil 5.33).



Şekil 5.33 Hasankeyf-Zeynel Bey Türbesi 'nin taşınması

6 BAYBURT YAKUTIYE (YENİ) CAMİSİ ' NİN FARKLI KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLERE SAHİP DEPREM ETKİLERİ ALTINDA DAVANIŞININ İNCELENMESİ

6.1 İzolatörsüz Tarihi Yapının Performans Analizleri

Bir yapının dinamik yükler altındaki davranışını belirlemek amacıyla dinamik analiz yapılmaktadır. Bu çalışmada, konu olan yapının dinamik analizleri SAP2000 programı ile yapılmıştır.

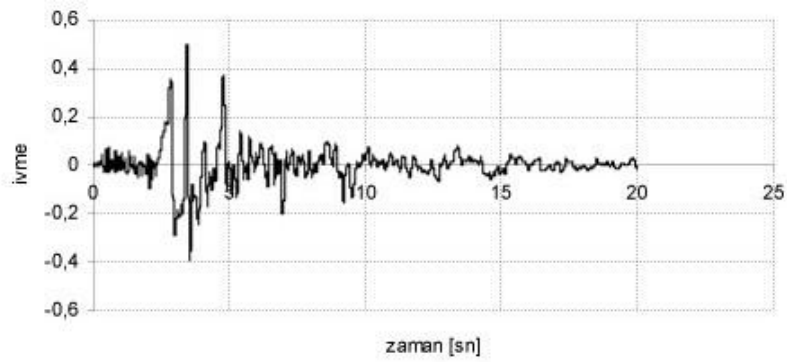
6.1.1 27 Aralık 1939 Erzincan depremi

26-27 Aralık 1939 'da Erzincan 'da oluşan çok şiddetli yer sarsıntısının şiddeti Richter Ölçeği 'ne göre 8 olan deprem sonucunda toplam 32962 kişi ölmüş, yaklaşık 100000 kişi yaralanmış ve 116720 bina yıkılmıştır. Dünyanın büyük depremleri arasında sayılan bu deprem Türkiye 'nin en ciddi deprem felaketlerinden biridir. Konumu 39 80 kuzey enlemi ve 39 51 doğu boylamı, odak derinliği 20 km olan depremin etkilediği alan doğuda Erzincan Ovası 'ndan batıda Kelkit Vadisi 'ne kadar uzanır. Hasara uğramış bölge, Erzincan 'ın doğusundan Amasya'ya kadar 400 km uzunluğunda, güneyde Sivas 'tan kuzeyde Karadeniz 'e kadar 200 km genişliğindedir. Bu depremde Erzincan 'dan Kelkit Vadisi 'ni izleyerek Niksar 'a kadar uzanan yaklaşık 350 km 'lik bir kırık sistemi oluşmuştur. Kırıklar boyunca 1 metrelik düşey (atım) ve 4 metrelik yatay hareketler görülmüştür. Bu geniş alanı sarmış olan 35 deprem merkezi yaklaşık doğu-batı doğrultusunda dizilmiş başlıca dört sarsıntı çizgisi üzerinde etkinlik göstermiştir. Bunlar; Yukarı Yeşilirmak çizgisi, Kelkit-Deliçay çizgisi, Yaylalar ve Orta Yeşilirmak çizgisi ve kıyı çizgisidir. Bu çizgilerin hepsi de kırıklara karşılık gelmektedir. Kelkit Irmağı kırığı, Reşadiye 'de doğu-güneydoğu ve batı-kuzeybatı doğrultusunda alçalmış ve yükselmiş ve böylece iki blok arasında 380 cm 'lik bir düzey farkı doğmuştur. Deprem sırasında kıyı çizgisi

Çarşamba ilçesinin kuzeyi ile Giresun arasında 15-100 m kadar geri çekilmiş ve Fatsa 'da da bir deprem dalgası oluşmuştur.

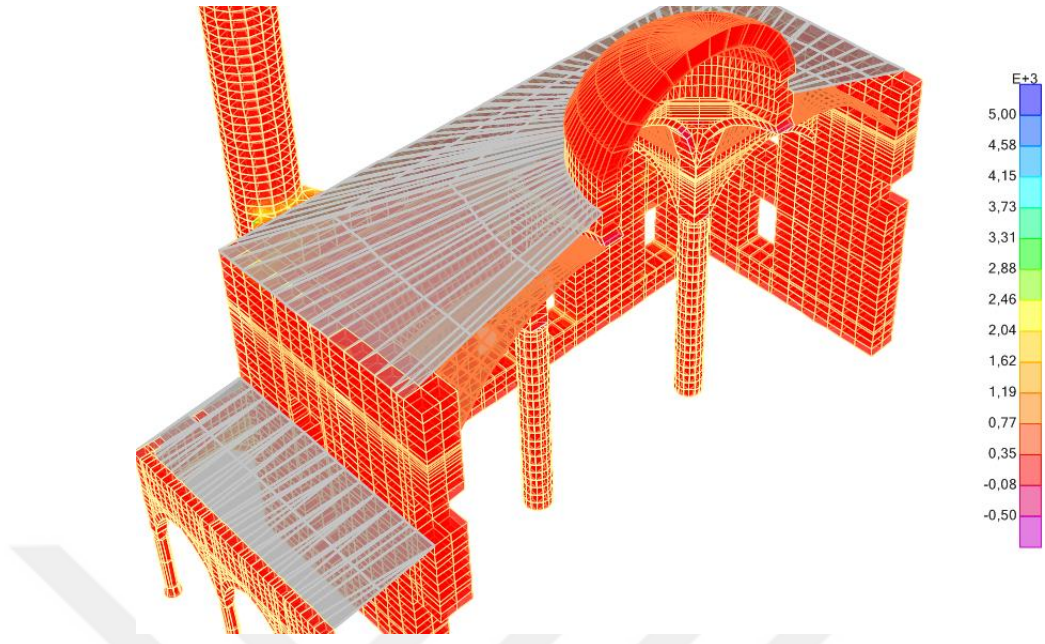


Şekil 6.1 27 Aralık 1939 Erzincan depremi hasarı (Bozdemir, 2011)

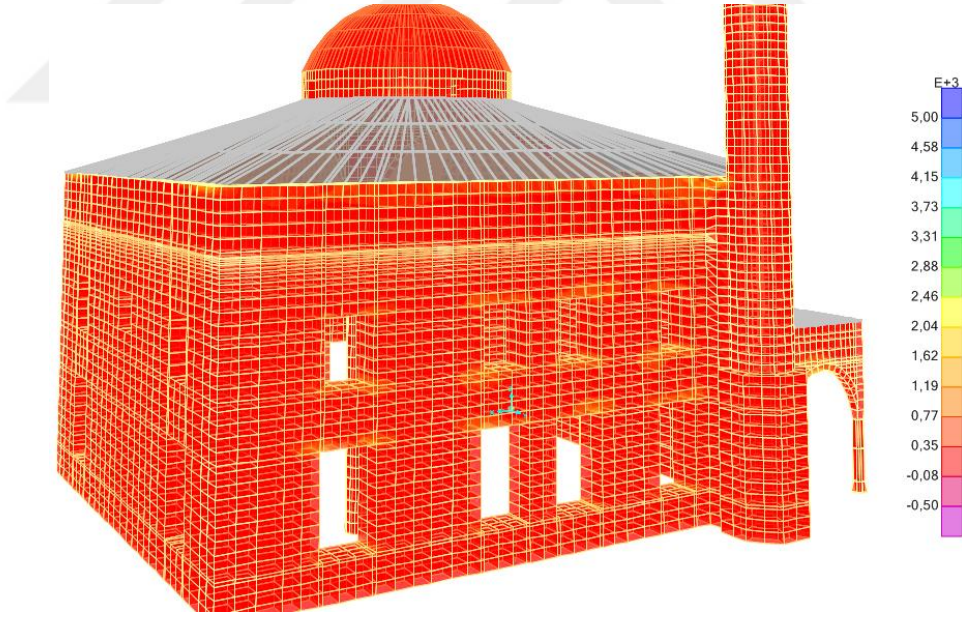


Şekil 6.2 1939 Erzincan depremi ivme kaydı

Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami 'ye 27 Aralık 1939 Erzincan deprem kayıtları uygulanarak yapılan analizler neticesinde elde edilen maksimum basınç ve çekme değerleri **Şekil 6.3-6.8** 'de gösterildiği gibidir.

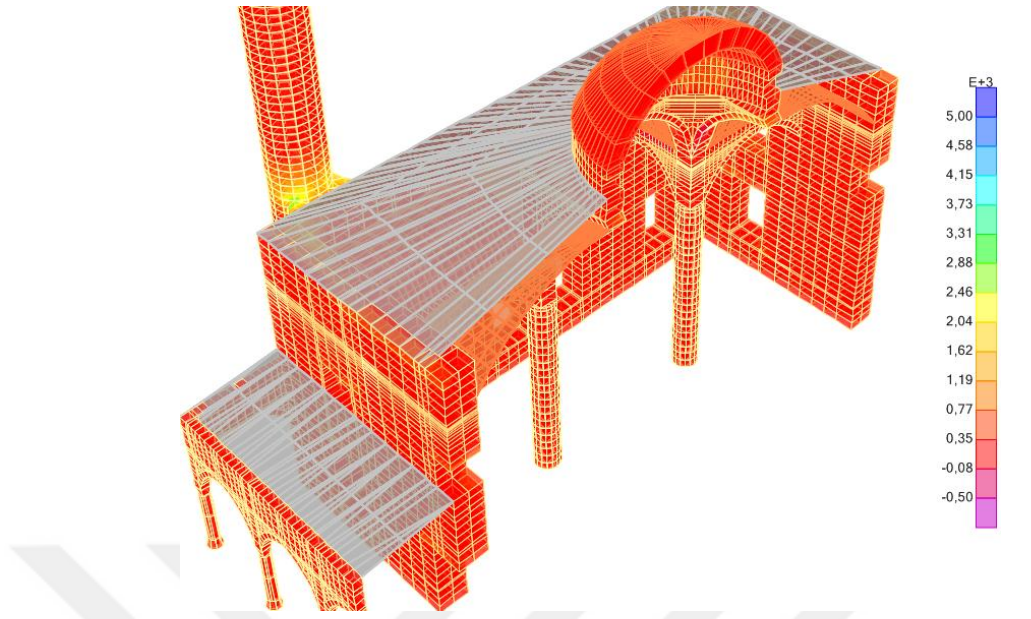


a) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami yarım görünüş

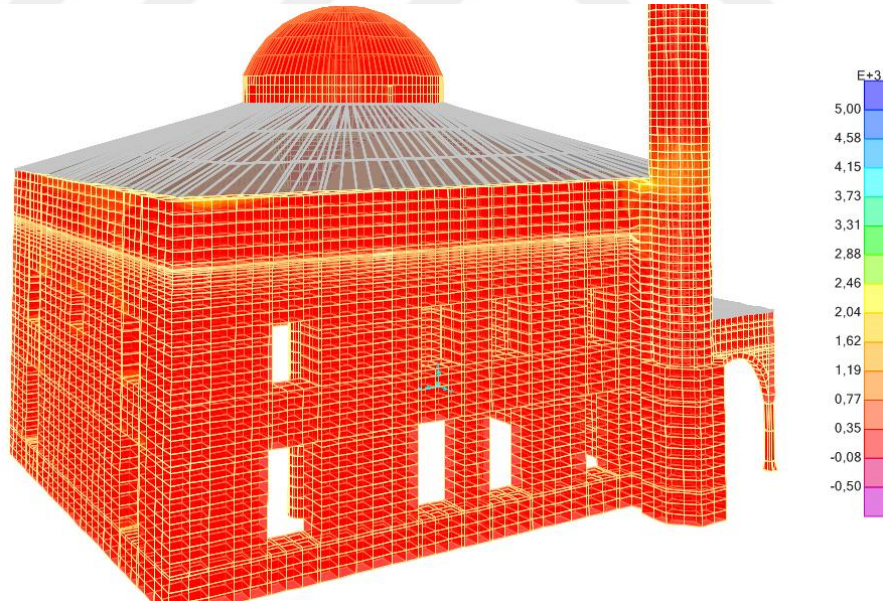


b) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami arka cephe görünüş

Şekil 6.3 27 Aralık 1939 Erzincan depremi: S_{11} maksimum çekme gerilmeleri (kN/m^2)

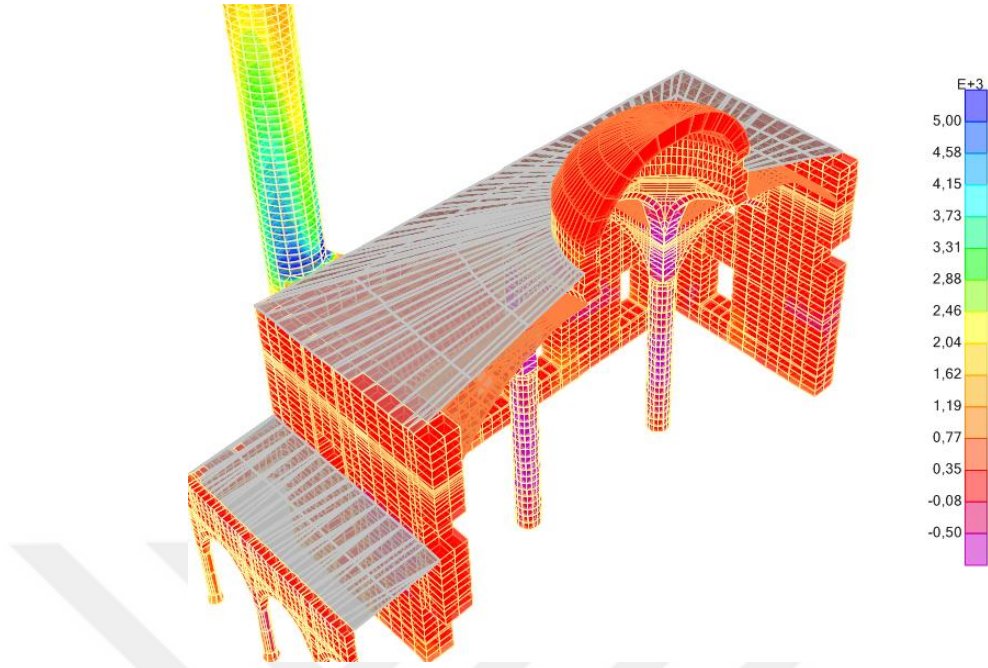


a) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami yarım görünüş

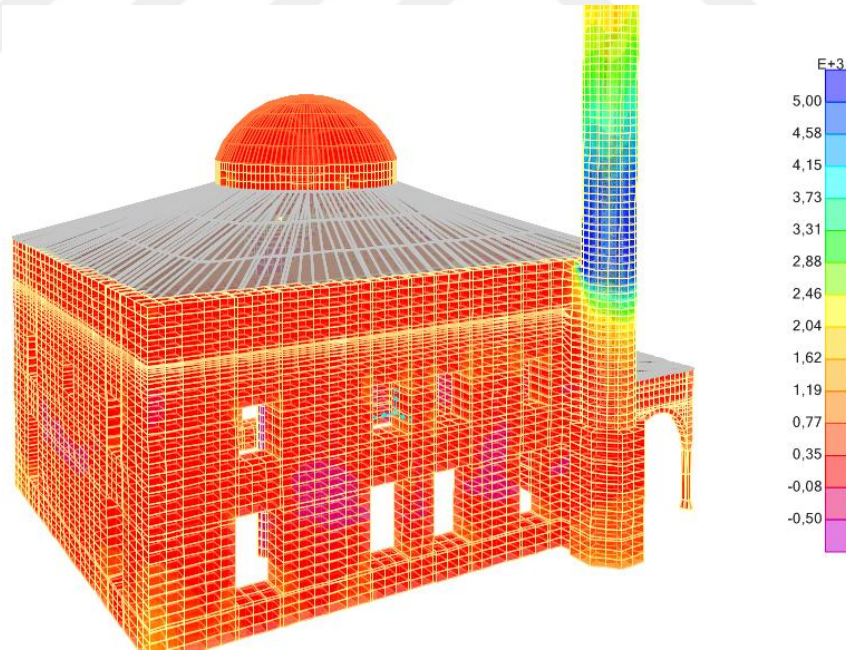


b) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami arka cephe görünüş

Şekil 6.4 27 Aralık 1939 Erzincan depremi: S_{22} maksimum çekme gerilmeleri (kN/m^2)

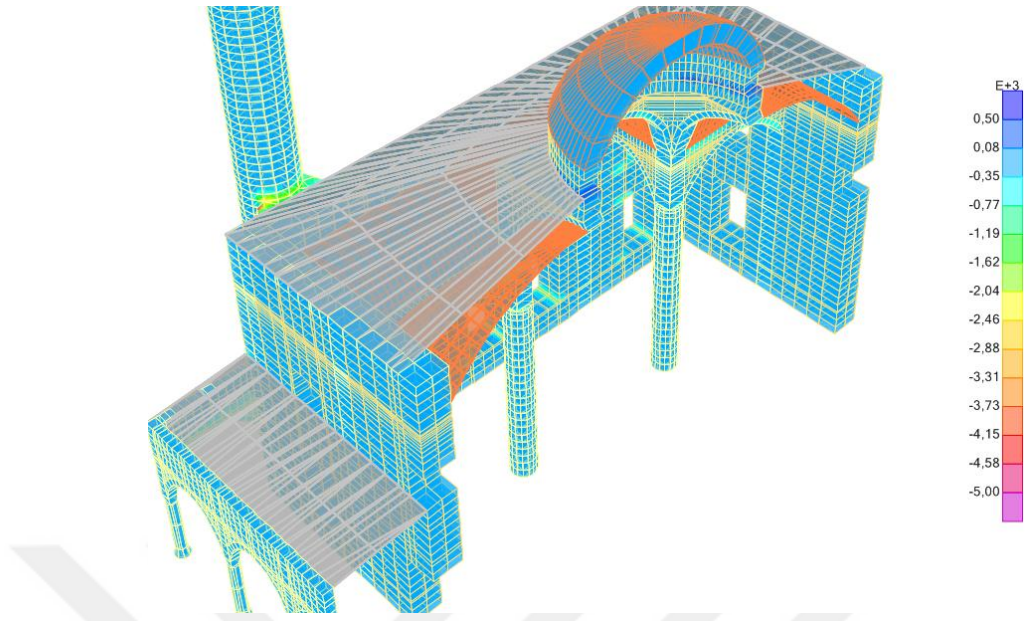


a) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami yarım görünüş

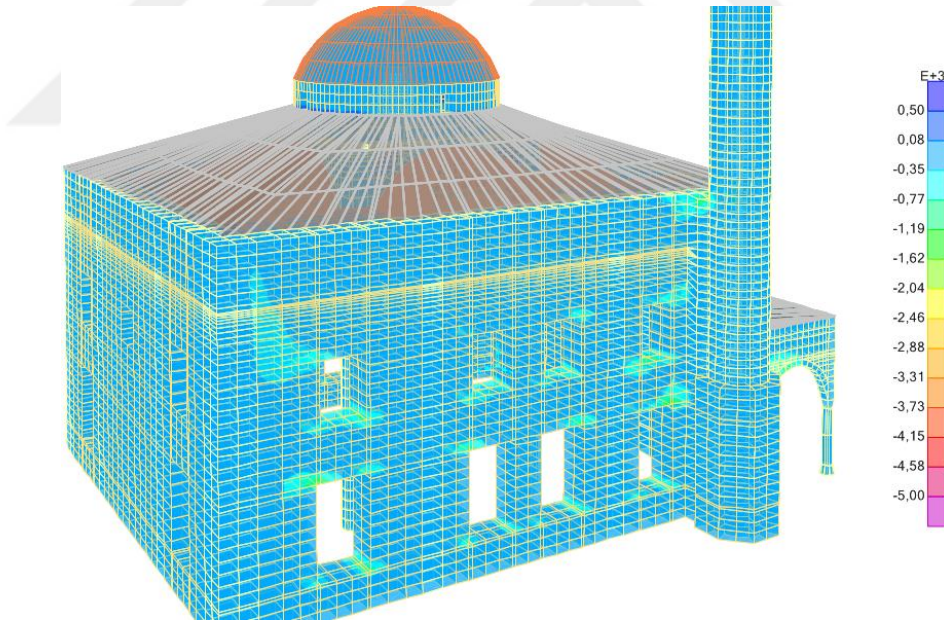


b) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami arka cephe görünüş

Şekil 6.5 27 Aralık 1939 Erzincan depremi: S_{33} maksimum çekme gerilmeleri (kN/m^2)

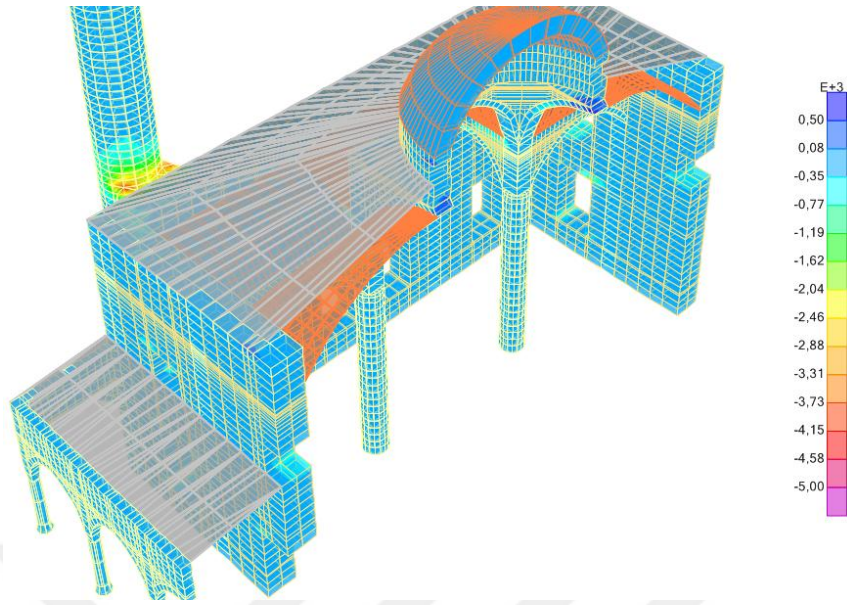


a) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami yarım görünüş

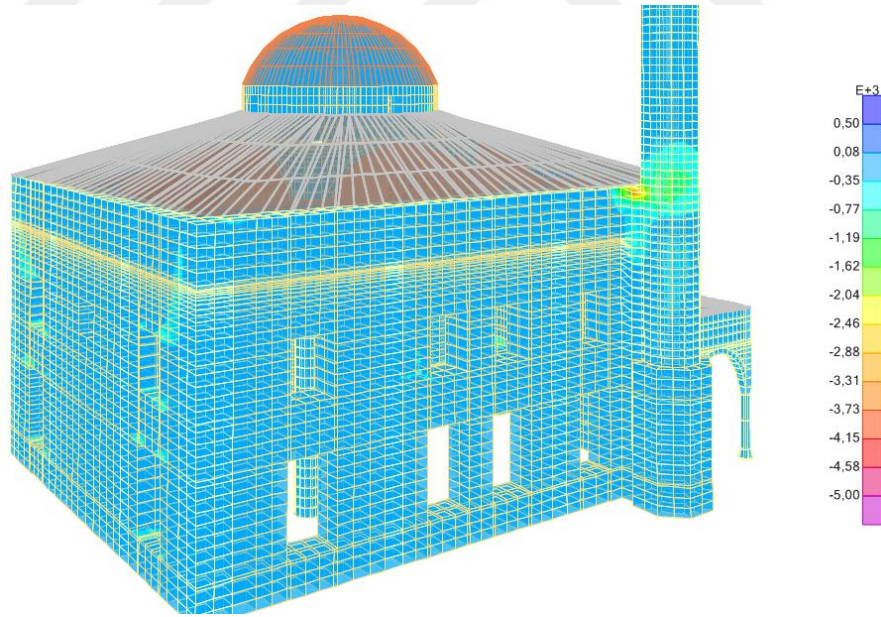


b) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami arka cephe görünüş

Şekil 6.6 27 Aralık 1939 Erzincan depremi: S_{11} maksimum basınç gerilmeleri (kN/m^2)

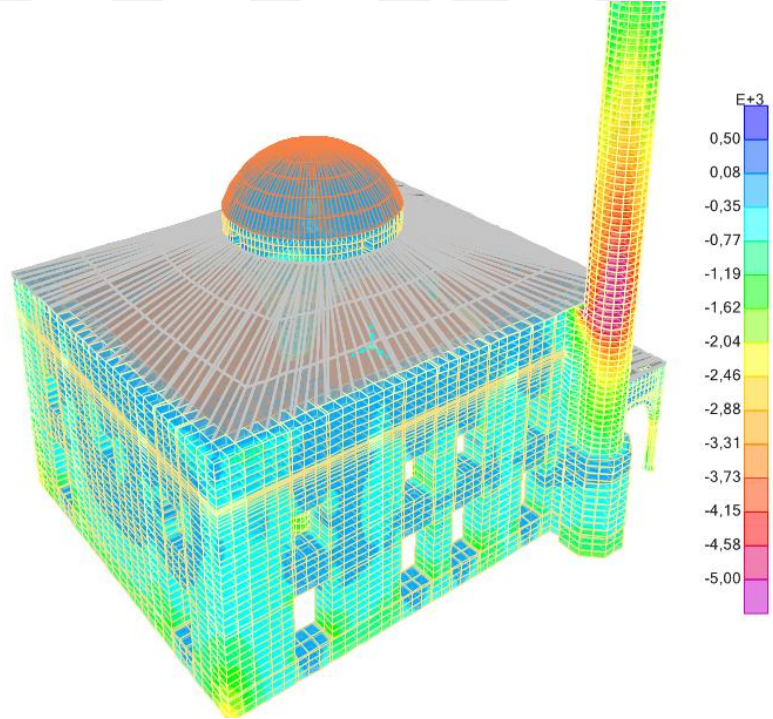
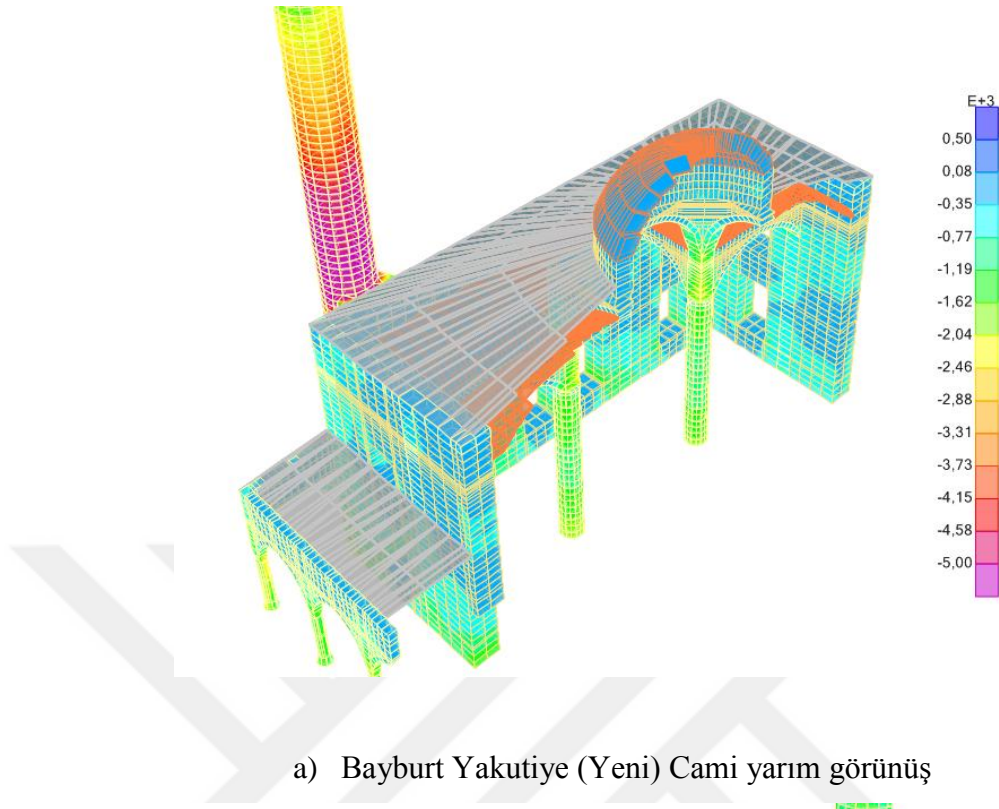


a) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami yarım görünüş



b) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami arka cephe görünüş

Şekil 6.7 27 Aralık 1939 Erzincan depremi: S_{22} maksimum basınç gerilmeleri (kN/m^2)



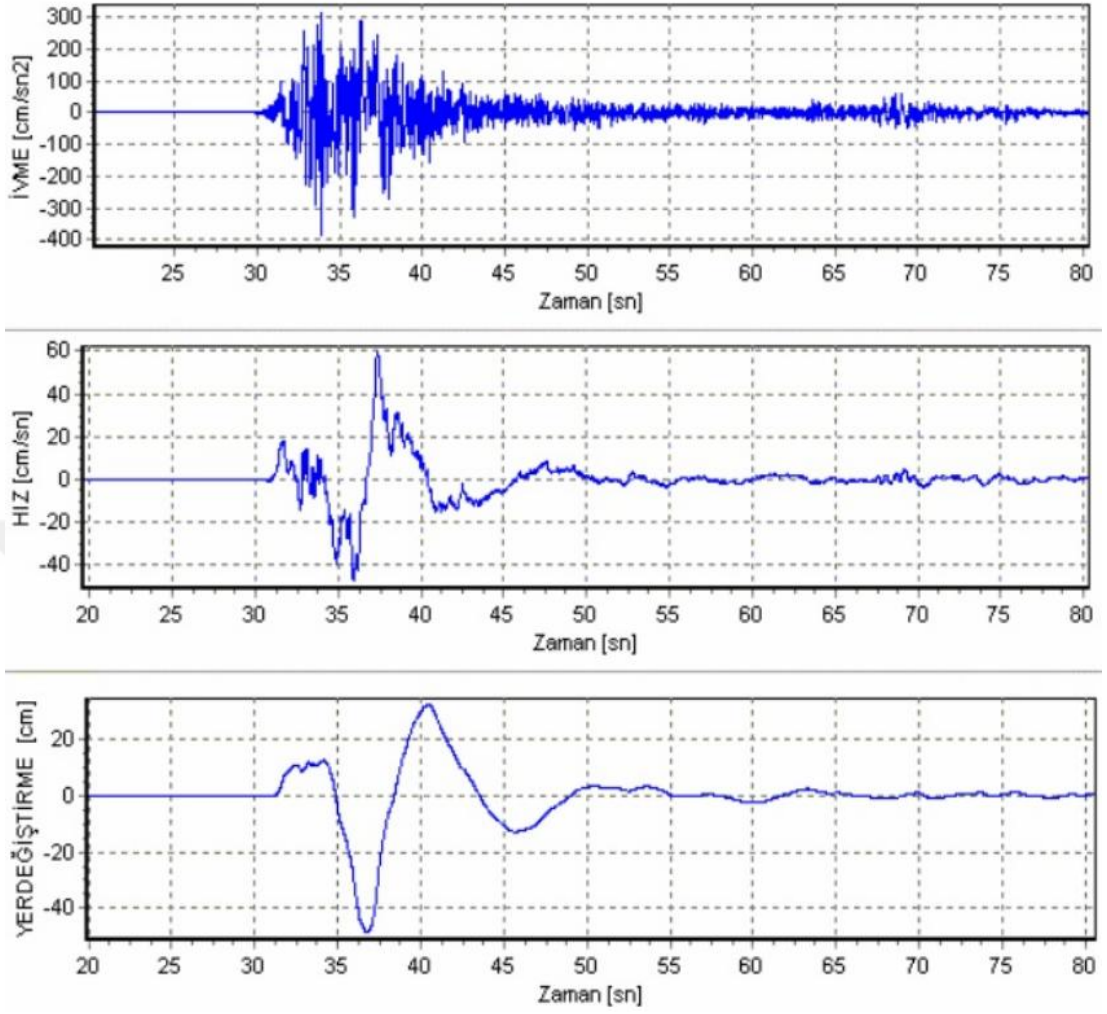
Şekil 6.8 27 Aralık 1939 Erzincan depremi: S_{33} maksimum basınç gerilmeleri (kN/m^2)

6.1.2 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi

17 Ağustos 1999 'da yerel saate göre 03:02 merkez üssü Gölcük olan 7.6 şiddetindeki 45 saniye süren Gölcük depremi sadece Kocaeli 'nde değil, Ankara 'dan İzmir 'e kadar geniş bir bölgede ve Marmara 'da hissedilmiştir. Resmi bilgilere göre 17480 kişi ölmüş, 23781 kişi yaralanmış, 505 kişi sakat kalmış, 285211 ev, 42902 işyeri hasar görmüştür. 2010 yılında yayınlanan Meclis Araştırması Raporu 'nda ölen kişi sayısı 18373 olarak güncellenmiştir. Depremin Türkiye'nin sanayi bölgesi olan Marmara bölgesinde gerçekleşmesi Türk ekonomisini bir hayli zorlamıştır. Gölcük depreminden sonra Türkiye 'ye toplamda 52 ülke yardım etmiştir: Japonya, Belçika, İsrail, Azerbaycan, Bangladeş, KKTC, Kıbrıs Rum Kesimi, Birleşik Arap Emirlikleri, Suudi Arabistan, Fas, Cezayir, Almanya, İtalya, Pakistan, Ürdün, Fransa, Rusya, İngiltere, Mısır, Yunanistan, Gürcistan, İsveç, Macaristan, Malezya, Finlandiya, Amerika Birleşik Devletleri bu ülkelerden bazılarıdır.

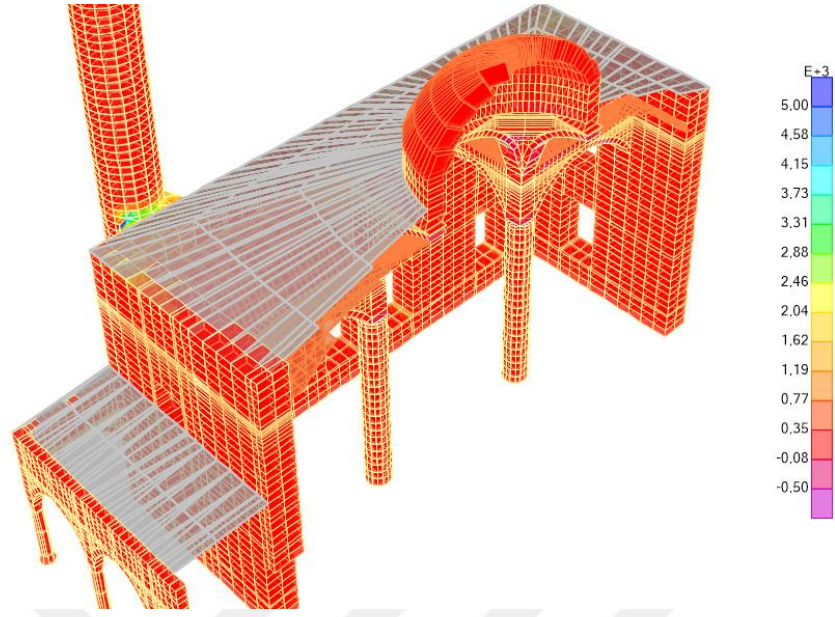


Şekil 6.9 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi hasarı

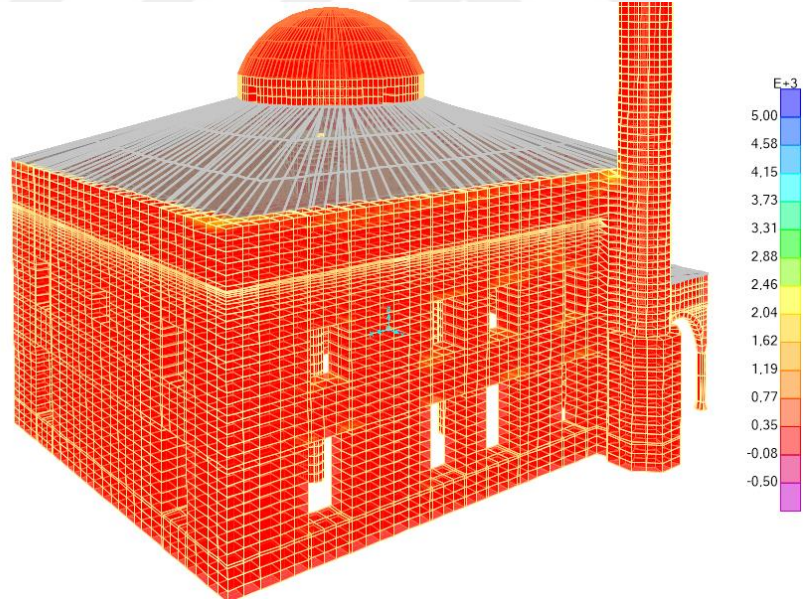


Şekil 6.10 1999 Kocaeli depremi sırasında Sakarya istasyonundan alınan doğu-batı bileşeni ivme, hız ve yer değıştirme dalga formları (Çeken, 2007)

Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami 'ye 17 Ağustos Kocaeli deprem kayıtları uygulanarak yapılan analizler neticesinde elde edilen maksimum basınç ve çekme değeri **Şekil 6.11-6.16** 'da gösterildiği gibidir.

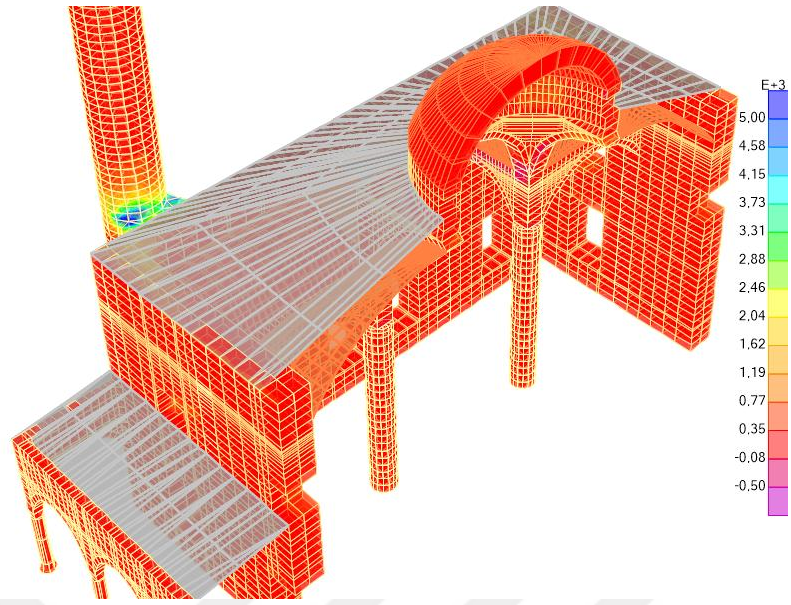


a) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami yarım görünüş

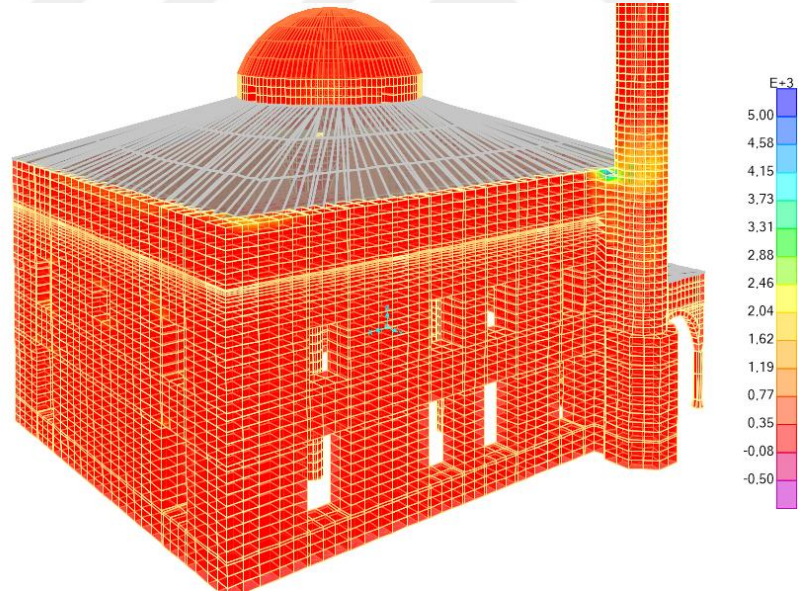


b) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami arka cephe görünüş

Şekil 6.11 17 Ağustos Kocaeli depremi: S_{11} maksimum çekme gerilmeleri (kN/m^2)

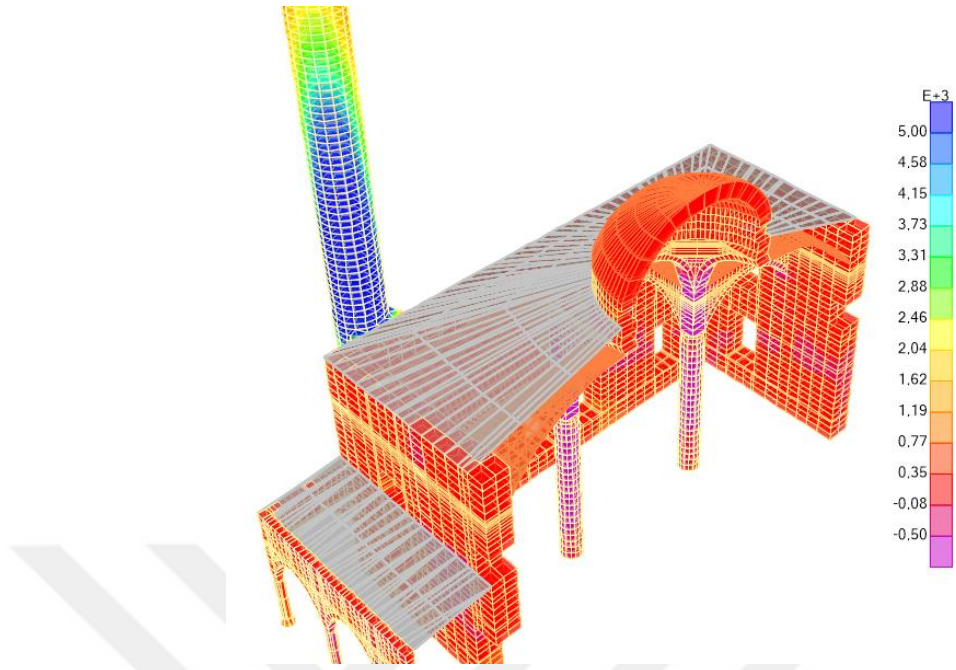


a) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami yarım görünüş

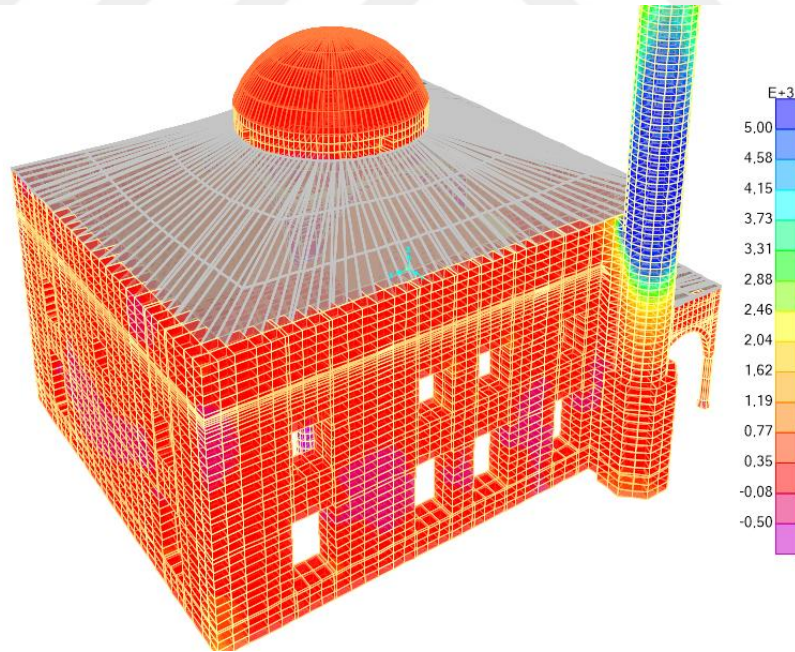


b) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami arka cephe görünüş

Şekil 6.12 17 Ağustos Kocaeli depremi: S_{22} maksimum çekme gerilmeleri (kN/m^2)

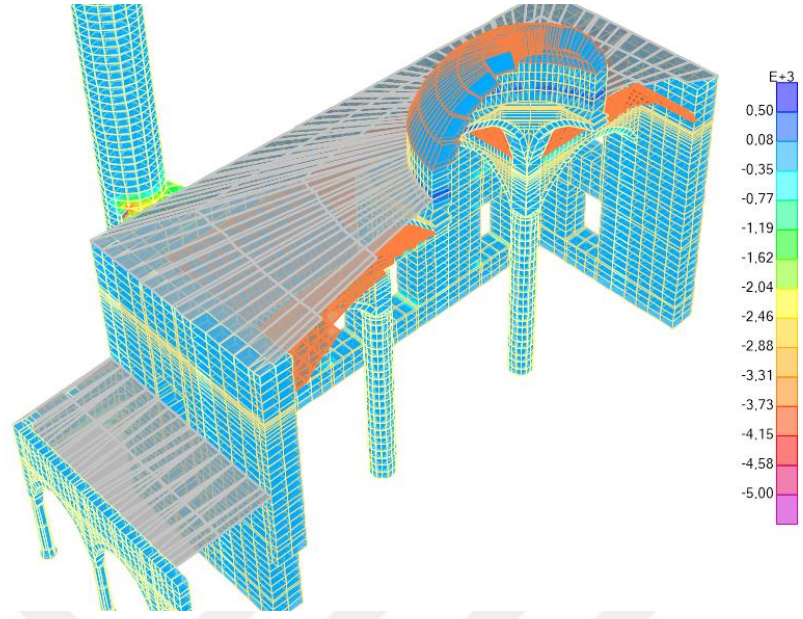


a) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami yarım görünüş

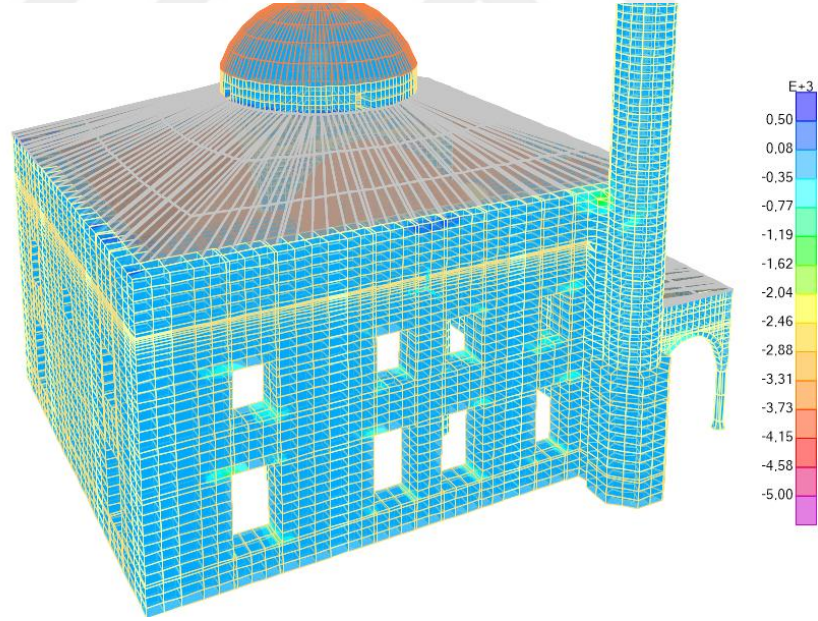


b) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami arka cephe görünüş

Şekil 6.13 17 Ağustos Kocaeli depremi: S_{33} maksimum çekme gerilmeleri (kN/m^2)

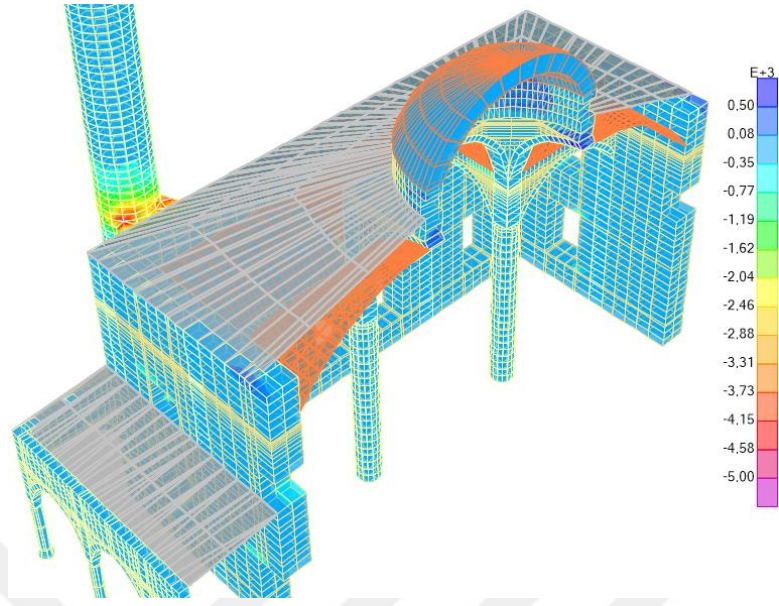


a) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami yarım görünüş

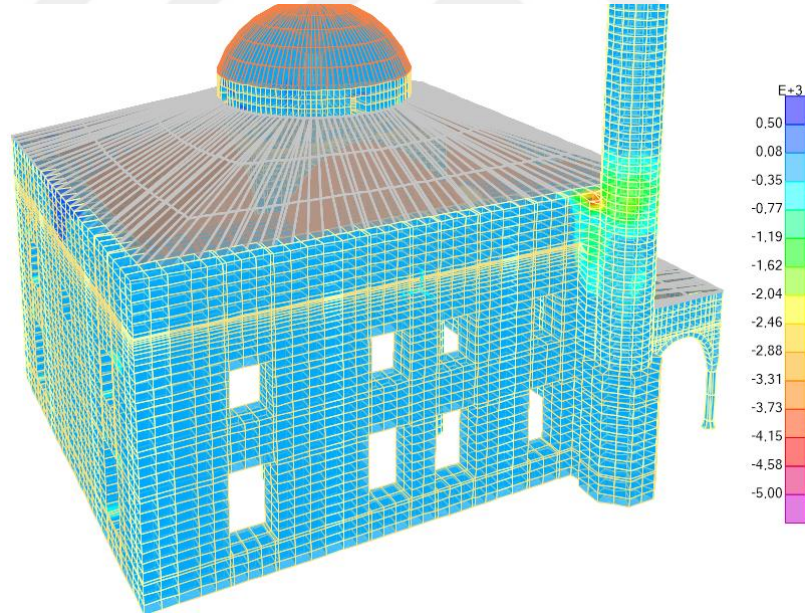


b) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami arka cephe görünüş

Şekil 6.14 17 Ağustos Kocaeli depremi: S_{11} maksimum basınç gerilmeleri (kN/m^2)

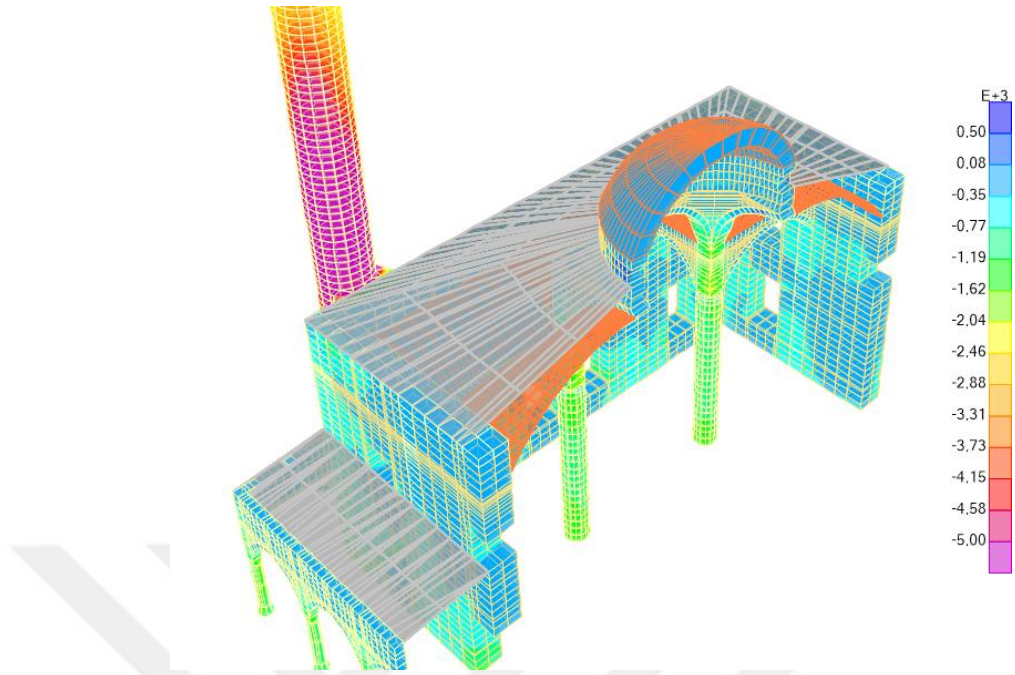


a) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami yarım görünüş

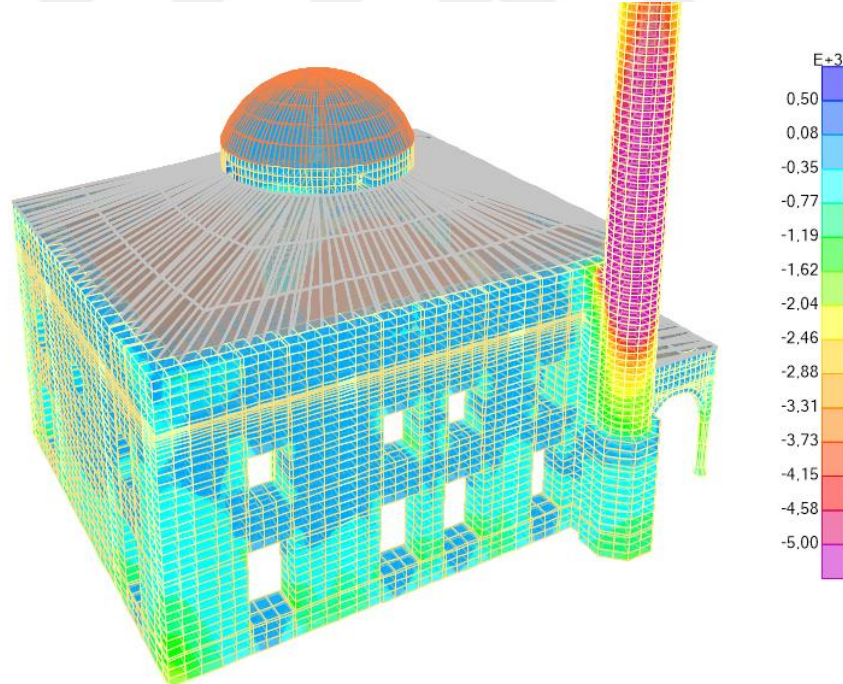


b) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami arka cephe görünüş

Şekil 6.15 17 Ağustos Kocaeli depremi: S_{22} maksimum basınç gerilmeleri (kN/m^2)



a) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami yarım görünüş



b) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami arka cephe görünüş

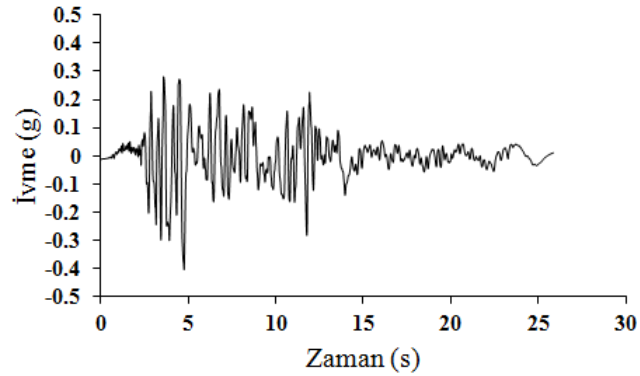
Şekil 6.16 17 Ağustos Kocaeli depremi: S_{33} maksimum basınç gerilmeleri (kN/m^2)

5.1.3 12 Kasım 1999 Düzce depremi

17 Ağustos Marmara Depreminin üzerinden 87 gün geçtikten sonra, henüz depremin yaraları sarılmaya çalışılırken, dünya tarihinde görülmemiş bir şekilde ikinci bir deprem meydana gelmiştir. 12 Kasım 1999 depreminin merkez üssü Düzce 'de, saatler 18.57 'yi gösterdiğinde, kuvvetli bir darbe ile sarsıntı yaşandı. 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminden daha büyük şiddetle sarsılan Düzce 30 saniye içinde adeta yerle bir olmuştur. Merkez üssü Düzce olan deprem, Kaynaşlı ' yı da yerle bir ederken, Bolu 'nun da bir bölümünde can ve mal kayıplarına neden oldu. 12 Kasım depreminde Düzce, Akçakoca, Cumayeri, Çilimli, Gölyaka, Gümüşova, Kaynaşlı ve Yığılca 'da toplam 710 kişi hayatını kaybederken 2.678 kişi de yaralanmıştır.



Şekil 6.17 1999 Düzce depremi hasarı

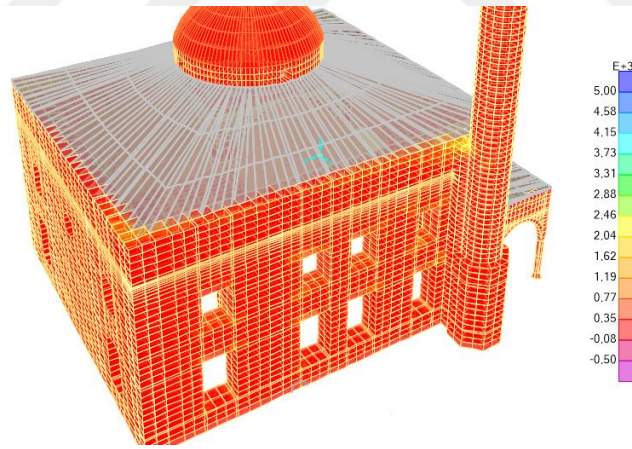


Şekil 6.18 1940 Düzce depremi ivme kaydı (Merter ve Uçar, 2015)

Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami 'ye 12 Kasım 1999 Düzce deprem kayıtları uygulanarak yapılan analizler neticesinde elde edilen maksimum basınç ve çekme değerleri Şekil 6.19-6.24 'te gösterildiği gibidir.

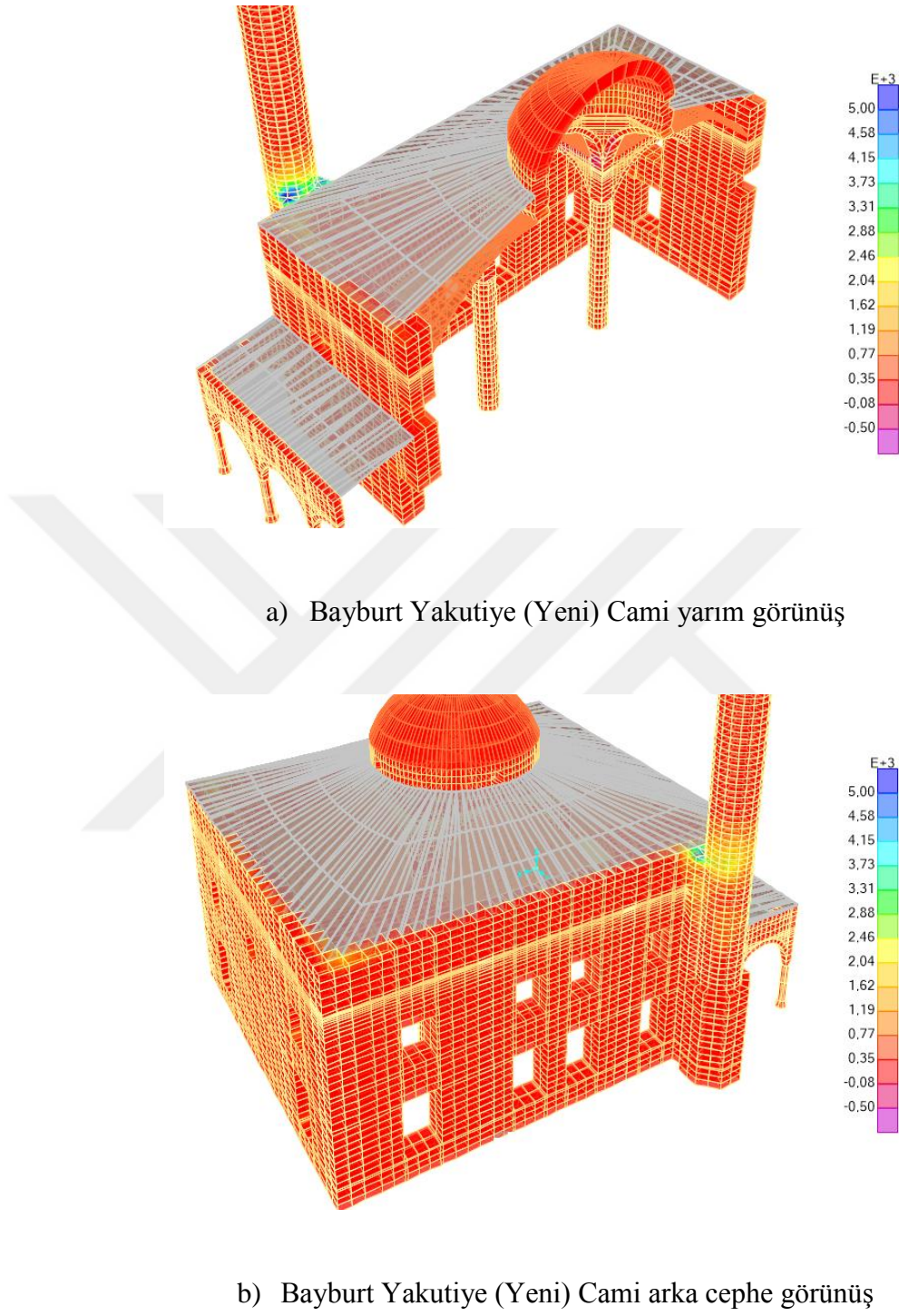


a) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami yarım görünüş

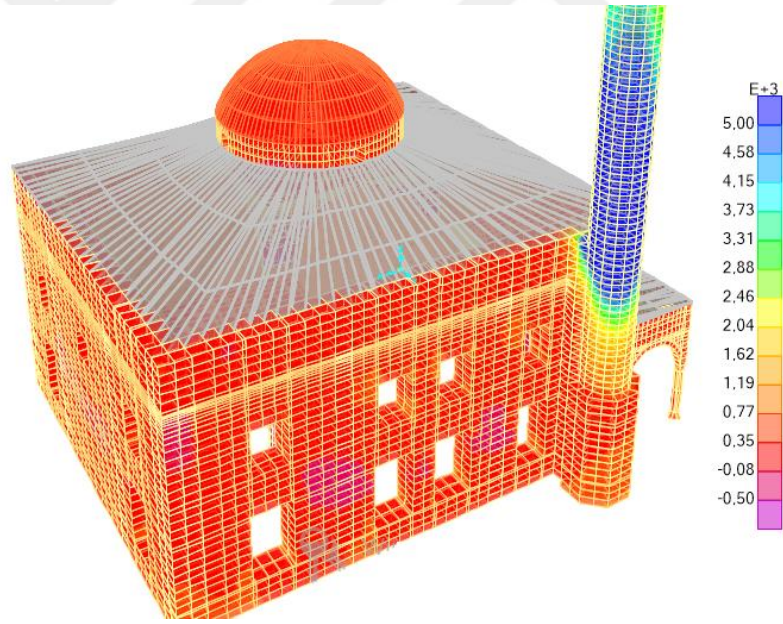
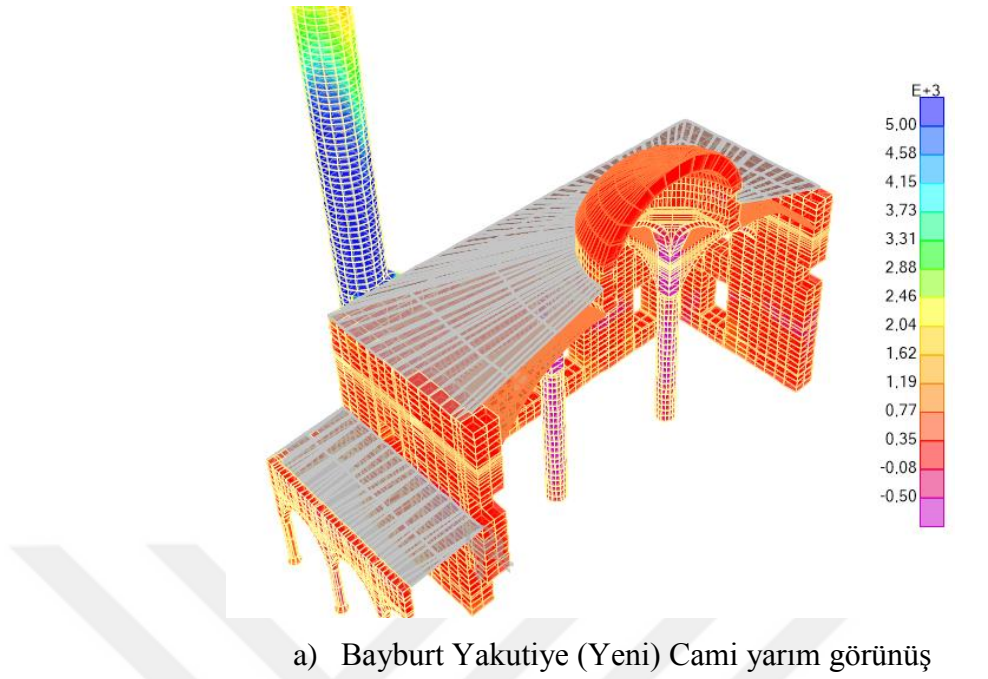


b) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami arka cephe görünüş

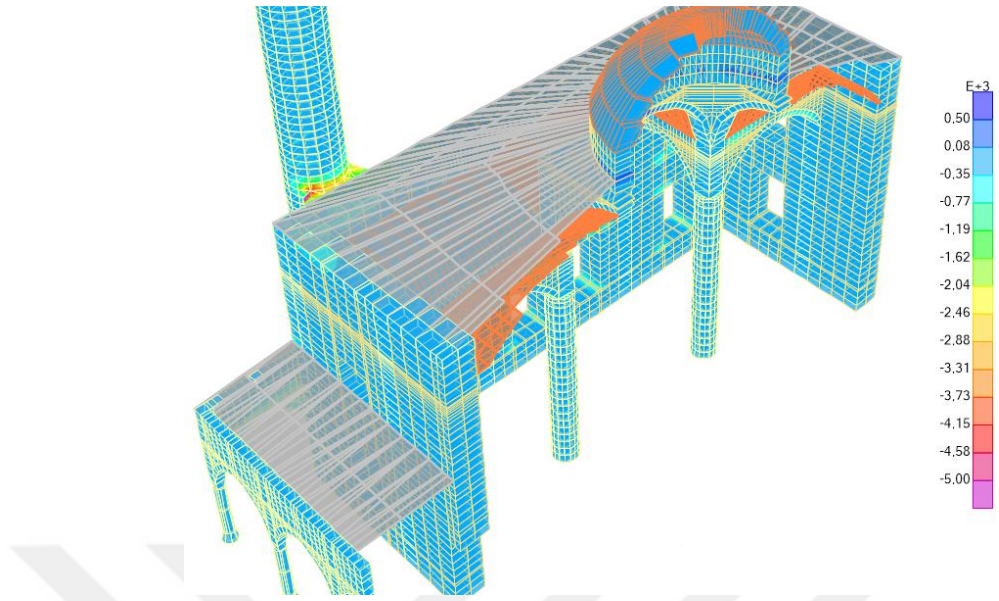
Şekil 6.19 12 Kasım 1999 Düzce depremi: S_{11} maksimum çekme gerilmeleri (kN/m^2)



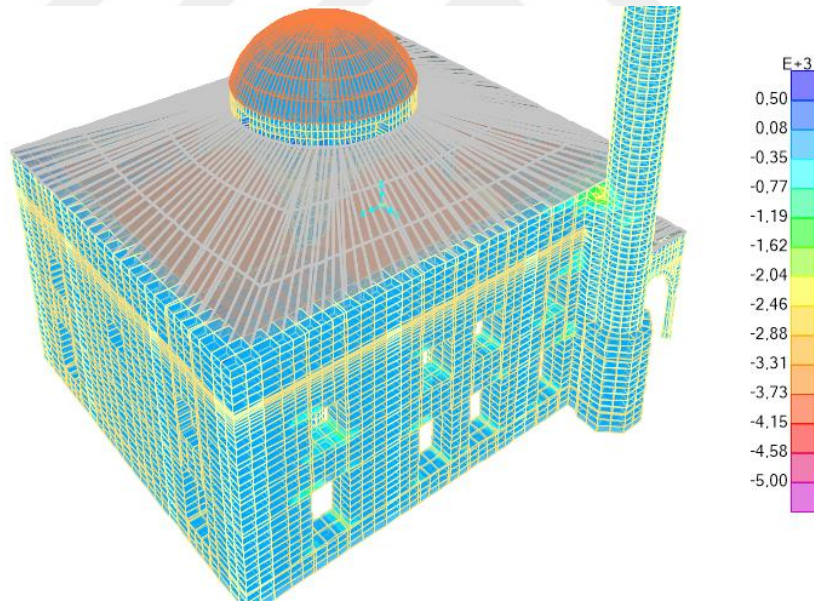
Şekil 6.20 12 Kasım 1999 Düzce depremi: S_{22} maksimum çekme gerilmeleri (kN/m^2)



Şekil 6.21 12 Kasım 1999 Düzce depremi: S_{33} maksimum çekme gerilmeleri (kN/m^2)

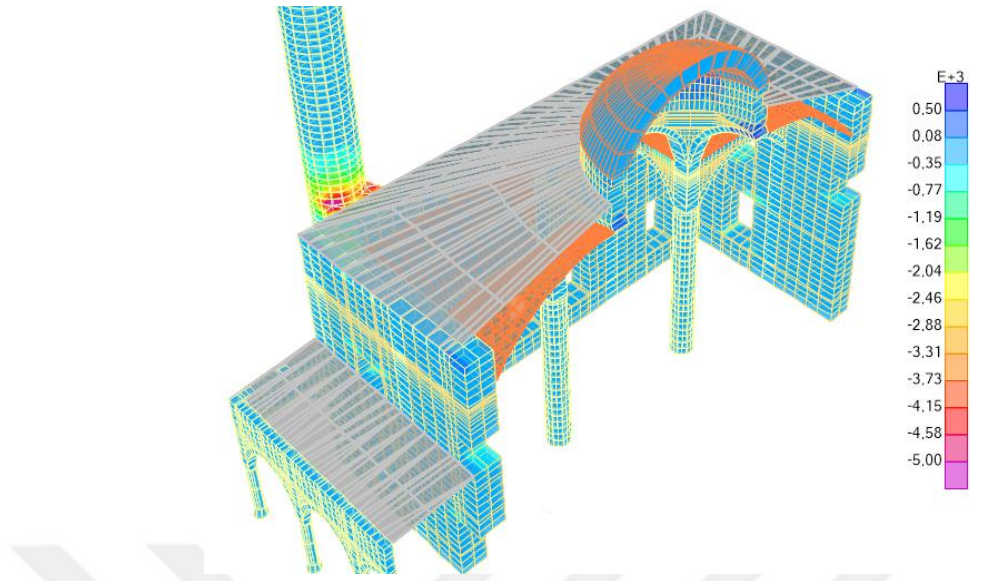


a) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami yarım görünüş

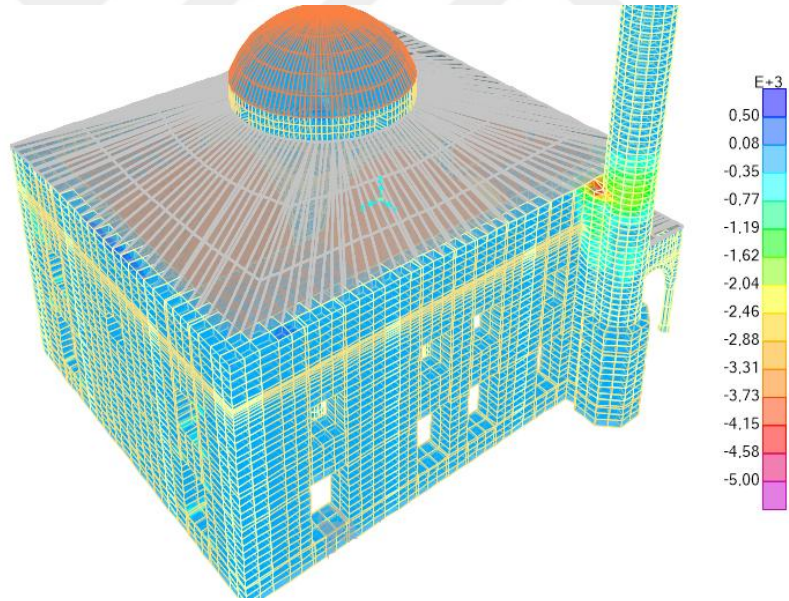


b) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami arka cephe görünüş

Şekil 6.22 12 Kasım 1999 Düzce depremi: S_{11} maksimum basınç gerilmeleri (kN/m^2)

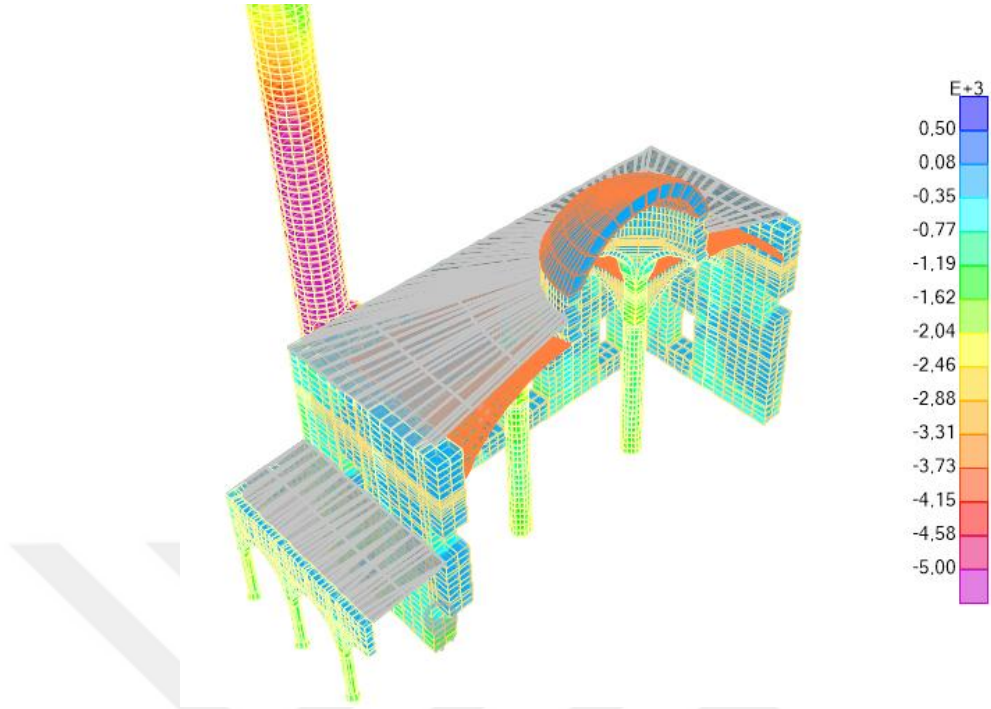


a) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami yarım görünüş

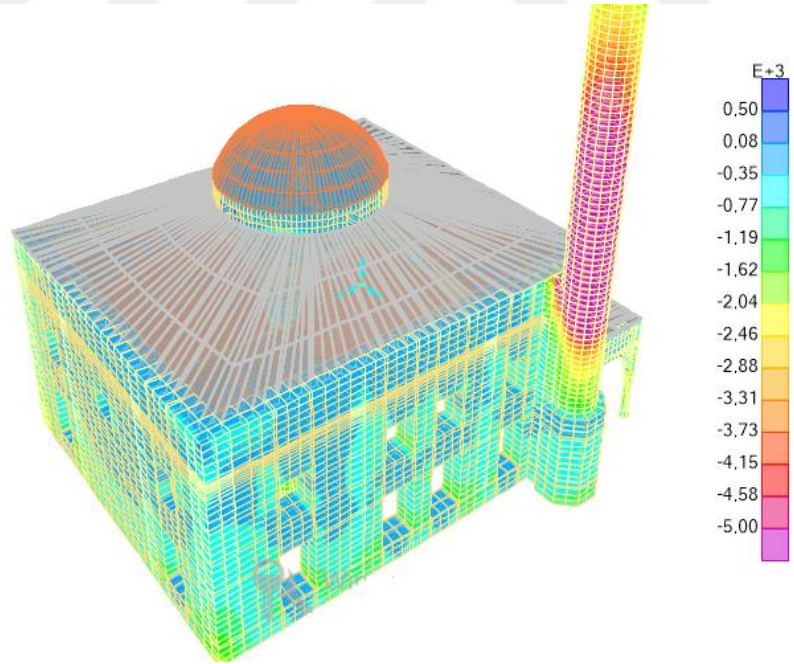


b) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami arka cephe görünüş

Şekil 6.23 12 Kasım 1999 Düzce depremi: S_{22} maksimum basınç gerilmeleri (kN/m^2)



a) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami yarım görünüş



b) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami arka cephe görünüş

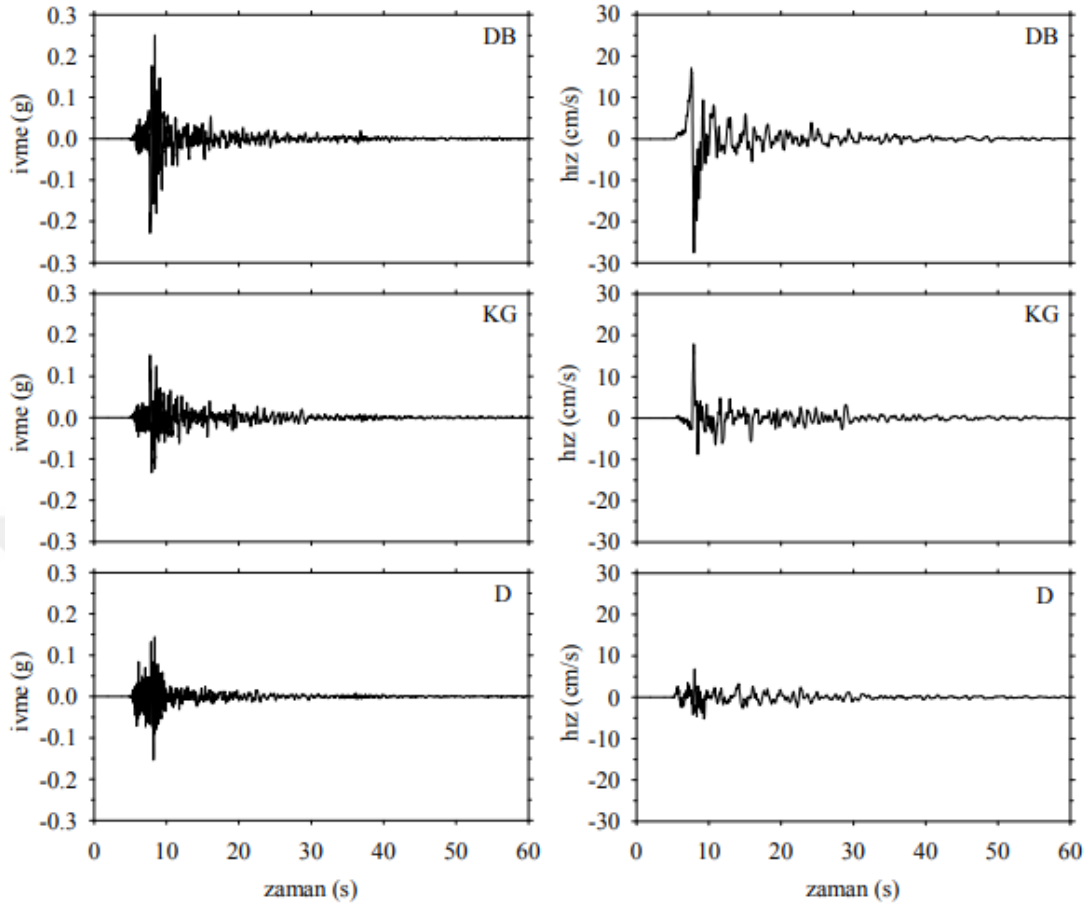
Şekil 6.24 12 Kasım 1999 Düzce depremi: S_{33} maksimum basınç gerilmeleri (kN/m^2)

6.1.4 23 Ekim 2011 Van-Erciş depremi

23 Ekim 2011 tarihinde Van şehir merkezinin yaklaşık 20 km kuzeyinde Erçek Gölü'nün batısında Kasımoğlu Köyü civarlarında kuvvetli bir deprem meydana gelmiştir. AFAD Deprem Dairesi Başkanlığı tarafından işletilen Ulusal Sismoloji Gözlem Ağı'nın verilerine göre yerel saatle 13:41 'de meydana gelen bu depremin koordinatları 38.68 K – 43.47 D, derinliği 19.07 km olarak hesaplanmıştır. Depremin neden olduğu etkiler ve gözlenen kütle hareketleri ile mevcut fay haritaları depremin yaklaşık Doğu-Batı doğrultulu Everek fayı ile ilişkili olduğunu göstermektedir. Arazi çalışmalarında çalışma alanının birçok bölümünde deprem sonrası oluşan heyelan, kaya düşmesi, sıvılaşma ve yanal yayılma gibi ikincil olaylara da rastlanılmıştır. 23 Ekim 2011 Van-Merkez depremi her yönüyle ilginç bir depremdir. Ülkemizde hiçbir depremde çok kısa bir zaman aralığında artçı deprem değerleri bu kadar büyük ve çok sayıda olmamıştır. Depremin birinci haftasında bölgede büyüklüğü 4.0-4.9 arasında değişen deprem sayısı 114 'tür. İlk ay içinde, bölgede her gün ortalama olarak 180 adet artçı deprem meydana gelmiştir. 9 Aralık 2011 tarihi itibarıyla bölgedeki toplam artçı deprem sayısı 6284 adete ulaşmış bulunmaktadır. 23 Ekim ve 9 Kasım 2011 depremlerinde toplam 644 kişi hayatını kaybetmiş, 1966 kişi yaralanmış, 252 kişi ise enkazlardan sağ olarak kurtarılmıştır.

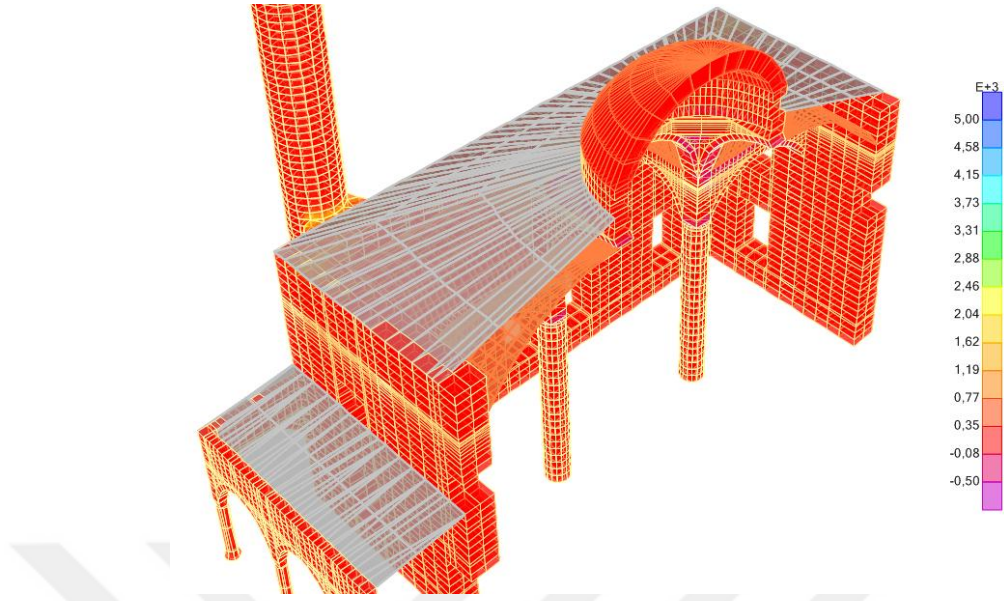


Şekil 6.25 23 Ekim 2011 Van-Erciş depremi hasarı

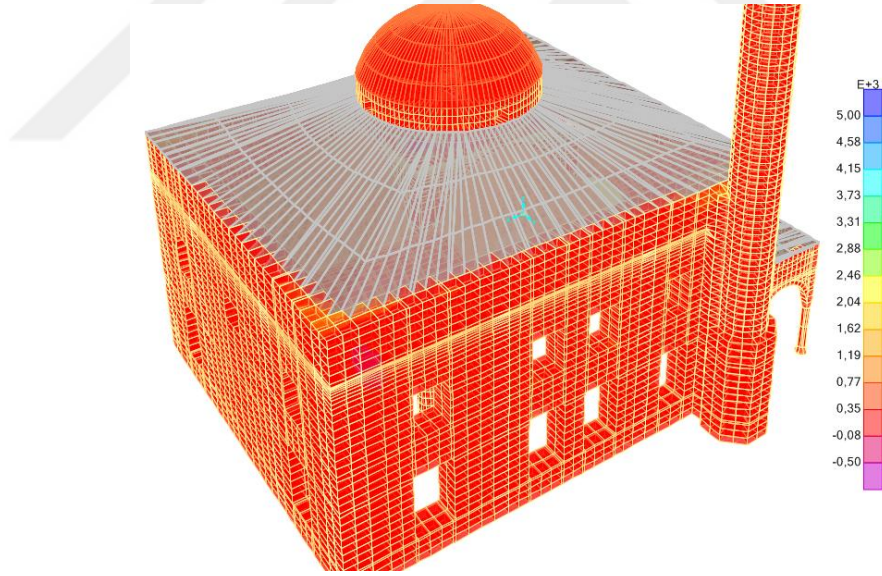


Şekil 6.26 Van - Merkez (6501) istasyonu işlenmiş kaydına ait Doğu-Batı (DB), Kuzey-Güney (KG) ve Düşey (D) bileşenlerinin ivme-zaman ve hız-zaman grafikleri (Akkar vd., 2012)

Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami 'ye 23 Ekim 2011 Van-Erciş deprem kayıtları uygulanarak yapılan analizler neticesinde elde edilen maksimum basınç ve çekme değerleri **Şekil 6.27-6.32** 'de gösterildiği gibidir.

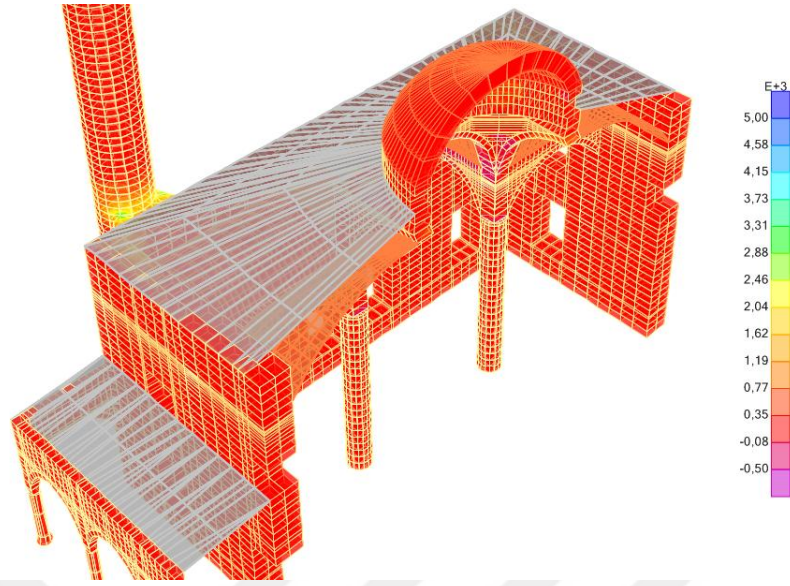


a) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami yarım görünüş

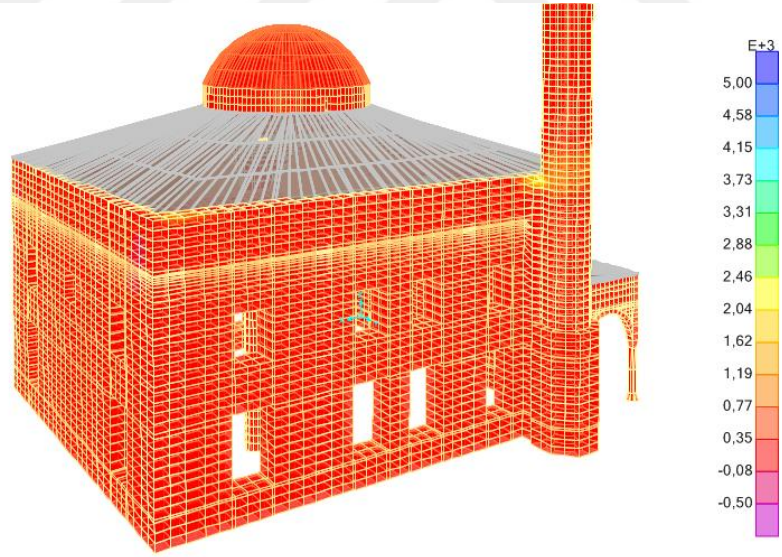


b) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami arka cephe görünüş

Şekil 6.27 23 Ekim 2011 Van-Erciş depremi: S_{11} maksimum çekme gerilmeleri (kN/m^2)

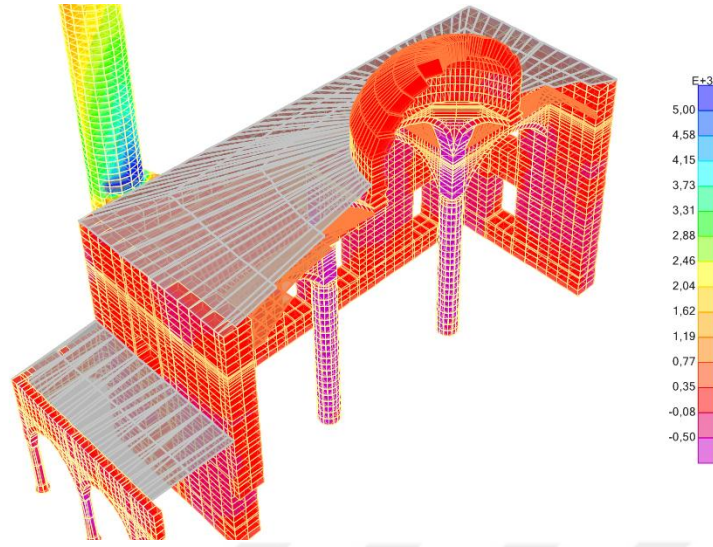


a) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami yarım görünüş

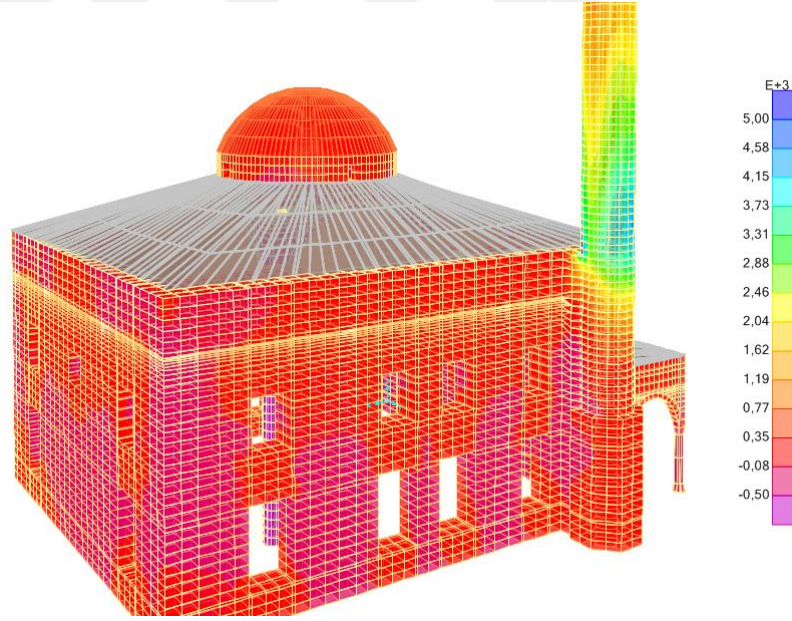


b) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami arka cephe görünüş

Şekil 6.28 23 Ekim 2011 Van-Erciş depremi: S₂₂ maksimum çekme gerilmeleri (kN/m²)

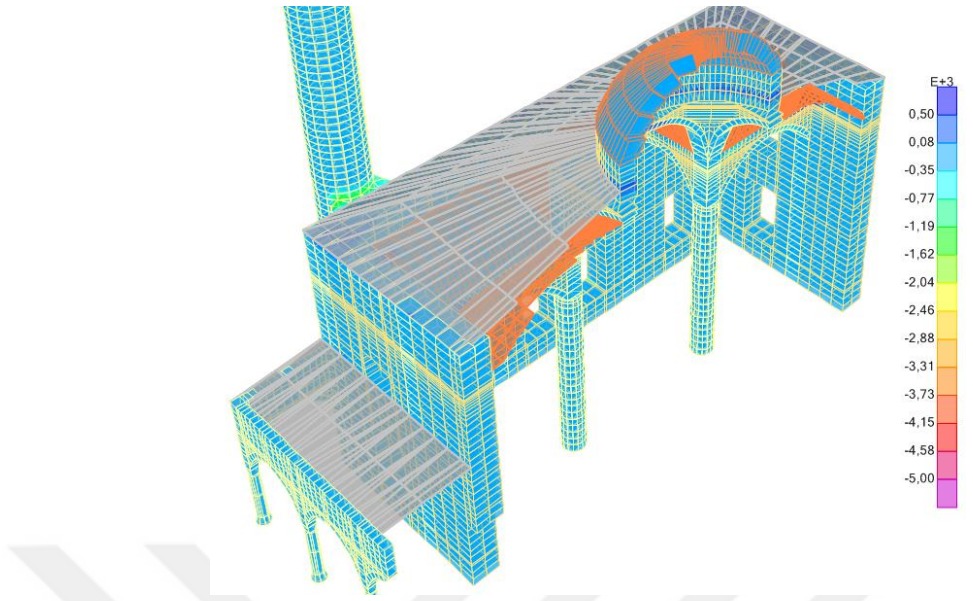


a) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami yarım görünüş

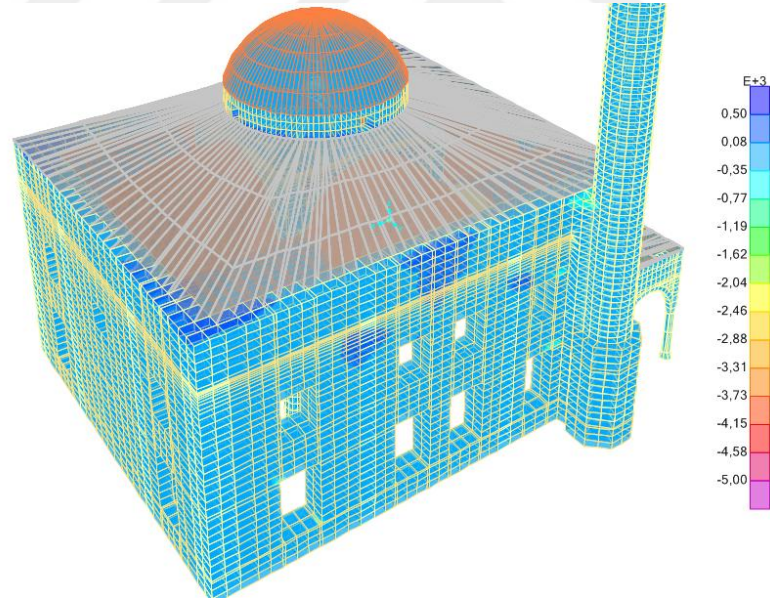


b) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami arka cephe görünüş

Şekil 6.29 23 Ekim 2011 Van-Erciş depremi: S₃₃ maksimum çekme gerilmeleri (kN/m²)

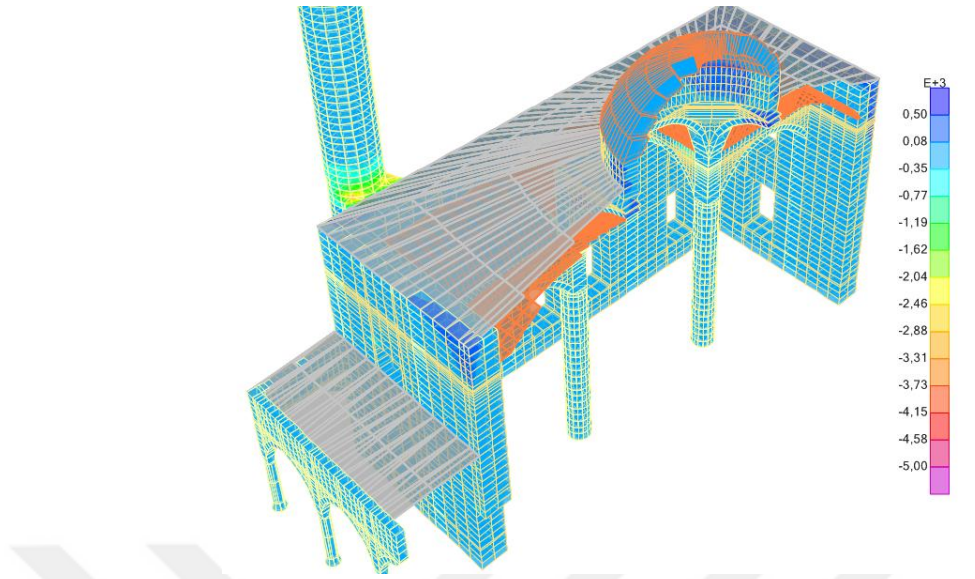


a) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami yarım görünüş

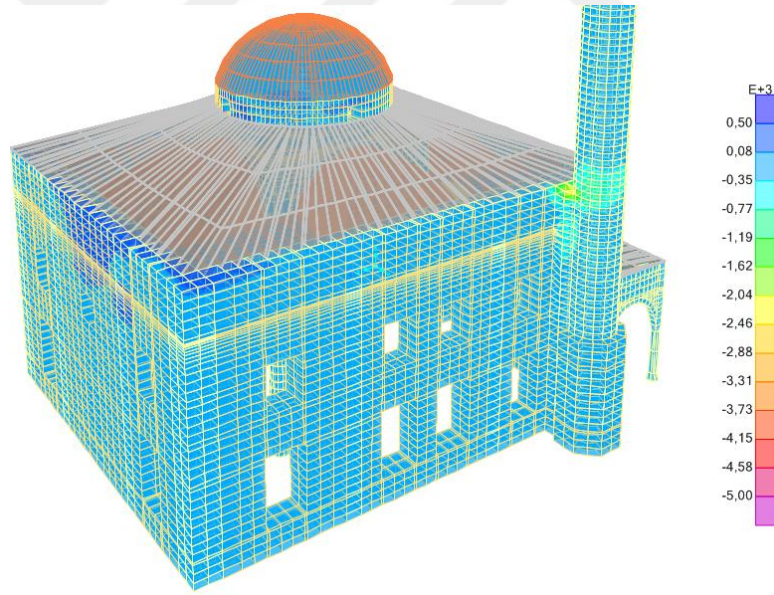


b) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami arka cephe görünüş

Şekil 6.30 23 Ekim 2011 Van-Erciş depremi: S_{11} maksimum basınç gerilmeleri (kN/m^2)

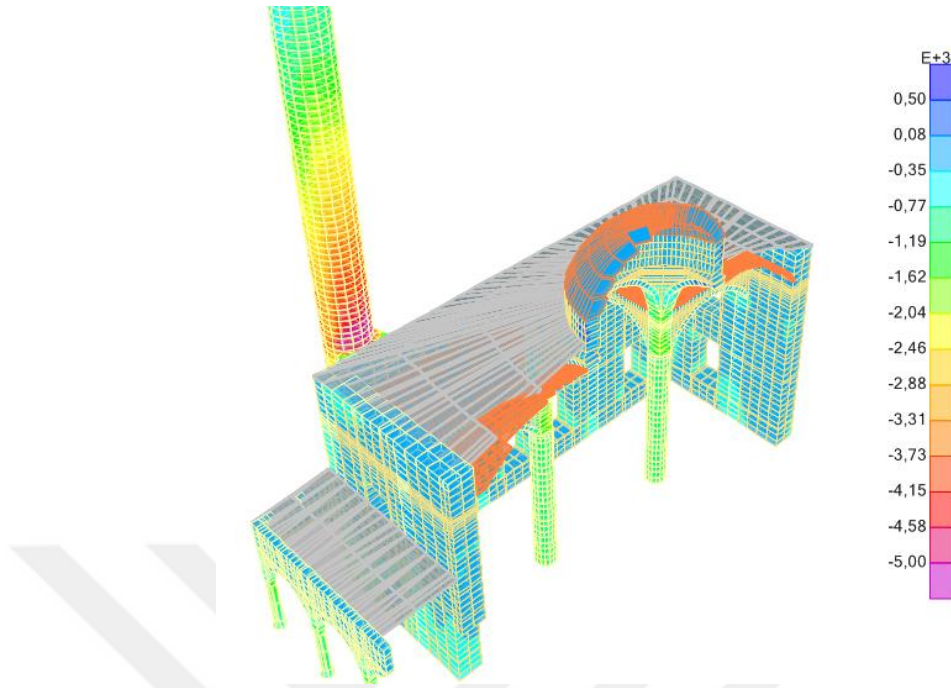


a) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami yarım görünüş

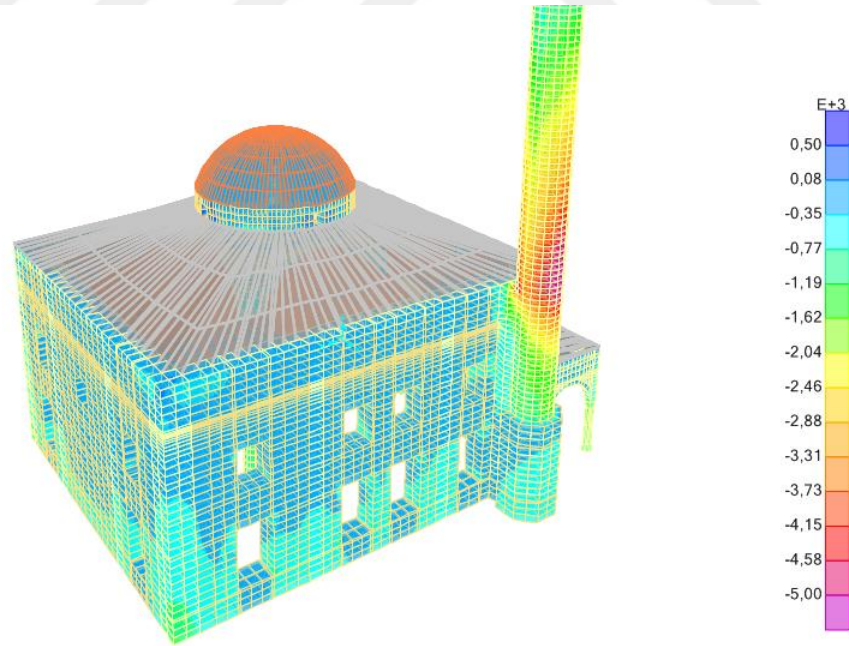


b) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami arka cephe görünüş

Şekil 6.31 23 Ekim 2011 Van-Erciş depremi: S_{22} maksimum basınç gerilmeleri (kN/m^2)



a) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami yarım görünüş



b) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami arka cephe görünüş

Şekil 6.32 23 Ekim 2011 Van-Erciş depremi: S_{33} maksimum basınç gerilmeleri (kN/m^2)

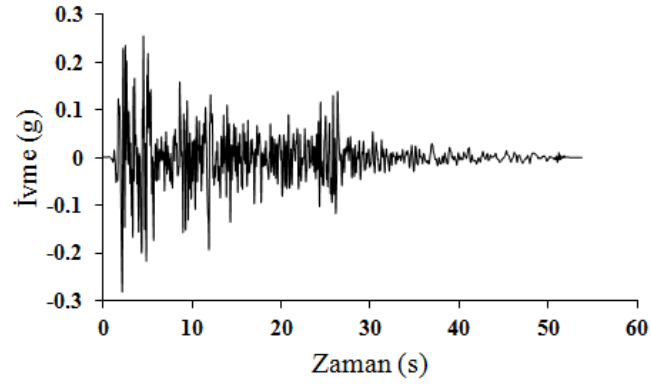
6.1.5 19 Mayıs 1940 El Centro Depremi

ABD-Güney Kaliforniya eyaletinin El Centro kasabasında 19 Mayıs 1940 yılında 7,1 şiddetinde meydana gelen depremde şehirde bulunan yapıların % 80 'i hasar görmüştür. Brawley iş bölgesinde ise tüm yapılar hasar görmüştür. 1933 Long Beach depreminden sonra ilk deprem dirençli olarak tasarlanmış on beş devlet okulu depremden hasar görmemiştir.

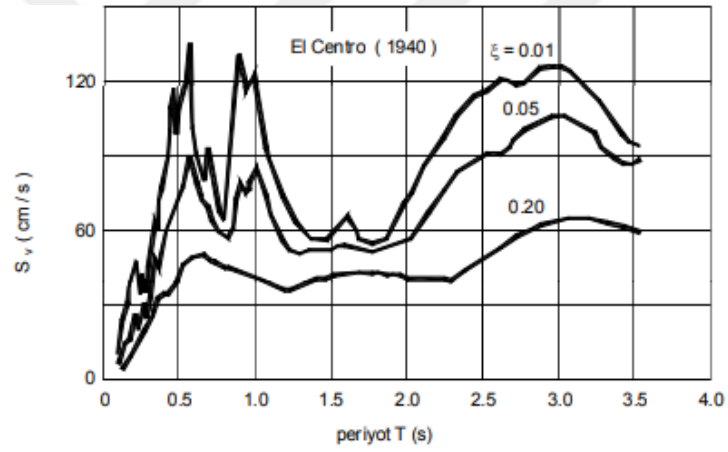


Şekil 6.33 1940 El Centro depremi hasarı

Dünyada en yaygın kullanılan deprem girdisi El Centro (1940) depremidir. Bu depremin en baskın unsuru derin kohezyonlu zeminlerde kaydedilmiş olması, spektrumunun yumuşak sertlikteki zeminlerin dışında bulunmasıdır. $T \geq 0,5$ s olan yapılar için dünyada en çok kullanılan deprem kaydı budur. Ayrıca çoklu şoklar içermektedir (Derdiman ve Mirkelam, 2011).

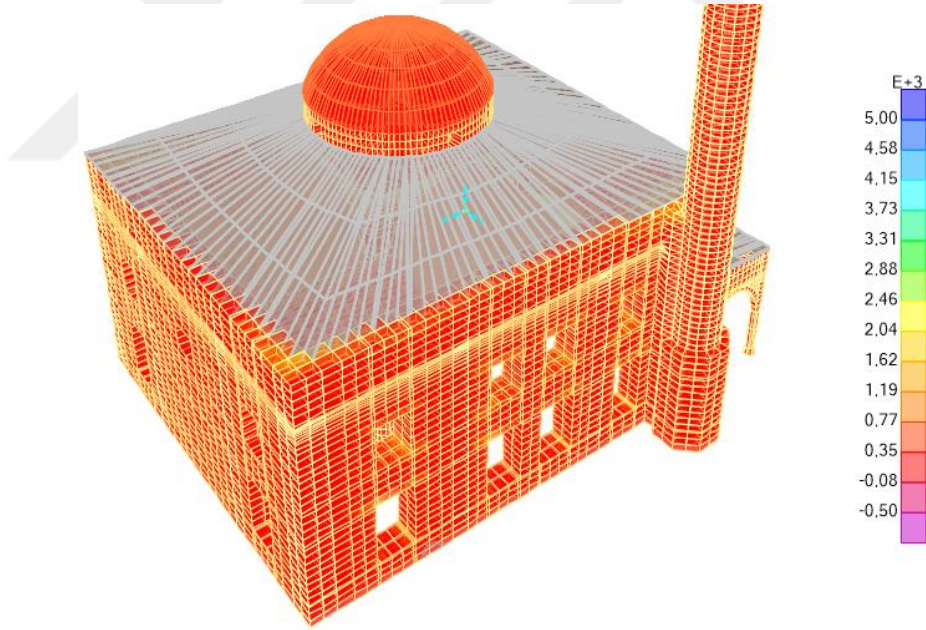
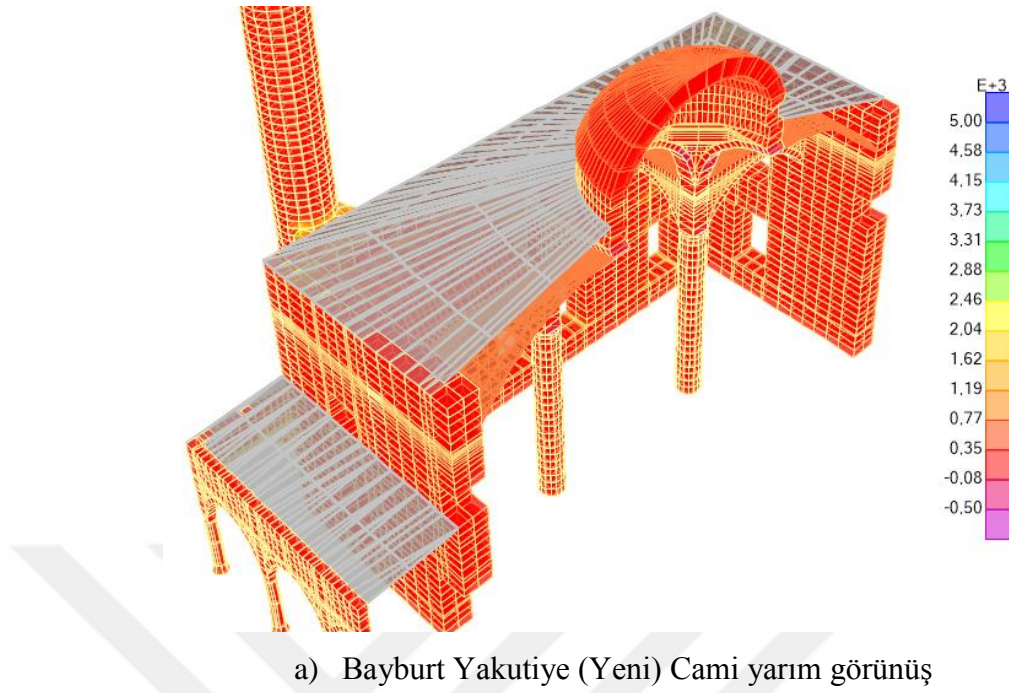


Şekil 6.34 1940 El Centro depremi ivme-zaman grafiği (Merter ve Uçar, 2015)

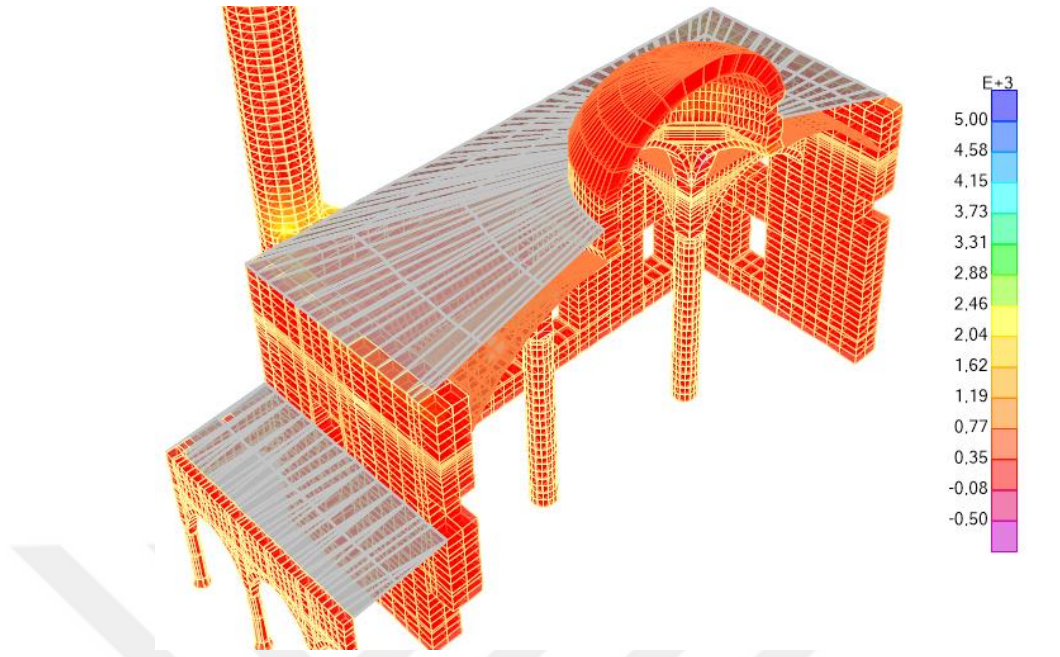


Şekil 6.35 1940 El Centro deprem spektrumları (Celep, 2016)

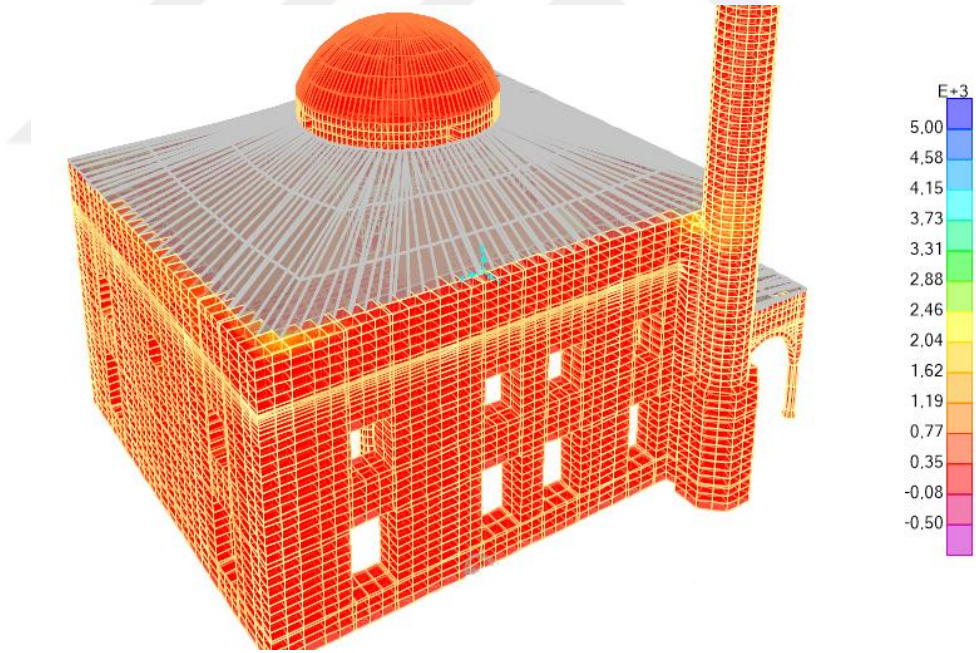
Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami 'ye El Centro (Imperial Valley) deprem kayıtları uygulanarak yapılan analizler neticesinde elde edilen maksimum basınç ve çekme değerleri Şekil 6.36-6.41 'de gösterildiği gibidir.



Şekil 6.36 1940 El Centro depremi: S_{11} maksimum çekme gerilmeleri (kN/m^2)

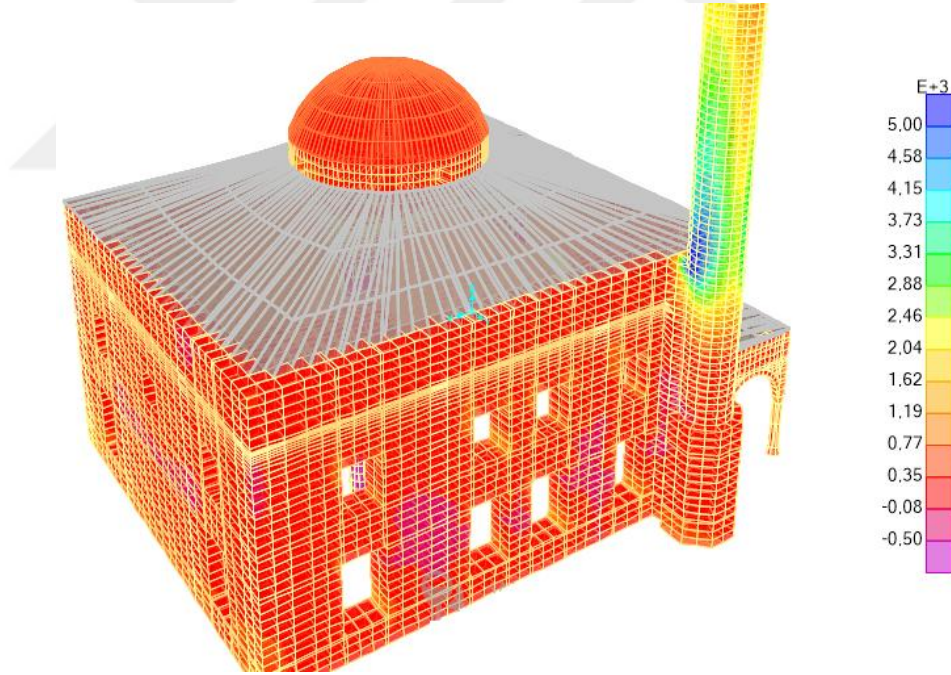
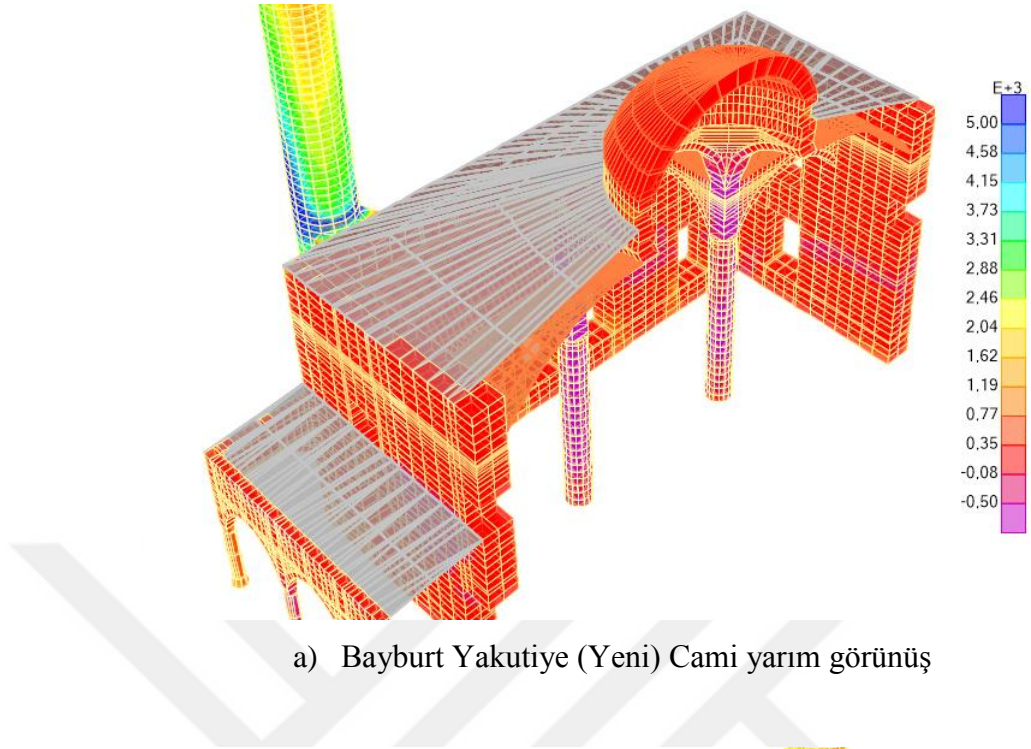


a) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami yarım görünüş

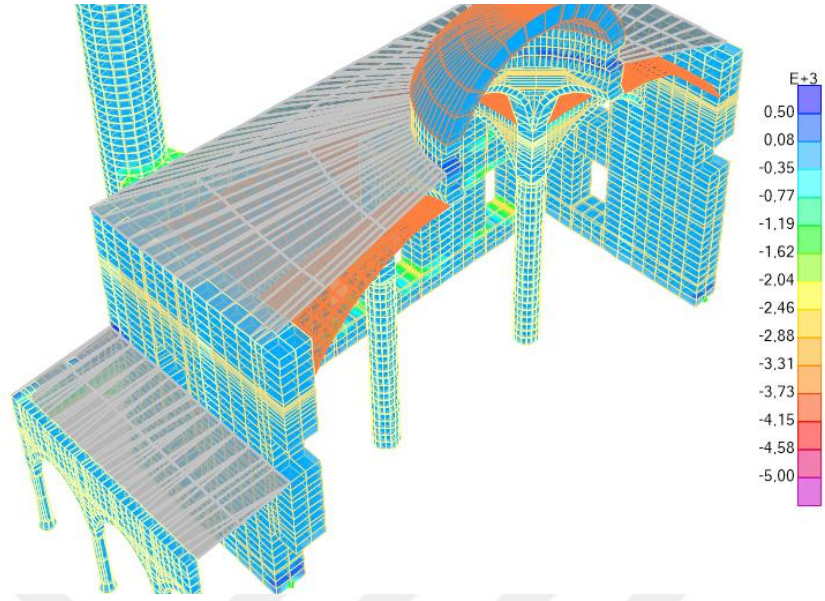


b) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami arka cephe görünüş

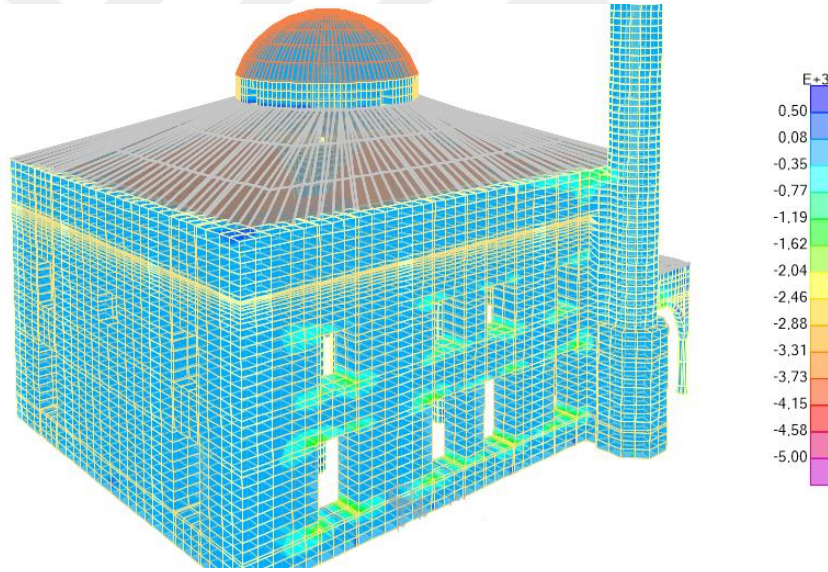
Şekil 6.37 1940 El Centro depremi: S_{22} maksimum çekme gerilmeleri (kN/m^2)



Şekil 6.38 1940 El Centro depremi: S_{33} maksimum çekme gerilmeleri (kN/m^2)

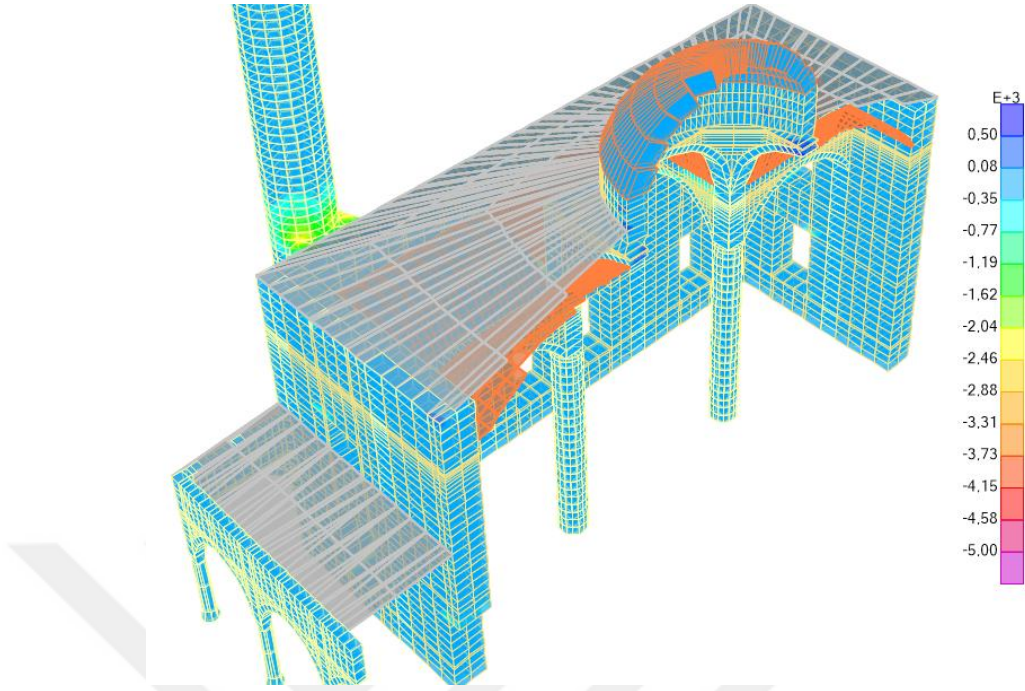


a) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami yarım görünüş

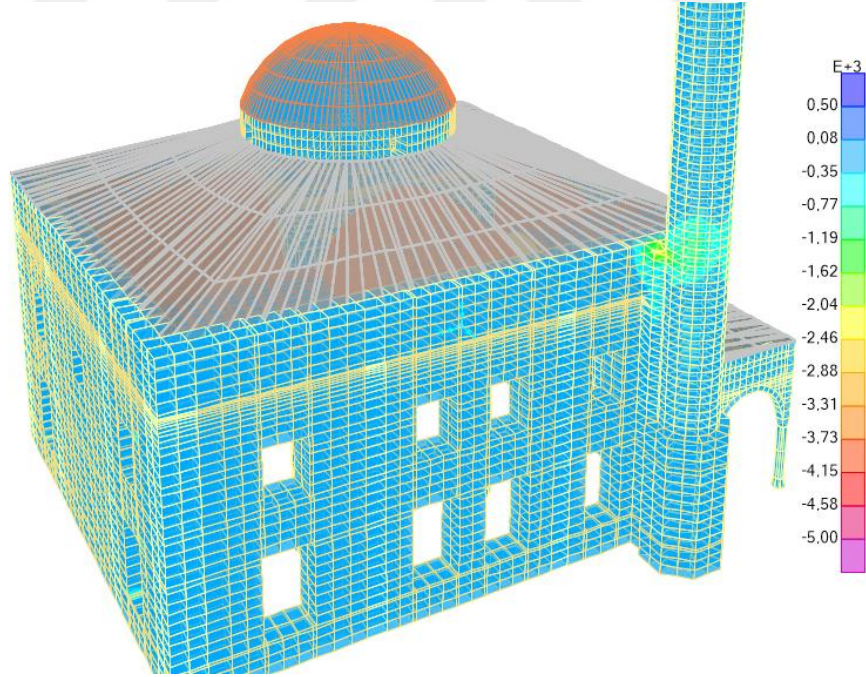


b) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami arka cephe görünüş

Şekil 6.39 1940 El Centro depremi: S_{11} maksimum basınç gerilmeleri (kN/m^2)

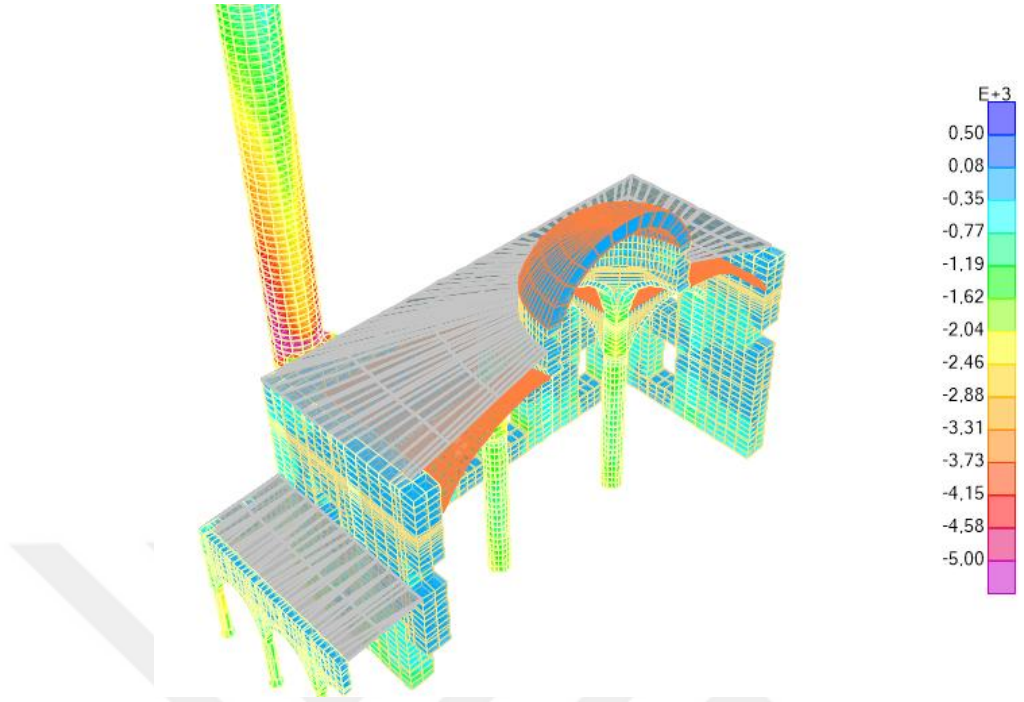


a) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami yarım görünüş

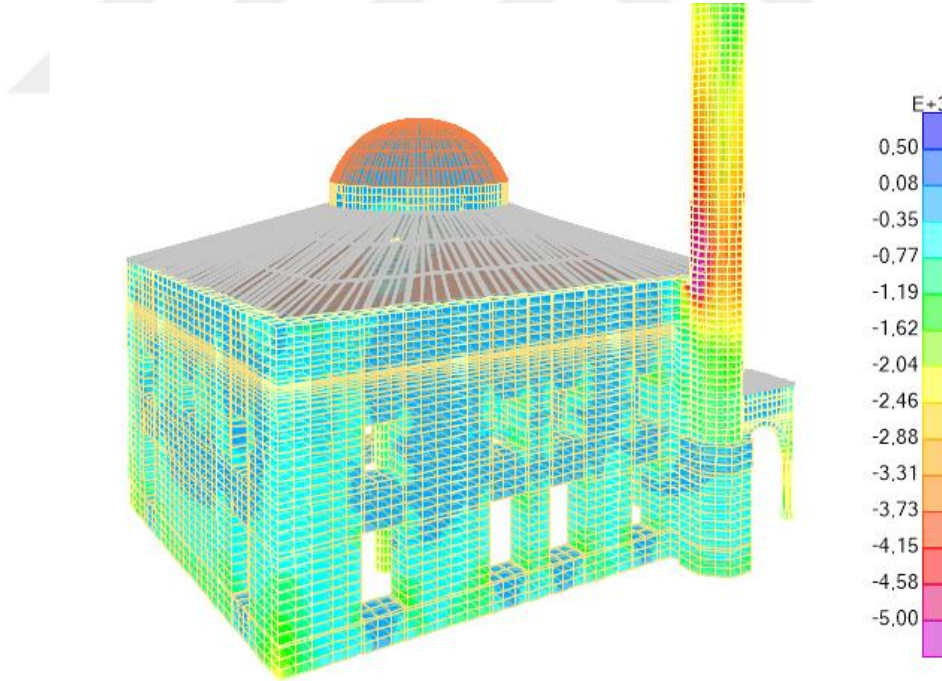


b) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami arka cephe görünüş

Şekil 6.40 1940 El Centro depremi: S_{22} maksimum basınç gerilmeleri (kN/m^2)



a) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami yarım görünüş



b) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami arka cephe görünüş

Şekil 6.41 1940 El Centro depremi: S_{33} maksimum basınç gerilmeleri (kN/m^2)

6.1.6 17 Ocak 1995 Kobe Depremi

Büyük Hansın Depremi, 17 Ocak 1995 tarihinde Japonya 'nın batısındaki yoğun nüfuslu Kansai Bölgesi 'nin Kobe kentini vurmuş Richter ölçeğinde 7,2 büyüklüğündeki depremdir.

17 Ocak 1995'te Kobe 'de meydana gelen deprem 140.000 'den fazla kişinin ölümüne, 40.000 kişinin yaralanmasına, 300.000 kişinin yerinden olmasına, 100.000 binanın hasar görmesine ve en az 132 milyar dolar değerinde hasarın yani Japonya 'nın milli gelirinin yaklaşık yüzde 2,5 'inin çıkmasına neden olmuştur. Komşuları ve kurtarma işçileri tarafından yıkılan binalardan 35.000 'den fazla insan çıkartılmıştır. Japonlar felakete Büyük Hansın Depremi olarak atıfta bulunurlar.

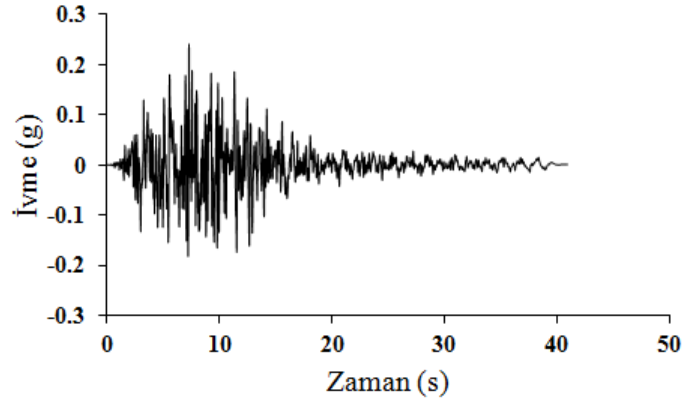
Sabah 5:46 ' da başlayarak, sarsıntı 20 saniye sürmüştür. 50.000 'den fazla bina tahrip olmuş veya ağır hasar görmüştür. Büyük bir otoyol çökmüş, sokaklar yükselmiş ve demir yolu rayları bükülmüştür. Gaz ve su şebekeleri kırılmış, iki gün boyunca süren yangın ile mücadele edilmiştir.

Deprem 1923 'teki Büyük Tokyo Depremi 'nden bu yana Japonya 'daki en şiddetli deprem olmuştur. Dünya Savaşı 'ndan bu yana Japonya 'daki en büyük felaket olmuştur. Nojima Fayı 'nda, bir kaya kütleinin (bir kaya kütleinin diğerine karşı ani yanal hareketi), o zamana kadar tehlikeli bir fay olarak görülmediği ortaya çıkmıştır.

Deprem bu kadar yıkıcı olmasının nedenlerinden en önemlisi depremin çok sığ oluşu, yani geniş çapta hasara neden olma ihtimalinin daha yüksek olmasıdır. Başka bir neden ise, birçok Japon'un Kobe 'nin büyük bir depremden etkilenmeyeceği düşüncesi ve bu nedenle de sakinlerin büyük bir deprem için hazırlıksız oluşudur. Kobe, Japonya 'nın en güzel şehirlerinden biri olarak kabul ediliyordu.

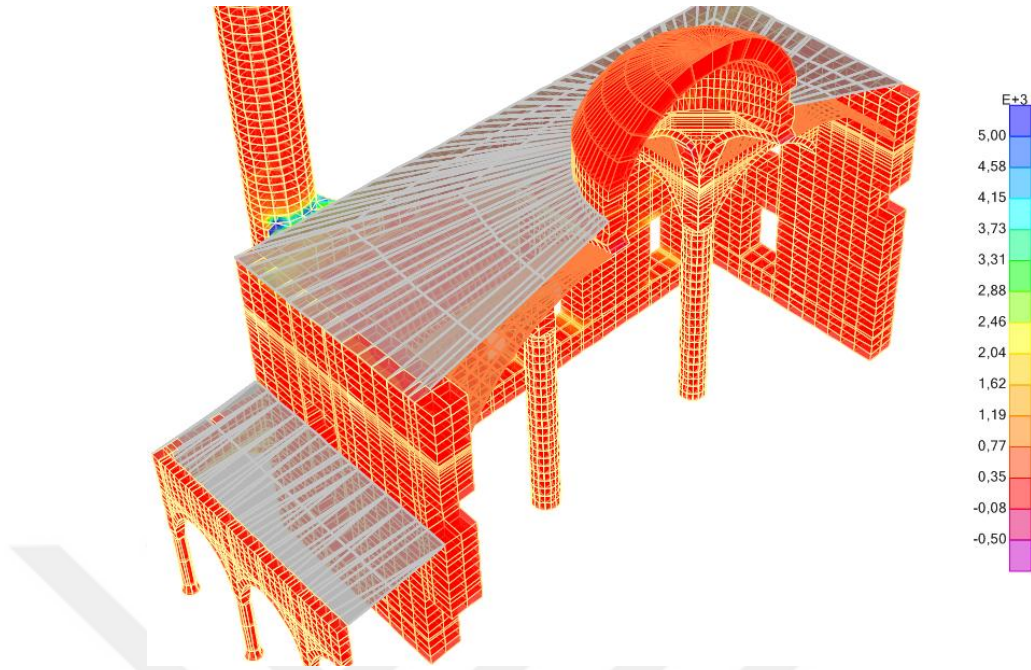


Şekil 6.42 1995 Japonya-Kobe depremi hasarı

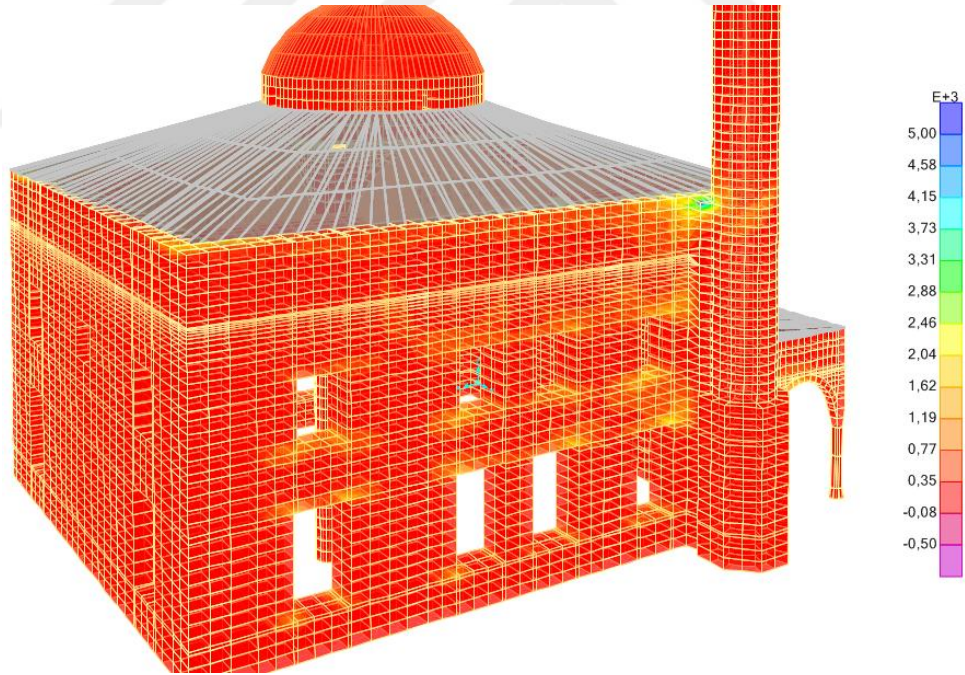


Şekil 6.43 1995 Kobe depremi ivme kaydı (Merter ve Uçar, 2015)

Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami 'ye Kobe deprem kayıtları uygulanarak yapılan analizler neticesinde elde edilen maksimum basınç ve çekme değerleri **Şekil 6.44-6.49** 'da gösterildiği gibidir.

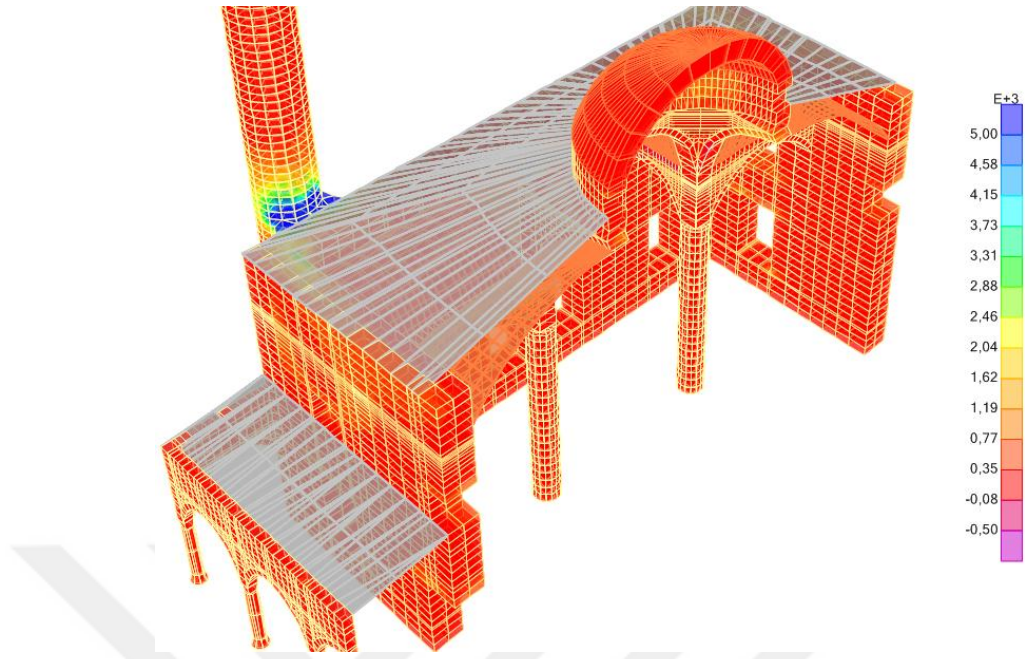


a) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami yarım görünüş

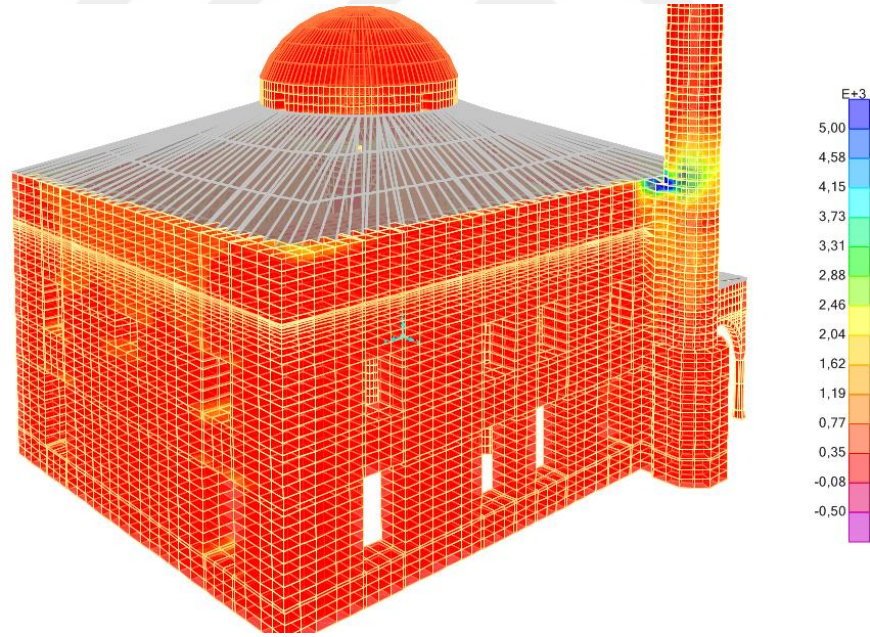


b) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami arka cephe görünüş

Şekil 6.44 1995 Kobe depremi: S_{11} maksimum çekme gerilmeleri (kN/m^2)

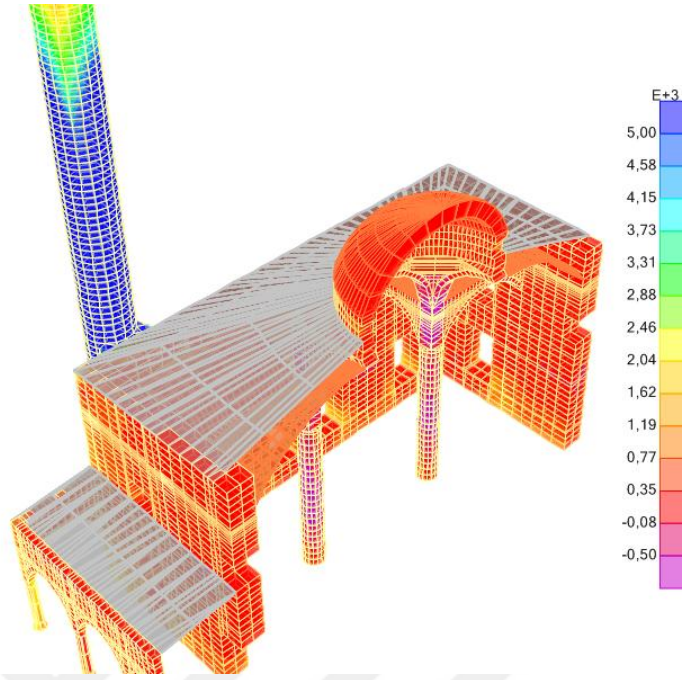


a) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami yarım görünüş

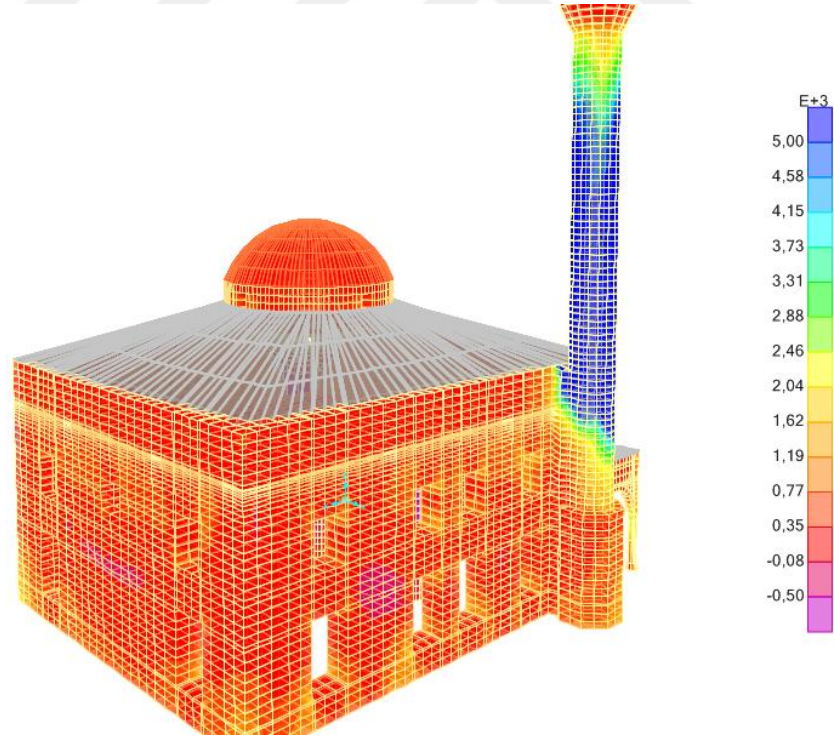


b) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami arka cephe görünüş

Şekil 6.45 1940 El Centro depremi: S_{22} maksimum çekme gerilmeleri (kN/m^2)

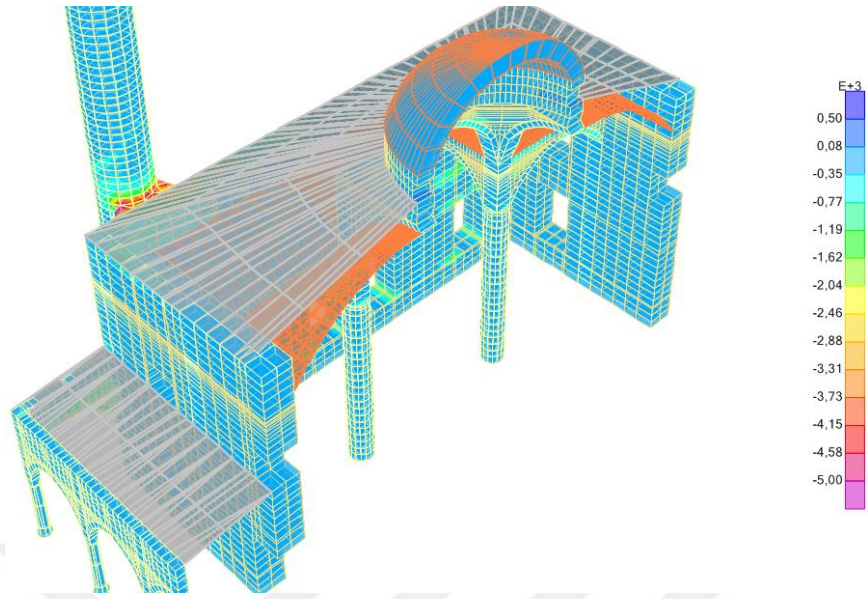


a) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami yarım görünüş

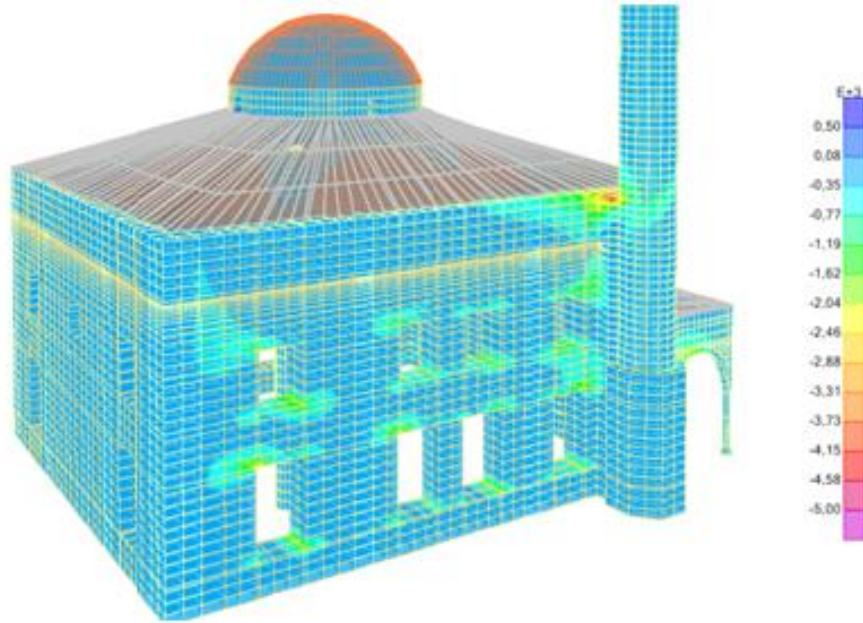


b) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami arka cephe görünüş

Şekil 6.46 1940 El Centro depremi: S_{33} maksimum çekme gerilmeleri (kN/m^2)

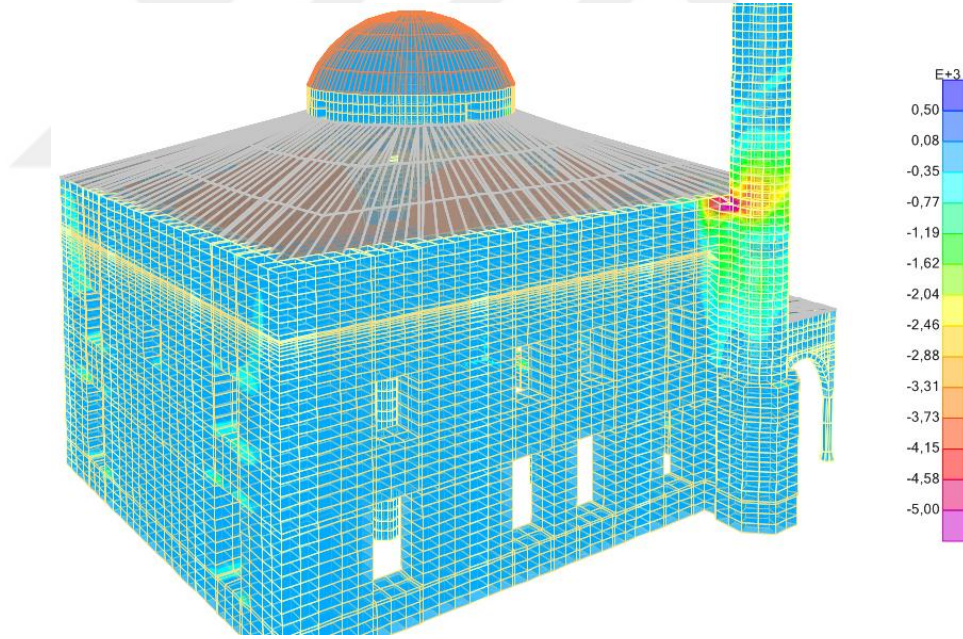
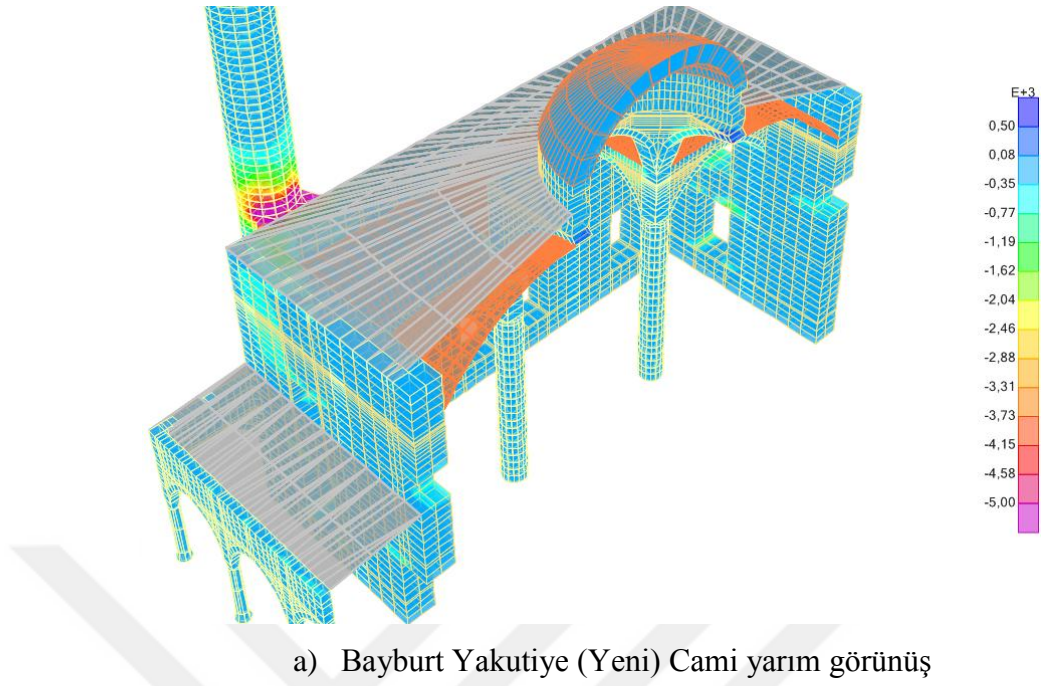


a) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami yarım görünüş

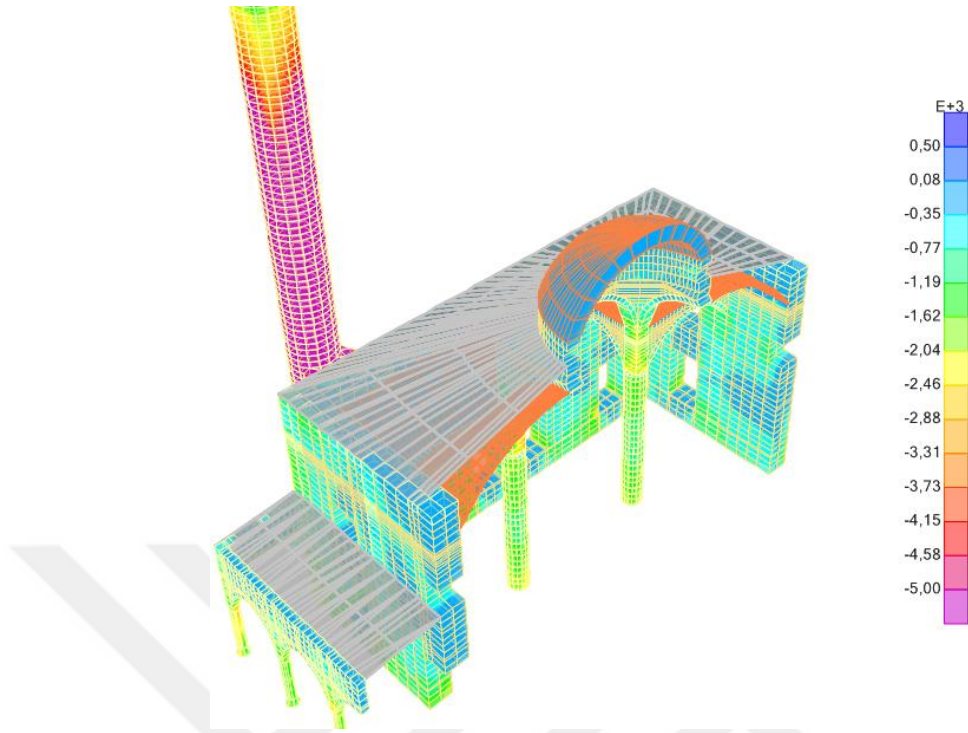


b) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami arka cephe görünüş

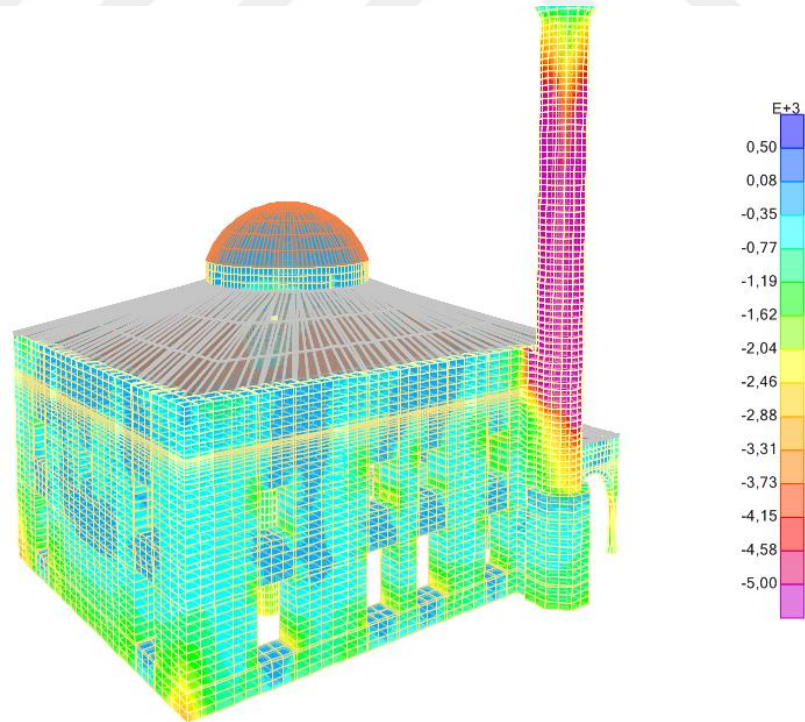
Şekil 6.47 1940 El Centro depremi: S_{11} maksimum basınç gerilmeleri (kN/m^2)



Şekil 6.48 1940 El Centro depremi: S_{22} maksimum basınç gerilmeleri (kN/m^2)



a) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami yarım görünüş



b) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami arka cephe görünüş

Şekil 6.49 1940 El Centro depremi: S_{33} maksimum basınç gerilmeleri (kN/m^2)

Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami'ye uygulanan depremlerinin analizleri sonucunda elde edilen maksimum çekme ve basınç değerleri **Çizelge 6.1** 'de gösterilmiştir.

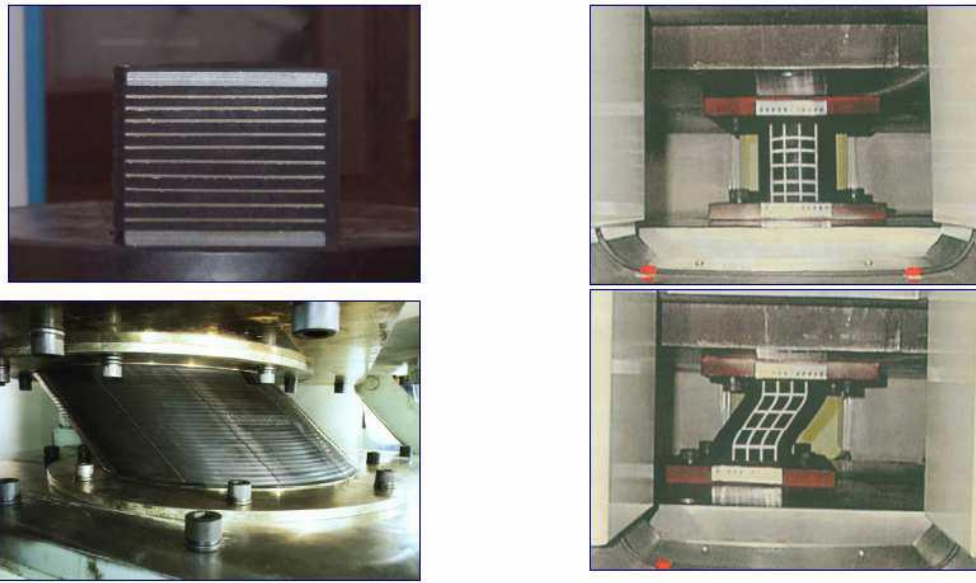
Çizelge 6.1 Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami 'ye uygulanan depremlerin analizleri sonucunda elde edilen maksimum çekme ve basınç değerleri

Uygulanan Depremler	S ₁₁		S ₂₂		S ₃₃	
	Max Çekme (kN/m ²)	Max Basınç (kN/m ²)	Max Çekme (kN/m ²)	Max Basınç (kN/m ²)	Max Çekme (kN/m ²)	Max Basınç (kN/m ²)
Erzincan	1812,21	-1494,02	1914,03	-4280,54	7596,50	-11541,29
Kocaeli	1628,43	-1729,87	5166,38	-4597,10	9498,12	-11192,39
Düzce	2852,30	-3019,21	5074,29	-5550,05	11674,31	-13506,60
Van	1192,81	-1097,46	2725,12	-3187,76	7434,16	-5535,31
El Centro	1578,94	-1711,21	2116,71	-2585,21	7124,02	-8446,80
Kobe	5236,91	-5412,63	7344,03	-8136,85	23902,48	-22895,71

Deprem etkileri altında camimizin makro modelinin SAP 2000 analizlerinde Çizelge 6.1 'de görüldüğü gibi en tehlikeli gerilme değerlerinin S₃₃ (Düşey) gerilmeler olduğu anlaşılmaktadır. Bu gerilme değerlerinin de minare gövdesinde olduğu analiz sonuçlarında görülmektedir. S₃₃ basınç değerlerinin beyaz taş duvar basınç dayanımının (40,55 MPa) altında olduğu, S₃₃ çekme gerilmesi değerlerinin ise beyaz taş çekme dayanımının (4,87 MPa) üstünde olduğu Çizelge 6.1'de görülmektedir. S₁₁ basınç gerilmelerinin beyaz taş duvar dayanımının altında olduğu, çekme gerilmelerinde ise Kobe depreminde dayanımı geçtiği görülmektedir. S₂₂ çekme gerilme değerlerinin Kocaeli, Düzce ve Kobe depremlerinde beyaz taş duvar çekme dayanımının üstünde olduğu, basınç gerilme değerlerinin ise beyaz taş duvar basınç dayanımının altında olduğu anlaşılmıştır. Gerilmelerin taş kapasitesini geçmesi halinde bu bölgelerde hasar riski bulunmaktadır.

6.2 Kauçuk İzolatör İle Güçlendirilmiş Tarihi Yapının Performans Analizleri

Sismik izolasyon; ankastre temelli sistemlerin aksine yapıların doğal titreşim periyodunun uzatılarak daha az deprem etkisinde kalmasını amaçlayan bir yaklaşımdır. Bu sistemler; zemin ile yapının çeşitli yöntemlerle birbirinden ayrılıp deprem esnasında yapının belirli ölçülerde serbest hareket etmesini sağlarlar.

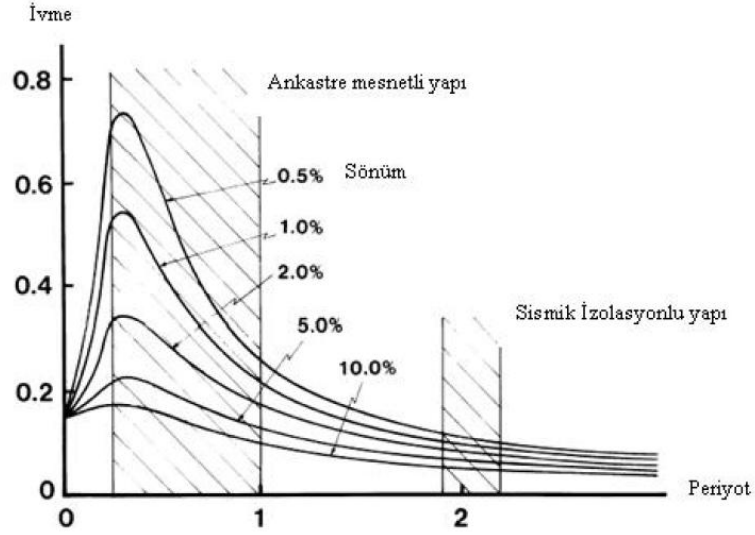


Şekil 6.50 Deprem hareketinde yapının muhtemel tepkisi (Demir, 2008)

Sismik izolasyonlu yapıların tasarımı ile ilgili 2007 TBDY ' de bir bölüm yer almamaktadır. Fakat Resmi gazetede yayımlanan, 1 Ocak 2019 'da yürürlüğe girecek olan 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği Bölüm 14 'te deprem yalıtımının asıl amacının; binanın taşıyıcı sistemine etki eden deprem kuvvetlerinin azaltılması olduğu ve yalıtımın genel tasarım ilkeleri açıklanmıştır.

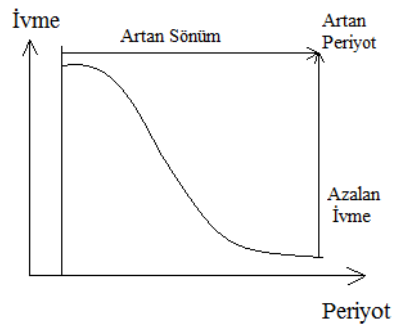
Taban izolasyon sistemlerinin çalışma prensibi üstyapı ile temel arasına yan rijitliği düşük elemanlar koyarak deprem nedeniyle oluşan deplasmanların temel ile üst yapı

arasında olmasını sağlamak ve binaya ankastre temelli durumundaki periyotundan ve deprem hareketinden daha büyük bir periyot vermektir (**Şekil 6.51**).



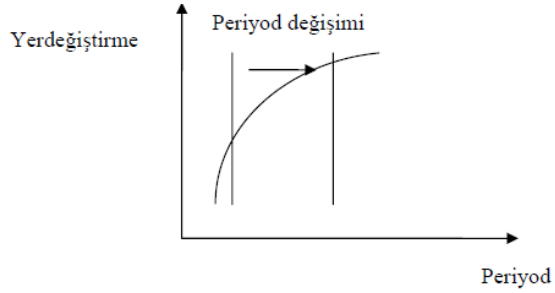
Şekil 6.51 Taban izolasyonlu yapı ile ankastre mesnetli yapı için çizilmiş ivme - periyot grafiği (Evcan, 2012)

Rijit bir sistemde periyot artışı etkiyen ivmelerin azalmasına neden olmaktadır. İvme zaman eksenli spektrumda görüldüğü üzere yapının periyodu artırıldığında yapıya etkiyen düşey eksendeki ivmelerin azaldığı görülmektedir (**Şekil 6.52**).



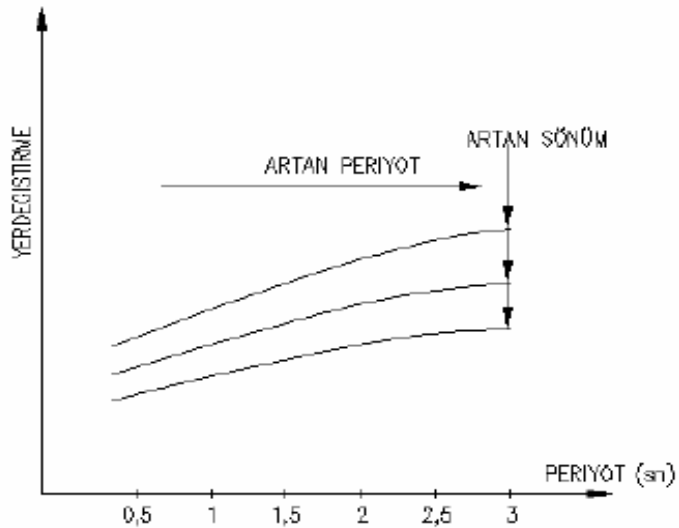
Şekil 6.52 Kuvvetli yer hareketi ivme spektrumu(Evcan, 2012)

Şekil 6.53 'da yapıda periyod artışıyla orantılı olarak artan izolasyon seviyesindeki yer değiştirmeler görülmektedir.



Şekil 6.53 Kuvvetli yer hareketi yer değiştirme spektrumu (Evcan, 2012)

Şiddetli yer hareketlerinde izolasyon seviyesinde gözlenebilecek aşırı yüksek yer değiştirmeleri önlemek için izolasyon sistemine sönüm de mutlaka dahil edilmektedir. **Şekil 6.54** 'te görülen üç farklı sönüm değeri için kuvvetli yer hareketi yer değiştirme spektrumudur. Sistemde sönümün yüksek olması daha küçük yer değiştirmelerle yer hareketinin sönmünebileceği anlamına gelmektedir.

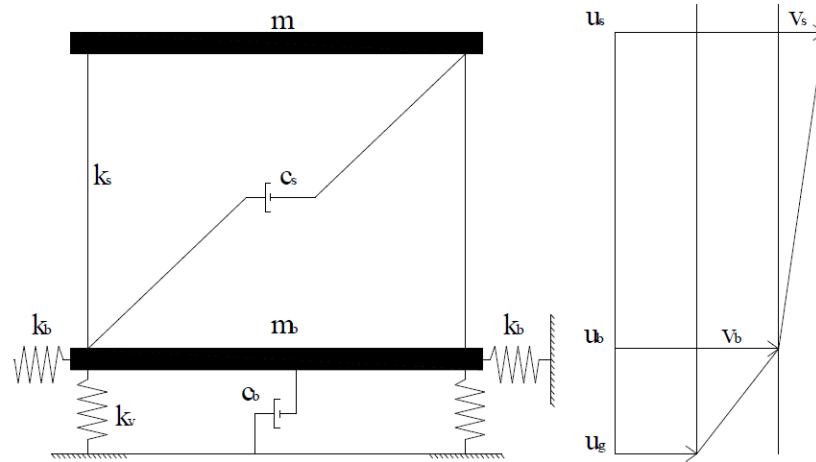


Şekil 6.54 Periyotda ki artışla artan deplasmanların sönümle azaltılması (Evcan, 2012)

İzolasyonlu sistemde yapının yer hareketini büyütme oranı 0,9-1,0 civarında olmaktadır. İzolasyonsuz yapı ise yer hareketini 3,0 -6,0 kat büyütmektedir.

Amerika Birleşik Devletleri 'nin Uniform Building Code (UBC 97) yer değiştirmenin taban izolasyon seviyesinde kaldığı ve üst yapı rijit davrandığı varsayımı üzerine kurulmuştur. Bu nedenle yönetmeliğe göre yapının ilk titreşim modu önemlidir. Yönetmelik zayıf zemin tiplerinde, yapının maksimum deprem yükü altında periyodunun 3 saniyeden büyük olduğu durumlarda, yapının düşeyde ve yatayda düzensiz olduğu, yapının dört kattan veya 19,8 metreden yüksek olduğu durumlarda Spektral Analiz yapılmasını zorunlu tutmuştur.

Sismik izolasyonun teorik esasları: Taban izolasyonuna ait lineer teori konusu Kelly tarafından iki kütleli modele dayandırılarak detaylı olarak açıklanmıştır. Lineer Teori **Şekil 6.55** 'te gösterildiği gibi iki kütleli bir yapı modeline dayanmaktadır. "m" ile binanın üstyapısını gösterilmekte, "mb" ile ifade edilen kütle ise, izolasyon sistemi üzerindeki temel katmanının kütlesidir. Yapı rijitliği ve sönüm değerleri sırasıyla k_s ve c_s ile gösterilmiştir.



Şekil 6.55 İzole edilmiş yapı parametreleri (Demir, 2008)

İzolasyona ait rijitlik ve sönüm değerleri sırasıyla k_b ve c_b ile gösterilmiştir. İki kütleli mutlak deplasmanları U_s, U_b sembolleri ile gösterilmektedir.

$$v_b = u_b - u_g \quad (6.1)$$

$$v_s = u_s - u_g \quad (6.2)$$

Burada u_g zemin deplasmanı, v_b yalıtım sisteminin deplasmanı, v_s ise görelî kat ötelenmesidir.

Bayburt Yakutiye (Yeni) Camii 'nin sismik yalıtımında kauçuk izolatörler kullanılmıştır. Kauçuk izolatörlerin boyutlandırılmasında Uniform Building Code (UBC-97) 'a uyulmuştur. UBC-97 'de kullanılan ifadelerin tanımı:

-Tasarım Depremi (DBE): 50 yıl içerisinde meydana gelen ve aşılma ihtimalinin %10 olduğu depremlerdir.

-Efektif Maksimum Tasarım Depremi (MCE): Yapı mahallinde beklenen maksimum yer sarsıntısıdır. 1000 yıllık periyotlarda, 1000 yıllık zaman dilimi içerisinde aşılma ihtimali %10 olduğu depremlerdir.

-Efektif Sönüm (β): İzolatörlerden enerji devî süresince, sistemin viskoz sönümleyicilere eşit değeridir.

-Efektif Rijitlik (k): İzolasyon sisteminde, göz önünde bulundurulmuş yatay kuvvetlerin neden olduğu yer değiştirmeye oranıdır.

-Tasarım Yer Değiştirme (dD): İzolasyon sisteminin tasarımında ihtiyaç duyulan, ikinci mertebe dönme ve hareket süresince, sistemde oluşan ek deplasmanlar haricinde, burulmalarda dikkate alınarak hesaplanan yatay deplasmandır.

-Maksimum Toplam Deplasman (dM): Olması beklenen en büyük depremde, ikinci mertebeden dönme ve hareketler sonucu meydana gelen yatay deplasmanlar haricinde, burulmalarda dikkate alınarak hesaplanan yatay yer değiştirmelerdir.

-Tasarım Titreşim Periyodu (TD): Tasarım deplasmanında sistemin periyodudur. Tasarımda kullanılan efektif periyottur.

-Maksimum Efektif Periyot (TM): Sistemin maksimum deplasmanında kullanılan periyottur.

Uniform Building Code (UBC-97) 'da kullanılan parametreler ise şu şekildedir:

-Sismik Bölge Faktörü (Z): Bayburt merkezi 3.derece deprem bölgesinde yer aldığından etkin yer ivmesi katsayısı 0,20 'dir. Bu nedenle UBC-97 'ye göre $Z=2B$ alınmıştır (**Çizelge 6.2**).

Çizelge 6.2 Uniform Building Code (UBC-97)-Sismik Bölge Faktörü

Bölge	1	2A	2B	3	4
Z	0,075	0,15	0,20	0,30	0,40

-Zemin Profil Tipi: Yerel zemin sınıfı Z3 olduğundan zemin profil tipi UBC-97 ye göre S_C 'dir (**Çizelge 6.3**).

Çizelge 6.3 Uniform Building Code (UBC-97)-Zemin Profil Tipi

Zemin Profil Tipi	Zemin Profil Tanımı	Zemin yüzeyinden 30,5 m içindeki tabakanın ortalama zemin özellikleri		
		Kayma Dalgası Hızı, \bar{v}_s (m/s)	Standart Penetrasyon Testi, N (Darbe/30 cm)	Drenajsız Kesme Direnci, \bar{s}_u (kPa)
S_A	Sert Kaya	>1500	-	-
S_B	Kaya	760-1500	-	-
S_C	Sıkı Toprak ve Yumuşak Kaya	360-760	>50	>100
S_D	Sert Toprak	180-360	15-50	50-100
S_E	Yumuşak Toprak	<180	<15	<50
S_F	Yerel zemin sınıfına bağlı değerlendirme gerektirir. Sıvılaşma tehlikesi bulunan zayıf zeminleri temsil eder.			

-Sismik Kaynak Tipi: UBC-97 'de fay hatlarının taşıdıkları sismik riske göre A, B, C olarak sınıflandırılmış ve yapı için sismik kaynak tipi B seçilmiştir (**Çizelge 6.4**).

Çizelge 6.4 Uniform Building Code (UBC-97)-Sismik Kaynak Tipleri

Sismik Kaynak Tipi	Sismik Kaynak Özellikleri	Sismik Kaynak Tanımı	
		Maksimum Moment Büyüklüğü (M)	Kayma Hızı, SR (mm/yıl)
A	Büyük depremler oluşturabilecek yüksek oranda sismik aktiviteye sahip fay hatları	$M \geq 7,0$	$SR \geq 5$
B	Tip A ve C' nin dışındaki tüm fay hatları	$M \geq 7,0$ $M < 7,0$ $M \geq 6,5$	$SR < 5$ $SR > 2$ $SR < 2$
C	Büyük depremler oluşturamayacak ve düşük oranda sismik aktiviteye sahip fay hatları	$M < 6,5$	$SR \leq 2$

-Kaynak Yakınlık Faktörü (N): Uygulama alanının aktif bir sismik kaynağa yakınlığından dolayı genişleyen yer hareketinin tanımlanması için UBC97 'ye göre 2 katsayı kullanılır. Bu katsayılardan N_a , tepki spektrumunun kısa periyotlu, sabit ivmeli bölgesine; N_v ise orta periyotlu sabit hızlı bölgesine karşılık gelmektedir. UBC97 'ye göre aktif sismik kaynağa yakınlık, yapı sistemi ile fayın düşey izdüşümü arasındaki en kısa mesafe olarak tanımlanır. $N_v \geq 15$ km olarak belirlenmiştir (**Çizelge 6.5**).

Çizelge 6.5 Uniform Building Code (UBC-97) Kaynak Yak. Faktörü (N_v)

Sismik Kaynak Tipi	Sismik kaynağa en yakın mesafe			
	≤ 2 km	5 km	10 km	≥ 15 km
A	2,0	1,6	1,2	1,0
B	1,6	1,2	1,0	1,0
C	1,0	1,0	1,0	1,0

-Sismik Katsayı (C): Zemin profil tipi S_C (Çizelge 6.3) ve Sismik Bölge Faktörü $Z=2B$ ($A_0 = 0,2$) (Çizelge 6.2) seçildiğinden Sismik Katsayı $C=0,32$ olarak belirlenmiştir (Çizelge 6.6).

Çizelge 6.6 Uniform Building Code (UBC-97)-Sismik Katsayı (C)

Zemin Profil Tipi	Sismik Bölge Faktörü				
	Z=0,075	Z=0,15	Z=0,2	Z=0,3	Z=0,4
S_A	0,06	0,12	0,16	0,24	0,32
S_B	0,08	0,15	0,20	0,30	0,40
S_C	0,13	0,25	0,32	0,45	0,56
S_D	0,18	0,32	0,40	0,54	0,64
S_E	0,26	0,50	0,64	0,84	0,96
S_F	S_F zemin profiline sahip bölgelerde C_V sismik katsayısı bölgenin geoteknik incelenmesi ve dinamik tepki analizinin yapılması sonucu elde edilir.				

-Sönüm Katsayısı (β): İzolatörün sönüm oranı 10, sönüm katsayısı ise $B=1,2$ olarak belirlenmiştir (Çizelge 6.7).

Çizelge 6.7 Uniform Building Code (UBC-97)-Sönüm Katsayısı (β)

Efektif Sönüm Oranı (β_D, β_M)	Sönüm Katsayıları (B_D, B_M)
≤ 2	0,8
5	1,0
10	1,2
20	1,5
30	1,7
40	1,9
≥ 50	2,0

-Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı: $R_1 = 2$ olarak belirlenmiştir (**Çizelge 6.8**).

Çizelge 6.8 Uniform Building Code (UBC-97)-Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı

Taşıyıcı Sistem	R_1	R
Moment Aktaran Çerçeve	2	8,5
Perde Duvar	2	5,5
Merkezi Çaprazlı Çerçeve	1,6	5,6
Dışmerkez Çaprazlı Çerçeve	2	7

-Yapının ilk titreşim periyodu: $T = 0,31$ sn

-Tasarım Titreşim Periyodu: $T_D = 1$ sn (Hedeflenen periyot)

-Dış duvarlardan gelen yükler: $W_A = 550$ kN (A tipi izolatör: 18 adet)

-Ana kubbe kolonlardan gelen yükler: $W_B = 900$ kN (B tipi izolatör: 4 adet)

-Minarenden gelen yükler: $W_C = 325$ kN (C tipi izolatör: 4 adet)

-Toplam yapı yükü: $W_T = (550*18 + 900*4 + 325*4) = 14.800$ kN

-Minimum Yatay Rijitlik:

$$A \text{ tipi izolatör : } k_{D_1} = \frac{4\pi^2 * W_1}{T_D^2 * g} = \frac{4\pi^2 * 0,55}{1^2 * 9,81} = 2,21 \text{ MN/m} \quad (6.3)$$

$$B \text{ tipi izolatör : } k_{D_2} = \frac{4\pi^2 * W_2}{T_D^2 * g} = \frac{4\pi^2 * 0,9}{1^2 * 9,81} = 3,62 \text{ MN/m}$$

$$C \text{ tipi izolatör : } k_{D_3} = \frac{4\pi^2 * W_3}{T_D^2 * g} = \frac{4\pi^2 * 0,325}{1^2 * 9,81} = 1,31 \text{ MN/m}$$

-Tasarım Yer Değiştirme:

$$D_D = \frac{g * C_v * T_D}{B * 4\pi^2} = \frac{9,81 * 0,32 * 1}{1,2 * 4\pi^2} = 0,066 \text{ m} \quad (6.4)$$

Burada C sismik katsayı, T_D hedeflenen periyot, B sönüm katsayısıdır.

-İzolatör Yüksekliği (t): Tasarım yer değiştirmesinin kayma şekil değiştirmesine oranıdır.

$$t = \frac{D_D}{\gamma} = \frac{0,066}{1,5} = 0,044 \text{ m} \rightarrow \text{seçilen } t = 10 \text{ cm} \quad (6.5)$$

UBC-97 'ye göre $\gamma_{\max} = 1,5$ alınır.

-Daire kesitli izolatörlerin alanları ve çap uzunlukları:

$$A \text{ tipi izolatör: } A_1 = \frac{k_D * t}{G} = \frac{2,21 * 0,1}{1} = 0,221 \text{ m}^2 \rightarrow D_1 = 55 \text{ cm} \quad (6.6)$$

$$B \text{ tipi izolatör: } A_2 = \frac{k_D * t}{G} = \frac{3,62 * 0,1}{1} = 0,362 \text{ m}^2 \rightarrow D_2 = 70 \text{ cm}$$

$$C \text{ tipi izolatör: } A_3 = \frac{k_D * t}{G} = \frac{1,31 * 0,1}{1} = 0,131 \text{ m}^2 \rightarrow D_3 = 40 \text{ cm}$$

k_D minimum yatay rijitlikler, G elastomer malzemesinin kayma modülü, A kauçuğun plandaki enkesit alanı, t ise kauçuk katmanların toplam yüksekliğidir.

-Yatay Rijitlik: Seçilen çap ve yükseklik değerlerine göre tekrar hesaplanır.

$$K_H^A = \frac{A_1 * G}{t} = \frac{\frac{\pi * D_1^2}{4} * 1}{0,1} = \frac{\frac{\pi * 0,55^2}{4} * 1}{0,1} = 2,37 \text{ MN/m} \quad (6.7)$$

$$K_H^B = \frac{A_2 * G}{t} = \frac{\frac{\pi * D_2^2}{4} * 1}{0,1} = \frac{\frac{\pi * 0,70^2}{4} * 1}{0,1} = 3,84 \text{ MN/m}$$

$$K_H^C = \frac{A_3 * G}{t} = \frac{\frac{\pi * D_3^2}{4} * 1}{0,1} = \frac{\frac{\pi * 0,40^2}{4} * 1}{0,1} = 1,26 \text{ MN/m}$$

$$\sum K_H = 18 K_H^A + 4 K_H^B + 4 K_H^C = 18 * 2,37 + 4 * 3,84 + 4 * 1,26 = 63,06 \text{ MN/m}$$

$$T_D = 2 \pi \sqrt{\frac{W_T}{\sum K_H * g}} = 2 \pi \sqrt{\frac{14,8}{63,06 * 9,81}} = 0,97 \text{ sn} \sim 1 \text{ sn} \quad (6.8)$$

$$T = 0,31 \text{ sn} \quad T_D = 0,97 \text{ sn}$$

-Toplam Sönüm: β efektif sönüm oranı, B sönüm katsayısı olmak üzere; **(Çizelge 6.7)**

$$B = \frac{4}{1 - \ln \beta} = \frac{4}{1 - \ln 0,1} = 1,21 \quad (6.9)$$

- Yatay Yer Değiştirme:

$$D_D = \frac{g * C_V * T_D}{B * 4\pi^2} = \frac{9,81 * 0,32 * 0,97}{1,21 * 4\pi^2} = 0,064 \text{ m}$$

$$Y = \frac{D_D}{t} = \frac{0,064}{0,1} = 0,64 < Y_{max} = 1,5; \text{ Hesaplanan değer istenilen sınırdadır.}$$

-Yatay Yer Değiştirme: Hesaplanan 0,97 sn ile yatay yer değiştirme tekrar hesaplanır.

Yapı oturma alanı: 21,14 m * 15,35 m

“ e “ planda uzun doğrultudaki yapı boyudur: 21,14 m

$$E = 0,05 * e = 0,05 * 21,14 = 1,05 \quad (6.10)$$

$$D_{total} = D_D \left(1 - \frac{12 * E}{b^2 + d^2} \right) = 0,064 \left(1 - \frac{12 * 1,05}{21,14^2 + 15,35^2} \right) = 0,063 \text{ m} \quad (6.11)$$

0,063 m < $D_D = 0,064$ m olduğu için UBC-97 ‘e göre yatay yer değiştirme en az $1,1D_D$ alınır. $D_D * 1,1 = 0,0704$ m;

Analizde kullanılacak parametreler ise şoyledir:

-Taban Kesme Kuvveti (V_b):

$$V_b = K_H * D_D = 63,06 * 0,0704 = 4,44 \text{ MN} \quad (6.12)$$

$R = 2$ (Taşıyıcı sistem davranış katsayısı) (**Çizelge 6.8**)

$$V_S = \frac{K_H * D_D}{R} = \frac{4,44}{2} = 2,22 \text{ MN (Yapıya etkiyen deprem kuvveti)} \quad (6.13)$$

$$C_S = \frac{V_S}{W_T} = \frac{2,22}{14,8} = 0,15; \%15 \text{ (Deprem azaltma katsayısı)} \quad (6.14)$$

Kauçuk izolatör detayı: şekil faktörü “ S “ elastomer kauçuk malzemenin tek bir tabakasına ait boyutsuz bir orandır. D çaplı ya da R yarıçaplı ve t kalınlığındaki elastomer izolatör için “ S “;

$$S = \frac{\text{Disk Alanı(Yüklü Alan)}}{\text{Kesit Alanı(izolatör Kenar Alanı)}} = \frac{\frac{R * D^2}{4}}{R * D * t} = \frac{D}{4 * t} = \frac{R}{2 * t} \quad (6.15)$$

İzolatörlerdeki çelik levhalar arasında kauçuk tabakaların bir tanesinin kalınlığı olan t_0 aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$\frac{D_1}{80} \leq t_0^1 \leq \frac{D_1}{40}$$

$$\frac{550}{80} \leq t_0^1 \leq \frac{550}{40}$$

$$6,88 \leq t_0^1 \leq 13,75$$

$$\frac{D_2}{80} \leq t_0^2 \leq \frac{D_2}{40}$$

$$\frac{700}{80} \leq t_0^2 \leq \frac{700}{40}$$

$$8,75 \leq t_0^2 \leq 17,5$$

$$\frac{D_3}{80} \leq t_0^3 \leq \frac{D_3}{40}$$

$$\frac{400}{80} \leq t_0^3 \leq \frac{400}{40}$$

$$5 \leq t_0^3 \leq 10$$

$$6,88 \leq t_0^1 \leq 13,75$$

$$8,75 \leq t_0^2 \leq 17,5$$

$$5 \leq t_0^3 \leq 10$$

↓

$$t_0 = 10 \text{ mm seçilir.}$$

Buradan “ S “ şekil faktörü ise;

$$S_A = \frac{D_1}{4 \cdot t_0} = \frac{550}{4 \cdot 10} = 13,75 \quad (6.16)$$

$$S_B = \frac{D_2}{4 \cdot t_0} = \frac{700}{4 \cdot 10} = 17,5$$

$$S_C = \frac{D_3}{4 \cdot t_0} = \frac{400}{4 \cdot 10} = 10$$

Toplam elastomer yüksekliği $t = 100$ mm olarak seçilmiştir. Çelik plakalar arasındaki elastomer kalınlığı $t_0 = 10$ mm olduğuna göre;

$$n_{\text{elastomer}} \cdot t_0 = t \quad (6.17)$$

$$n_{\text{elastomer}} \cdot 10 = 100$$

$$n_{\text{elastomer}} = 10 \text{ adet}$$

$$n_{\text{çelik}} = n_{\text{elastomer}} - 1 \quad (6.18)$$

$$n_{\text{çelik}} = 10 - 1 = 9 \text{ adet}$$

UBC-97 'de elastomer tabakaların arasına konacak her bir çelik levha kalınlığı standartlarda 2 mm olarak verilmiştir. İzolatörün sağında-solunda 5 mm kauçuk tabaka ve altında-üstünde 25 mm çelik levha kullanılır.

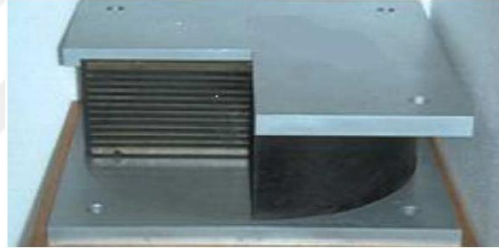
$$H = 2 * 25 + (n_{\text{elastomer}} * t_0) + (n_{\text{çelik}} * t_{\text{çelik}})$$

$$H = 2 * 25 + 10 * 10 + 9 * 2 = 168 \text{ mm}$$

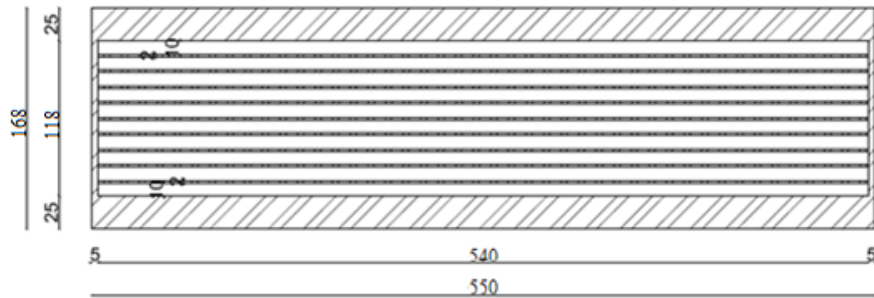
$$D_1 = 10 \text{ mm} + 540 \text{ mm} = 550 \text{ mm (Şekil 6.57)}$$

$$D_2 = 10 \text{ mm} + 690 \text{ mm} = 700 \text{ mm (Şekil 6.58)}$$

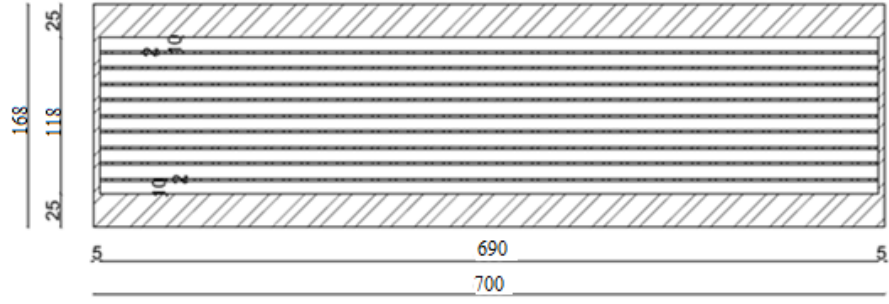
$$D_3 = 10 \text{ mm} + 390 \text{ mm} = 400 \text{ mm (Şekil 6.59)}$$



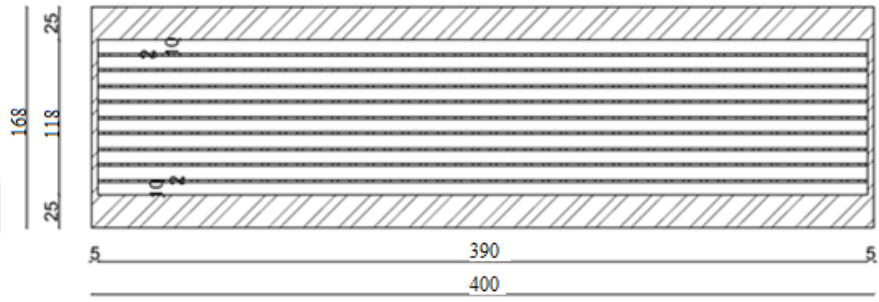
Şekil 6.56 Kauçuk izolatör (Demir, 2008)



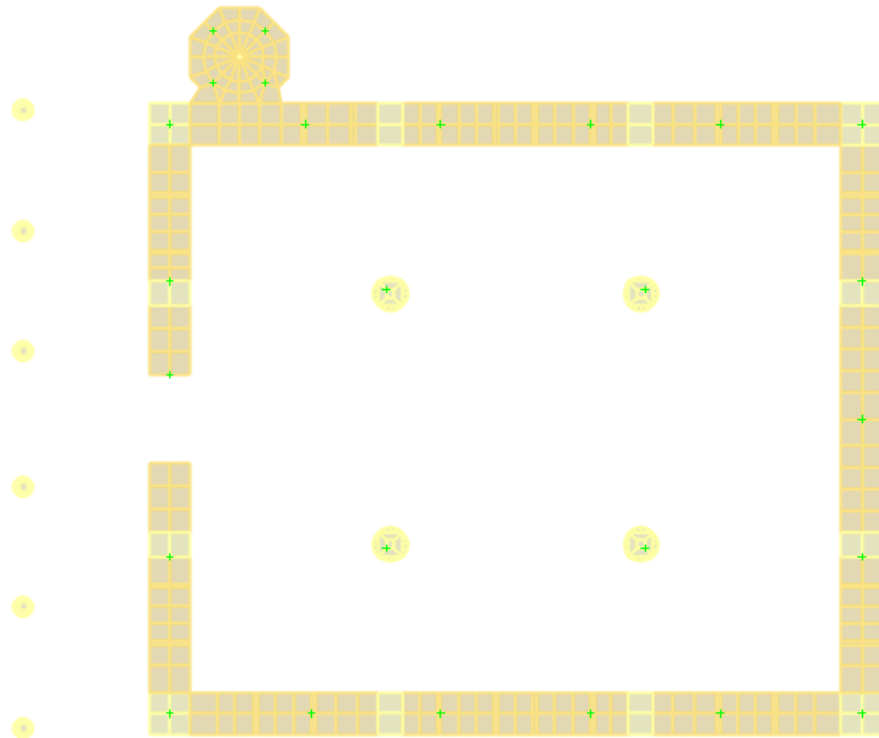
Şekil 6.57 55 cm ' lik izolatör detayı



Şekil 6.58 70 cm ' lik izolatör detayı



Şekil 6.59 40 cm ' lik izolatör detayı



Şekil 6.60 Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami sismik yalıtımı için yerleştirilen kauçuk izolatör yerleşim şeması

Düsey Rijitlik Hesabı (K_V):

$G = 1$ MPa (elastomer malzemenin kayma modülü)

$K = 2000$ MPa (çelik levhanın rijitliği)

Yükleme Modülleri “ E_C ” belirli düzeydeki bir düşey yük etkisi altında, kauçuğun ve çelikten oluşan kompozit elemanın elastisite modülüdür.

Dairesel kesitli kauçuk mesnetler için yükleme modülü $E_C = 6S^2$ ‘dir. Bu değerle birlikte dairesel kesitler kullanıldığı zaman yükleme modülü şöyle hesaplanır:

$$E_C = \frac{6GS^2K}{6GS^2 + K} \quad (6.19)$$

$$E_C^A = \frac{6 \cdot G \cdot S_A^2 \cdot K}{6 \cdot G \cdot S_A^2 + K} = \frac{6 \cdot 1 \cdot 13,75^2 \cdot 2000}{6 \cdot 1 \cdot 13,75^2 + 2000} = 723,83 \text{ MN/m}^2$$

$$E_C^B = \frac{6 \cdot G \cdot S_B^2 \cdot K}{6 \cdot G \cdot S_B^2 + K} = \frac{6 \cdot 1 \cdot 17,5^2 \cdot 2000}{6 \cdot 1 \cdot 17,5^2 + 2000} = 957,65 \text{ MN/m}^2$$

$$E_C^C = \frac{6 \cdot G \cdot S_C^2 \cdot K}{6 \cdot G \cdot S_C^2 + K} = \frac{6 \cdot 1 \cdot 10^2 \cdot 2000}{6 \cdot 1 \cdot 10^2 + 2000} = 461,54 \text{ MN/m}^2$$

A tipi kayma modülüne sahip izolatörlerin düşey rijitliği;

$$K_V^A = \frac{E_C^A \cdot A}{t} = \frac{E_C^A \cdot \pi \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2}{t} = \frac{723,83 \cdot \pi \cdot \left(\frac{0,55}{2}\right)^2}{t} \quad (6.20)$$

$$= 1719,70 \text{ MN/m} = 171970 \text{ t/m}$$

B tipi kayma modülüne sahip izolatörlerin düşey rijitliği;

$$K_V^B = \frac{E_C^B \cdot A}{t} = \frac{957,65 \cdot \pi \cdot \left(\frac{0,70}{2}\right)^2}{t} = 3685,50 \text{ MN/m} = 368550 \text{ t/m}$$

C tipi kayma modülüne sahip izolatörlerin düşey rijitliği;

$$K_V^C = \frac{E_C^C \cdot A}{t} = \frac{461,54 \cdot \pi \cdot \left(\frac{0,40}{2}\right)^2}{t} = 579,99 \text{ MN/m} = 57999 \text{ t/m}$$

Toplam eksenel rijitlik ise;

$$\sum K_V = \frac{(18 E_C^A \cdot A) + (4 E_C^B \cdot A) + (4 E_C^C \cdot A)}{t} \quad (6.21)$$

$$\sum K_V = \frac{(18 \cdot 723,83 \cdot \pi \cdot \left(\frac{0,55}{2}\right)^2) + (4 \cdot 957,65 \cdot \pi \cdot \left(\frac{0,70}{2}\right)^2) + (4 \cdot 461,54 \cdot \pi \cdot \left(\frac{0,40}{2}\right)^2)}{0,1}$$

$$\sum K_V = 48016,56 \text{ MN/m}$$

Yapının basınç etkisi ile düşeyde yapmış olduğu tasarım yer değiştirmesi yani kısalma miktarı “ Δ “ yapı toplam ağırlığının, toplam aksenal rijitliğe oranı ile elde edilir.

$$\Delta = \frac{W_T}{\sum K_V} = \frac{14,8}{48016,56} = 3,08 * 10^{-4} \text{ m} \quad (6.22)$$

Düşey Titreşim Periyodu (T_V):

$$T_V = \frac{T_D}{\sqrt{6S}} = \frac{0,97}{\sqrt{6*13,75}} = 0,11 \text{ sn} \quad (6.23)$$

Göçme Riski Kontrolü: Sistemde göçme riski kontrolü için öncelikle kritik olan P yükü belirlenir.

$$P_{Kritik} = \sqrt{P_S * P_E} \quad (6.24)$$

Çelik kısım için kritik yük;

$$P_S = G * A_S \quad (6.25)$$

Elastomer kısım için kritik yük;

$$P_E = \frac{\pi^2 E I_{eff}}{t^2} \quad (6.26)$$

$E I_{eff}$: Efektif eğilme rijitliğidir.

$$E I_{eff} = \frac{1}{3} * E_C * I \quad (6.27)$$

Denklem (4.27), denklem (4.26) ve (4.24) 'te yerine yazılırsa;

$$P_{Kritik} = \frac{\pi}{t} \sqrt{\frac{E_C I}{3} * G * A_S} \quad (6.28)$$

elde edilir.

İzolatörlerdeki çelik levhaların çapları 0,54 m; 0,69 m; 0,39 m olduğu için “ I “ Atalet Momenti;

$$I_A = \frac{\pi * \left(\frac{D}{2}\right)^4}{4} = \frac{\pi * \left(\frac{0,54}{2}\right)^4}{4} = 0,0042 \quad (6.29)$$

$$I_B = \frac{\pi * \left(\frac{D}{2}\right)^4}{4} = \frac{\pi * \left(\frac{0,69}{2}\right)^4}{4} = 0,0111$$

$$I_C = \frac{\pi * \left(\frac{D}{2}\right)^4}{4} = \frac{\pi * \left(\frac{0,39}{2}\right)^4}{4} = 0,0011$$

$$A_{S_1} = \pi * \left(\frac{0,54}{2}\right)^2 = 0,229 \text{ m}^2 \quad (6.30)$$

$$A_{S_2} = \pi * \left(\frac{0,69}{2}\right)^2 = 0,374 \text{ m}^2$$

$$A_{S_3} = \pi * \left(\frac{0,39}{2}\right)^2 = 0,12 \text{ m}^2$$

$$P_{Kritik}^A = \frac{\pi}{0,1} \sqrt{\frac{723,83 * 0,0042}{3}} * 1 * 0,229 = 15,13 \text{ MN} = 15130 \text{ kN} \quad (6.31)$$

$$P_{Kritik}^B = \frac{\pi}{0,1} \sqrt{\frac{957,65 * 0,0111}{3}} * 1 * 0,374 = 36,17 \text{ MN} = 36170 \text{ kN}$$

$$P_{Kritik}^C = \frac{\pi}{0,1} \sqrt{\frac{461,54 * 0,0011}{3}} * 1 * 0,12 = 4,477 \text{ MN} = 4477 \text{ kN}$$

A tipi izolatör yükü $W_1 = 550 \text{ kN} < P_{Kritik}^A = 15130 \text{ kN}$

B tipi izolatör yükü $W_2 = 900 \text{ kN} < P_{Kritik}^B = 36170 \text{ kN}$

C tipi izolatör yükü $W_3 = 325 \text{ kN} < P_{Kritik}^C = 4477 \text{ kN}$

Boyutlandırılan izolatörler ile taşınabilecek maksimum yükler (kritik yükler), izolatörlere etkiyen yapı yüklerinden büyük olduğundan göçme riski bulunmamaktadır.

Elastik rijitlik K_1 , K_2 hesaplandıktan sonra deneyler sonucu elde edilen bir katsayı ile çarpılarak elde edilir. K_2 ise; kauçuğun kayma modülünden ve izolatör mesnedinin tasarım boyutlandırılması sonucu kesin bir şekilde belirlenen Akma sonrası rijitliktir.

$$K_2^A = \frac{G * A}{t} = \frac{1 * \pi * \left(\frac{0,55}{2}\right)^2}{0,1} = 2,376 \text{ MN/m} = 237,6 \text{ t/m} \quad (6.32)$$

$$K_1^A = 6 * 237,6 = 1425,6 \text{ t/m} \quad (6.33)$$

$$K_2^B = \frac{G * A}{t} = \frac{1 * \pi * \left(\frac{0,70}{2}\right)^2}{0,1} = 3,849 \text{ MN/m} = 384,9 \text{ t/m}$$

$$K_1^B = 6 * 384,9 = 2309,4 \text{ t/m}$$

$$K_2^C = \frac{G * A}{t} = \frac{1 * \pi * \left(\frac{0,40}{2}\right)^2}{0,1} = 1,257 \text{ MN/m} = 125,7 \text{ t/m}$$

$$K_1^C = 6 * 125,7 = 754,2 \text{ t/m}$$

Akma yer değiştirmesi (D_Y):

$$Q^A = C_S * W_A = 0,15 * 0,55 = 0,0825 \text{ MN} = 8,2 \text{ t} \quad (6.34)$$

$$Q^B = C_S * W_B = 0,15 * 0,9 = 0,135 \text{ MN} = 13,5 \text{ t}$$

$$Q^C = C_S * W_C = 0,15 * 0,325 = 0,048 \text{ MN} = 4,88 \text{ t}$$

$$D_Y^A = \frac{Q^A}{K_1^A - K_2^A} = \frac{8,2}{1428 - 238} = 0,0069 \text{ m} \quad (6.35)$$

$$D_Y^B = \frac{Q^B}{K_1^B - K_2^B} = \frac{13,5}{2292 - 382} = 0,007 \text{ m}$$

$$D_Y^C = \frac{Q^C}{K_1^C - K_2^C} = \frac{4,88}{756 - 126} = 0,0077 \text{ m}$$

$$K_{eff}^A = K_2^A + \frac{Q^A}{D} = 237,6 + \frac{8,2}{0,07} = 354,74 \text{ t/m} \quad (6.36)$$

$$K_{eff}^B = K_2^B + \frac{Q^B}{D} = 384,9 + \frac{13,5}{0,07} = 577,76 \text{ t/m}$$

$$K_{eff}^C = K_2^C + \frac{Q^C}{D} = 125,7 + \frac{4,88}{0,07} = 195,41 \text{ t/m}$$

Akma dayanımları (F_y):

$$F_Y^A = K_1^A * D_Y^A = 1425,6 * 0,0069 = 9,84 \text{ t} \quad (6.37)$$

$$F_Y^B = K_1^B * D_Y^B = 2309,4 * 0,007 = 16,17 \text{ t}$$

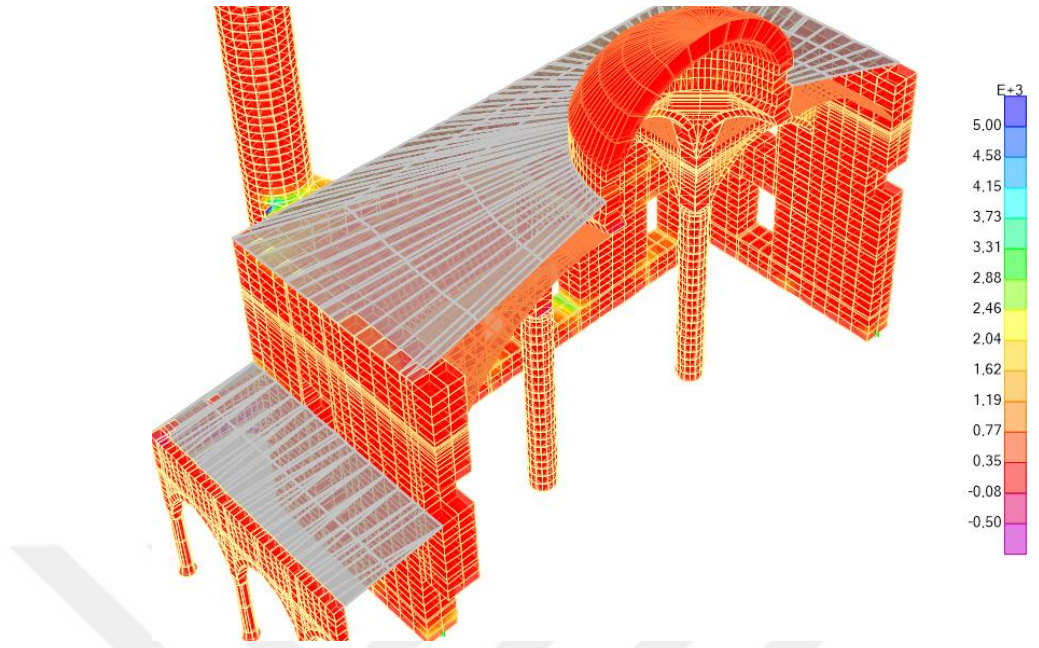
$$F_Y^C = K_1^C * D_Y^C = 754,2 * 0,0077 = 5,81 \text{ t}$$

Çizelge 6.9 Modellenen kauçuk izoatörlerin rijitlik ve akma dayanımı değerleri

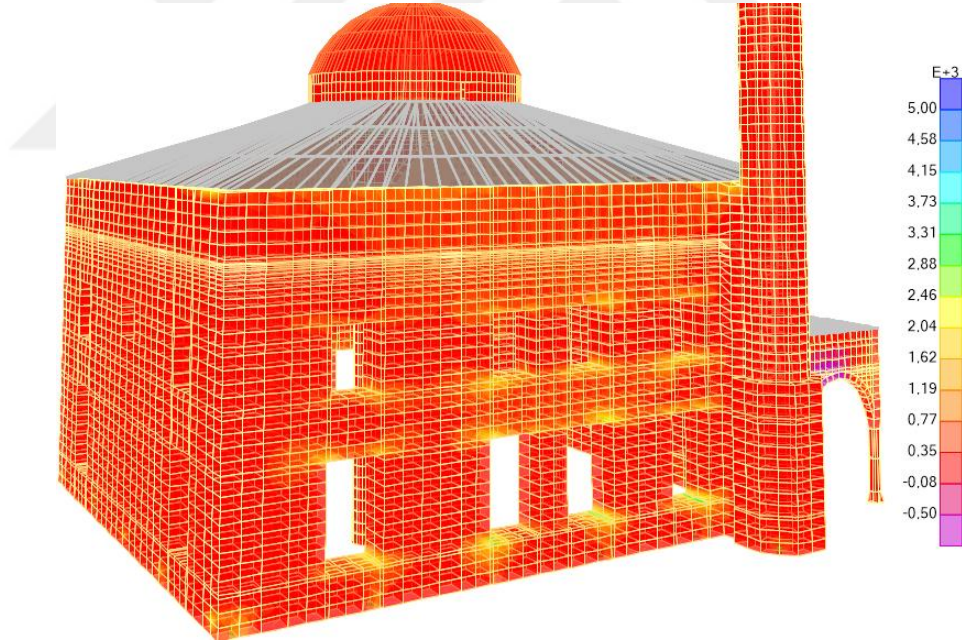
Doğrultu		Kauçuk İzolatör					
		A Tipi (550 kN)		B Tipi (900 kN)		C Tipi (325 kN)	
		Lineer	Nonlineer	Lineer	Nonlineer	Lineer	Nonlineer
U1 (Düşey)	Rijitlik (t/m)	171970	-	368550	-	57999	-
U2 (Yatay)	Rijitlik (t/m)	354,74	1425,6	577,76	2309,4	195,41	754,2
	Akma Dayanımı (t)	-	9,84	-	16,17	-	5,81
	K_2 / K_1	-	0,1667	-	0,1667	-	0,1667

6.2.1 Güçlendirilmiş modelin 27 Aralık 1939 Erzincan Depremi performans analizi

Boyutlandırılan kauçuk izolatörler ile sismik yalıtımlı Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami sonlu eleman modeline 27 Aralık 1939 deprem kayıtları uygulanarak yapılan analizler neticesinde elde edilen maksimum basınç ve çekme değerleri **Şekil 6.61-6.66** 'da gösterildiği gibidir.

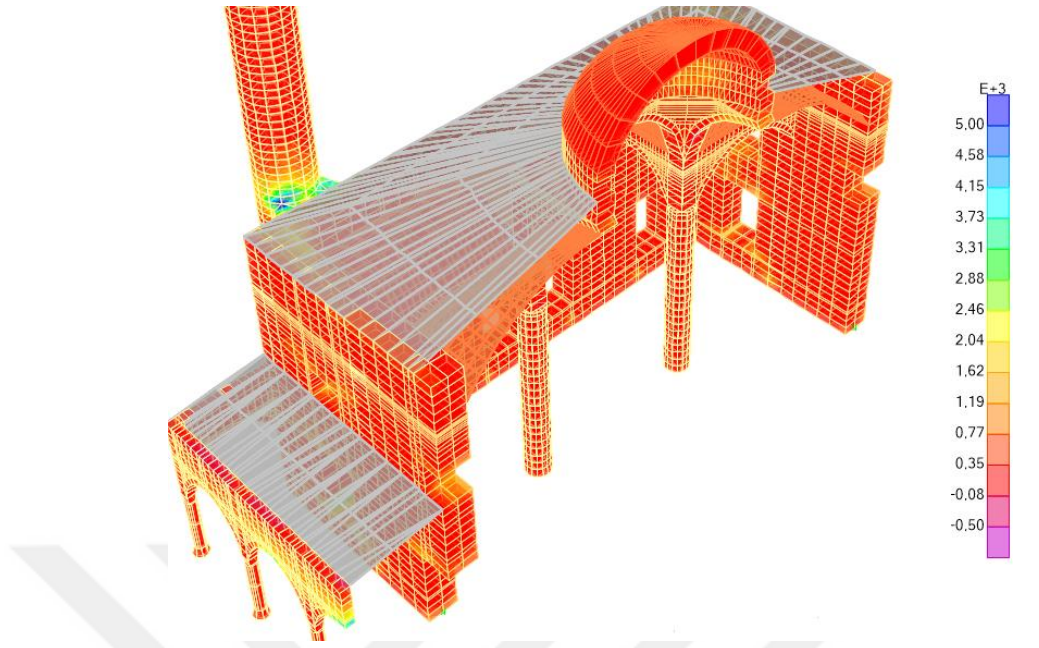


a) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami yarım görünüş

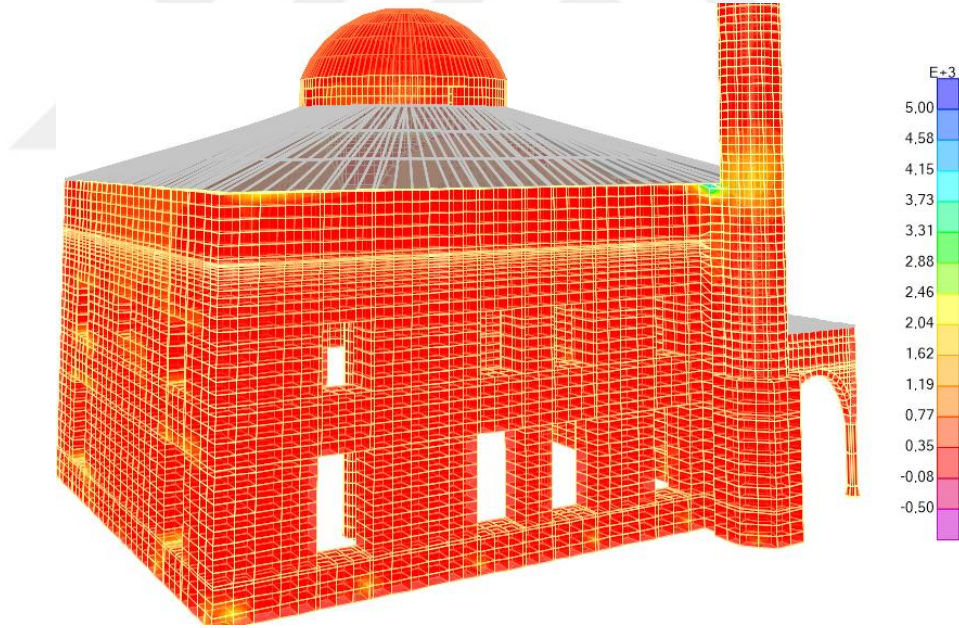


b) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami arka cephe görünüş

Şekil 6.61 27 Aralık 1939 Erzincan depremi: S_{11} maksimum çekme gerilmeleri (kN/m^2)

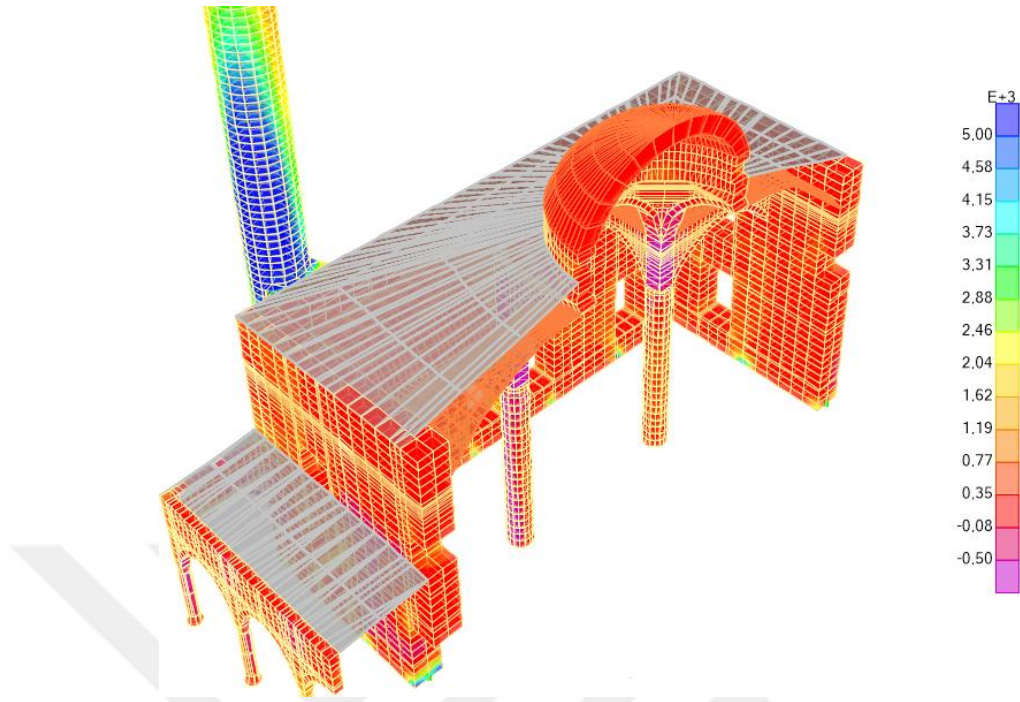


a) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami yarım görünüş

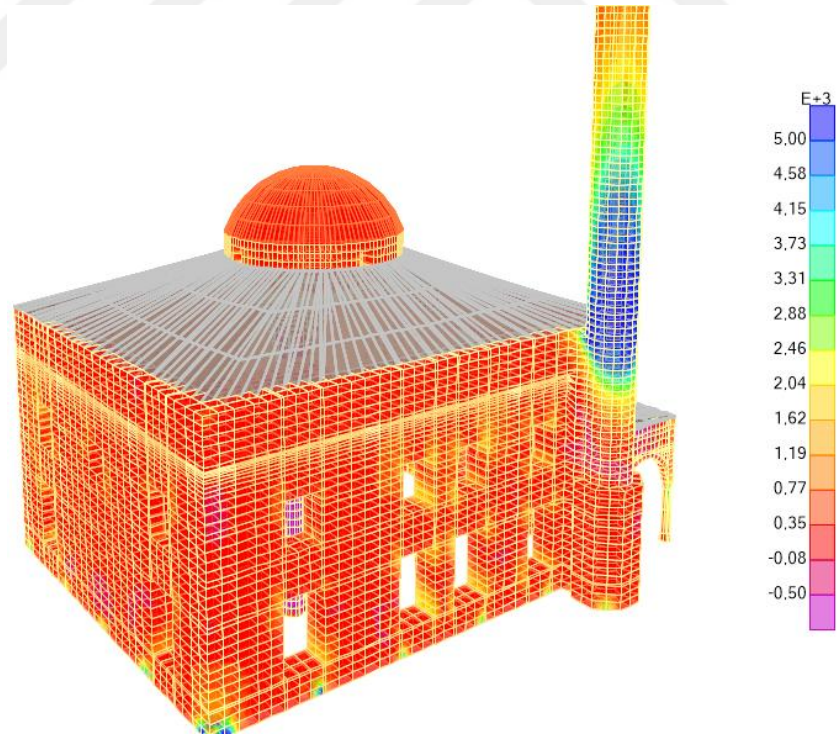


b) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami arka cephe görünüş

Şekil 6.62 27 Aralık 1939 Erzincan depremi: S_{22} maksimum çekme gerilmeleri (kN/m^2)

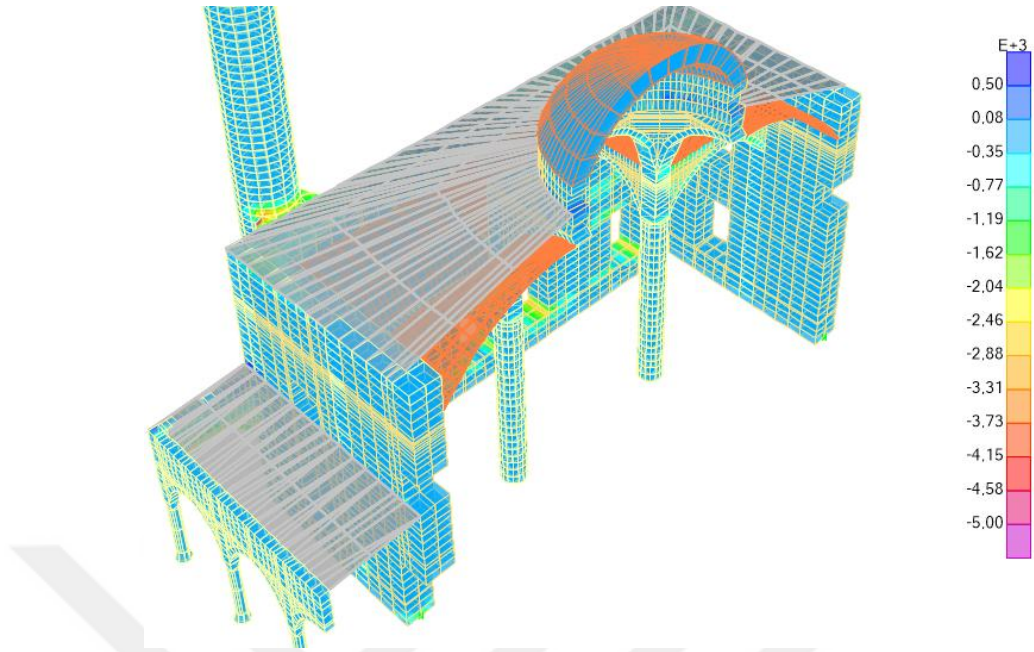


a) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami yarım görünüş

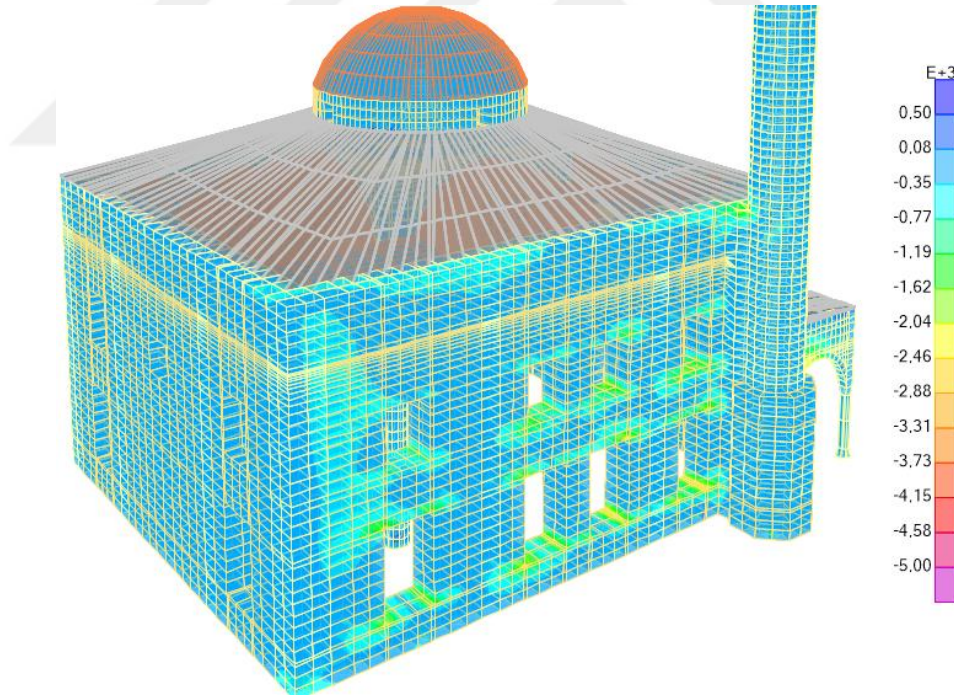


b) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami arka cephe görünüş

Şekil 6.63 27 Aralık 1939 Erzincan depremi: S_{33} maksimum çekme gerilmeleri (kN/m^2)

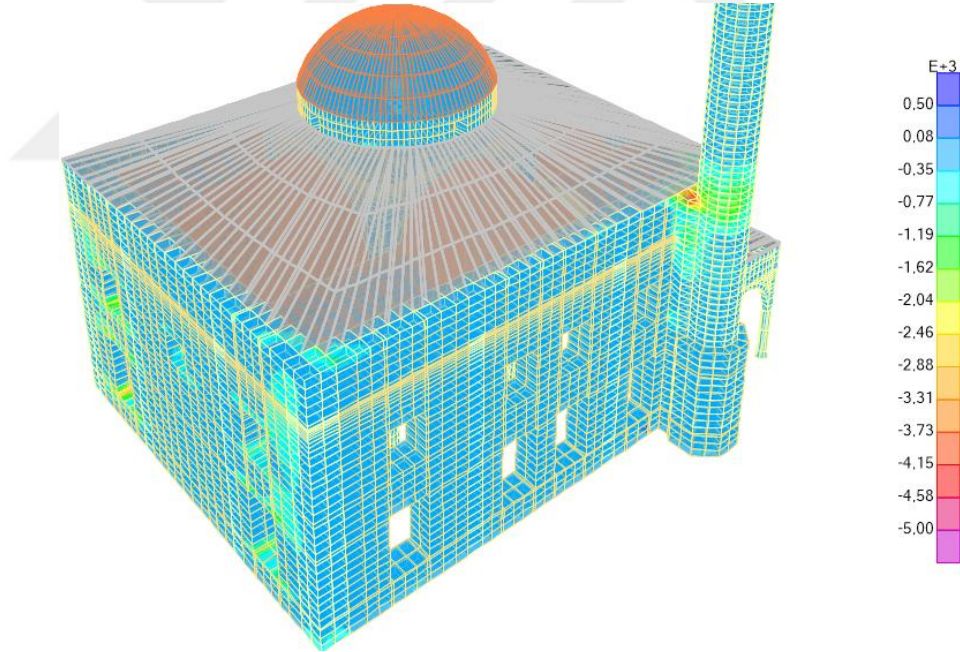
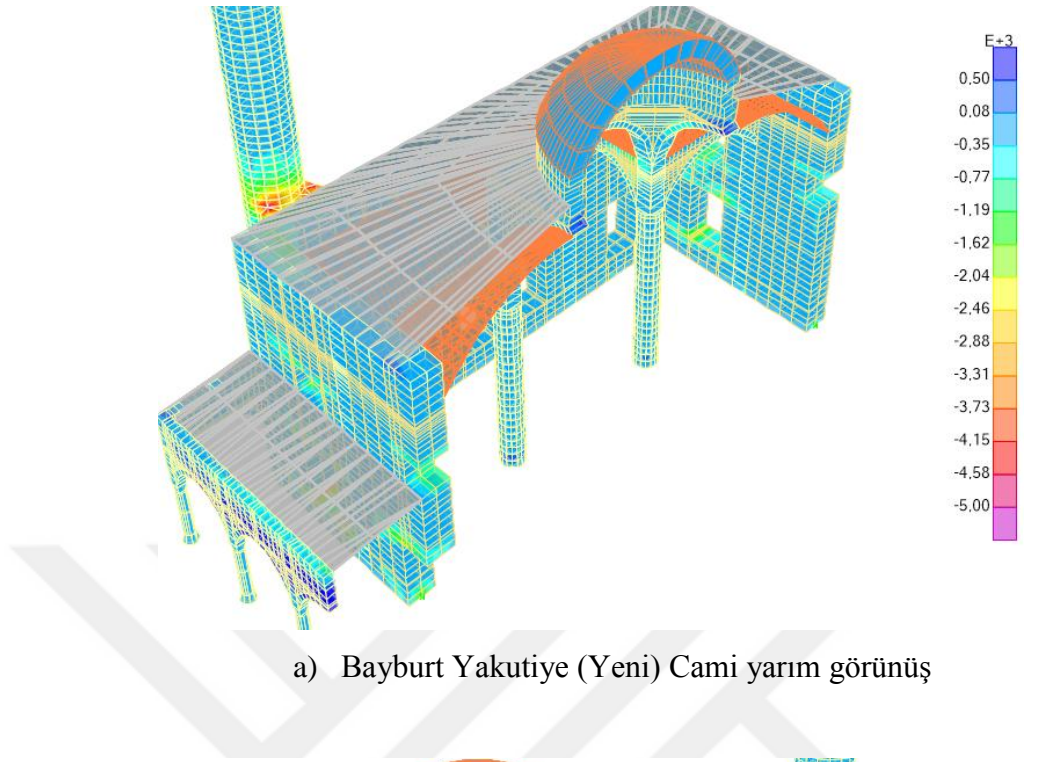


a) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami yarım görünüş

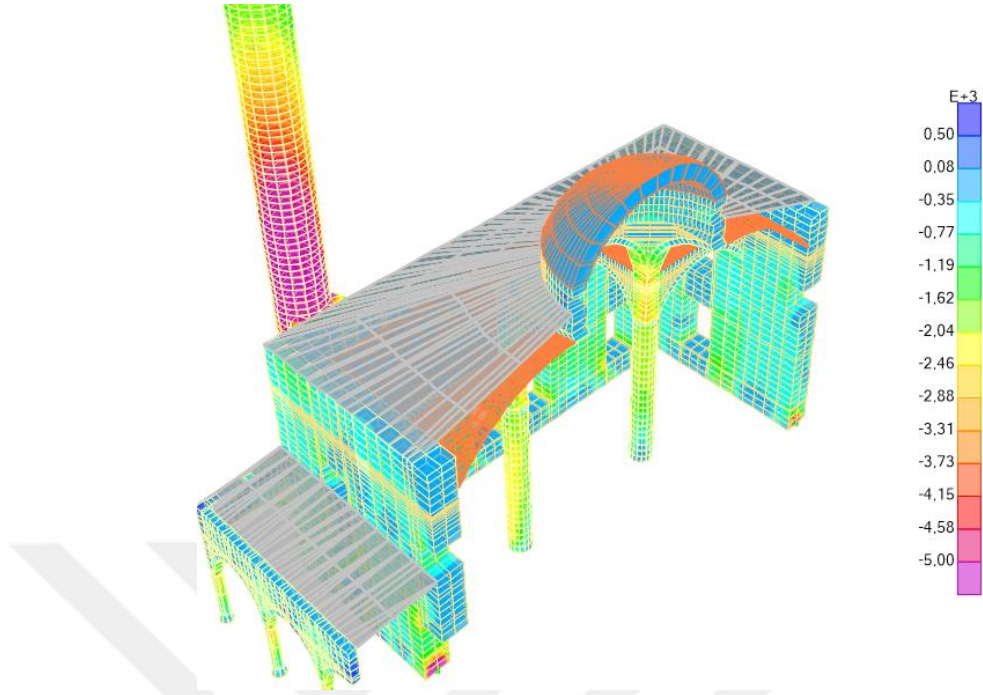


b) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami arka cephe görünüş

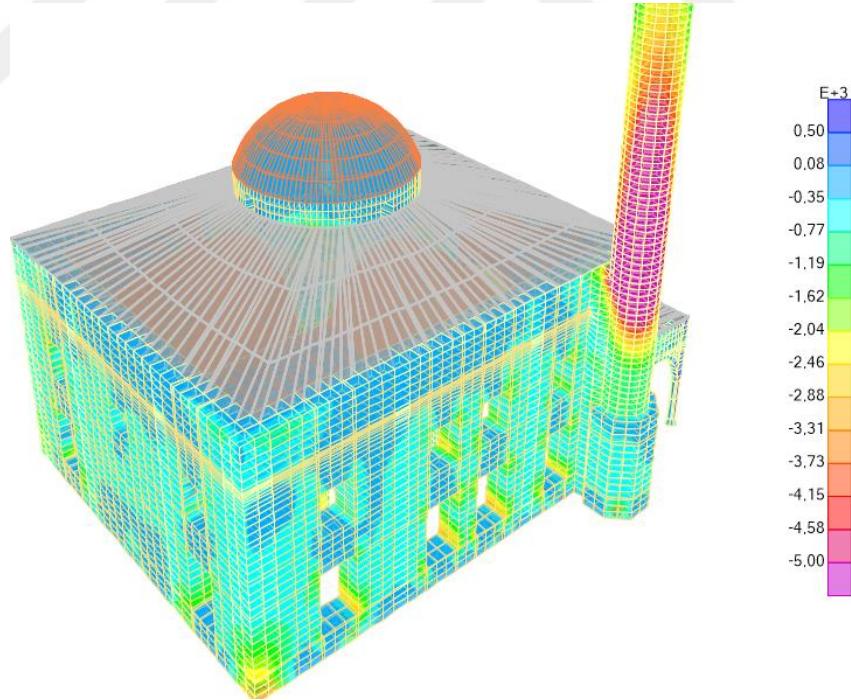
Şekil 6.64 27 Aralık 1939 Erzincan depremi: S_{11} maksimum basınç gerilmeleri (kN/m^2)



Şekil 6.65 27 Aralık 1939 Erzincan depremi: S_{22} maksimum basınç gerilmeleri (kN/m^2)



a) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami yarım görünüş

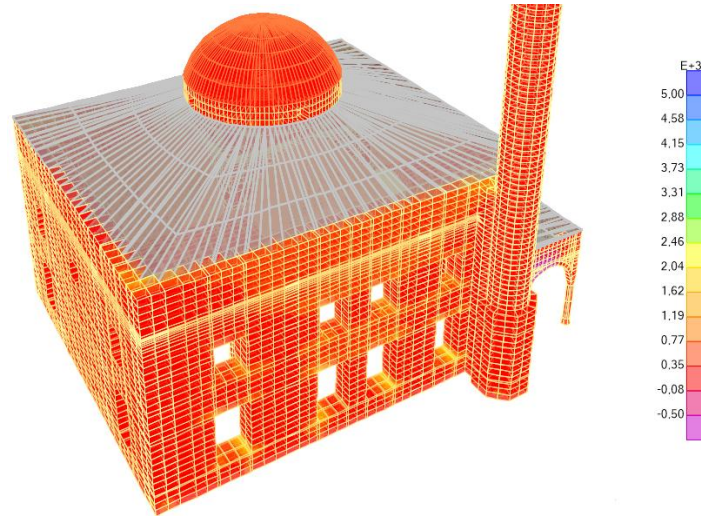
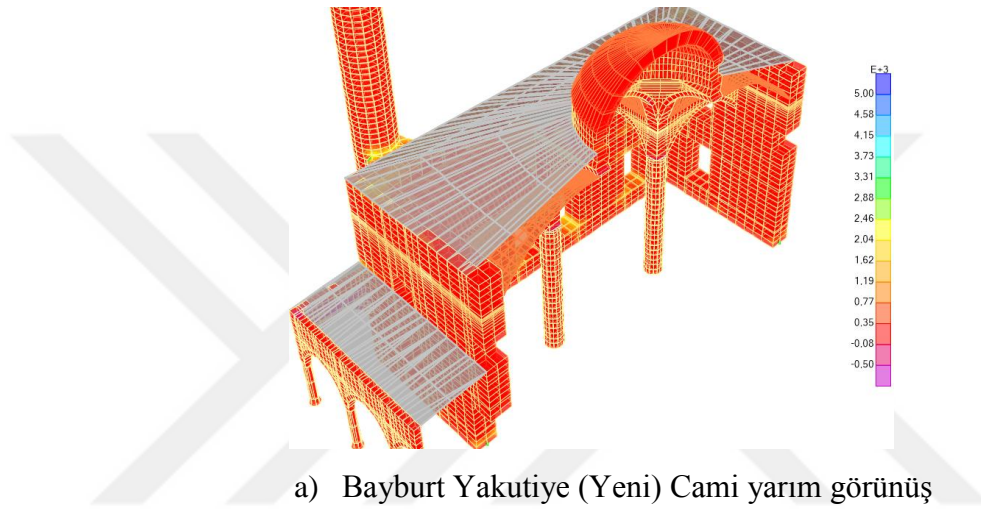


b) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami arka cephe görünüş

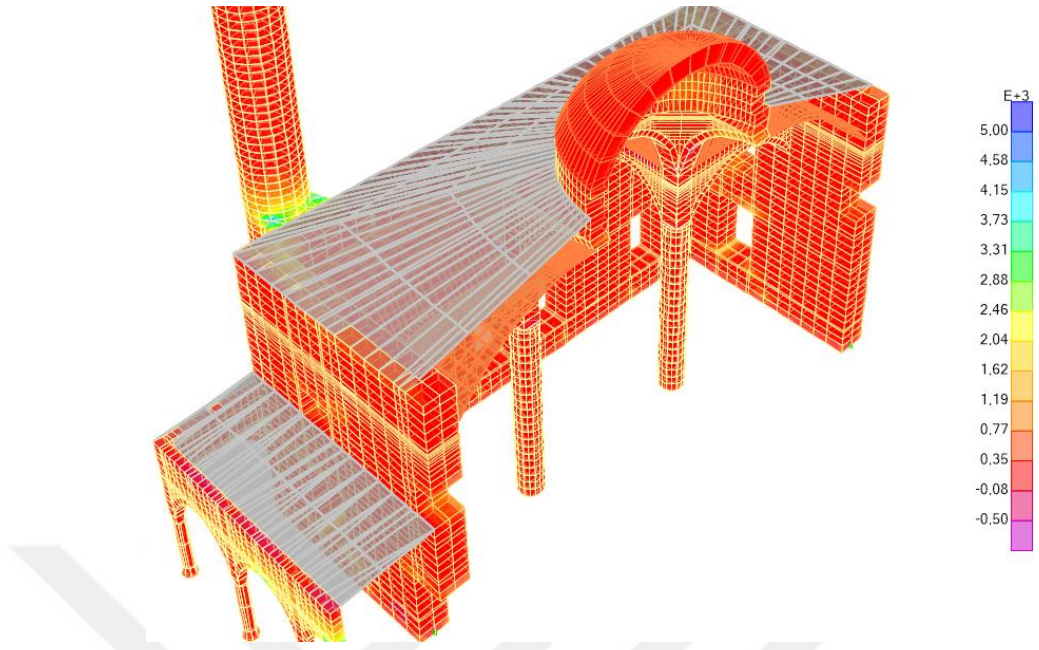
Şekil 6.66 27 Aralık 1939 Erzincan depremi: S_{33} maksimum basınç gerilmeleri (kN/m^2)

5.3.2 Güçlendirilmiş modelin 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi performans analizi

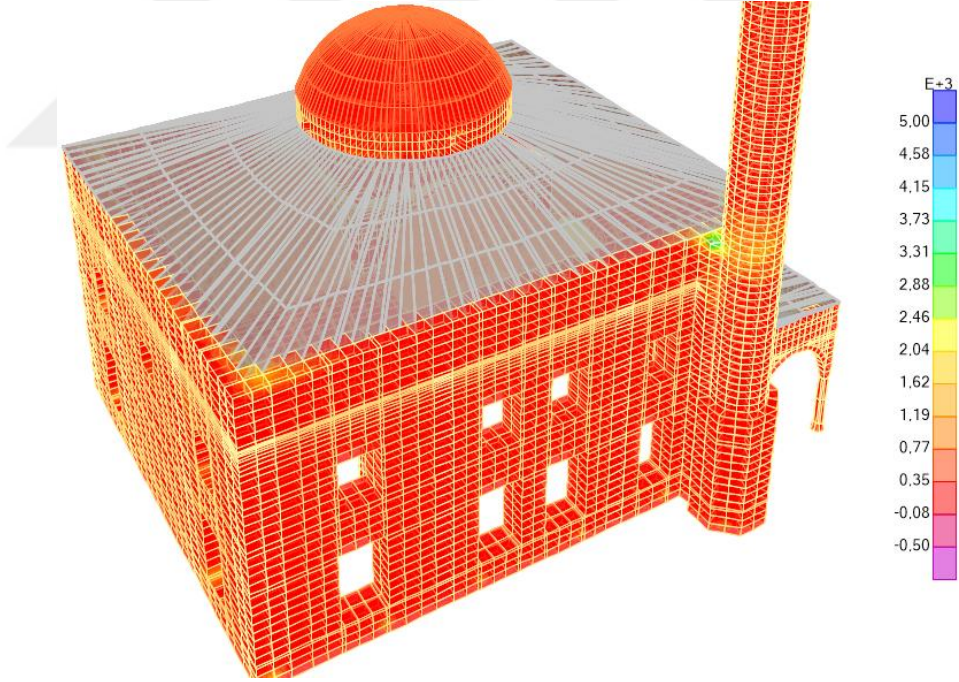
Boyutlandırılan kauçuk izolatörler ile sismik yalıtımlı Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami sonlu eleman modeline 17 Ağustos 1999 Kocaeli deprem kayıtları uygulanarak yapılan analizler neticesinde elde edilen maksimum basınç ve çekme değerleri **Şekil 6.67-6.72** 'de gösterildiği gibidir.



Şekil 6.67 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi: S_{11} maksimum çekme gerilmeleri (kN/m^2)

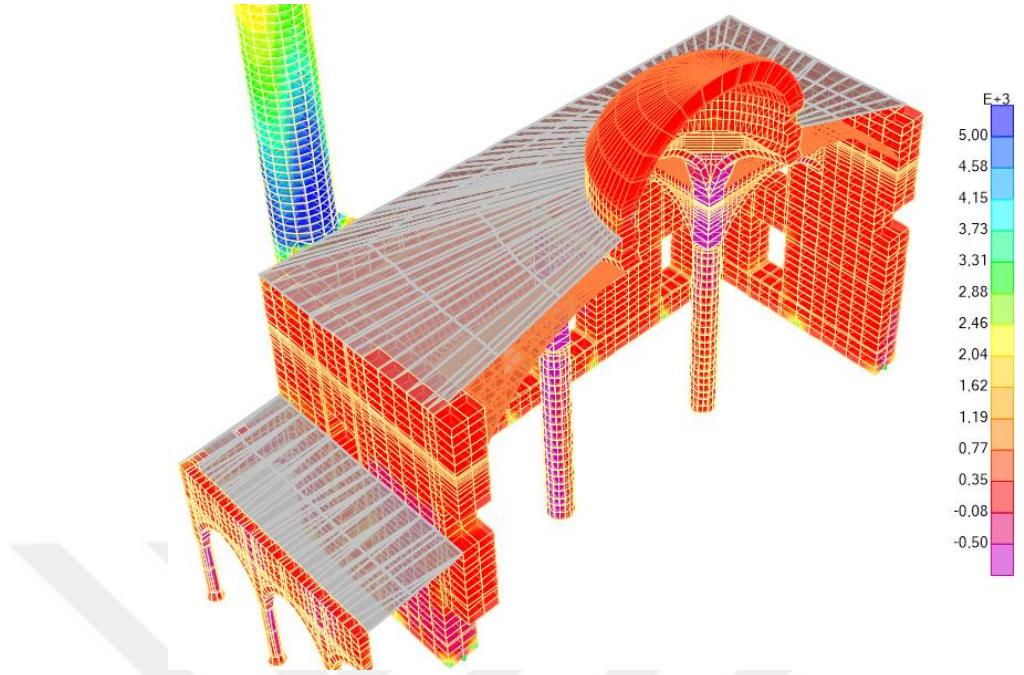


a) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami yarım görünüş

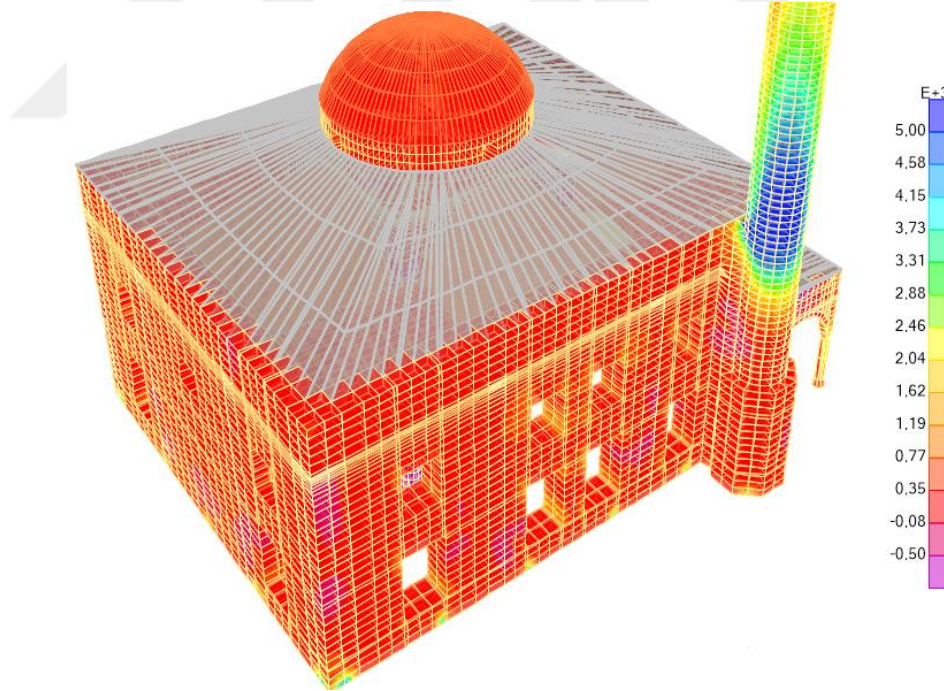


b) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami arka cephe görünüş

Şekil 6.68 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi: S_{22} maksimum çekme gerilmeleri (kN/m^2)

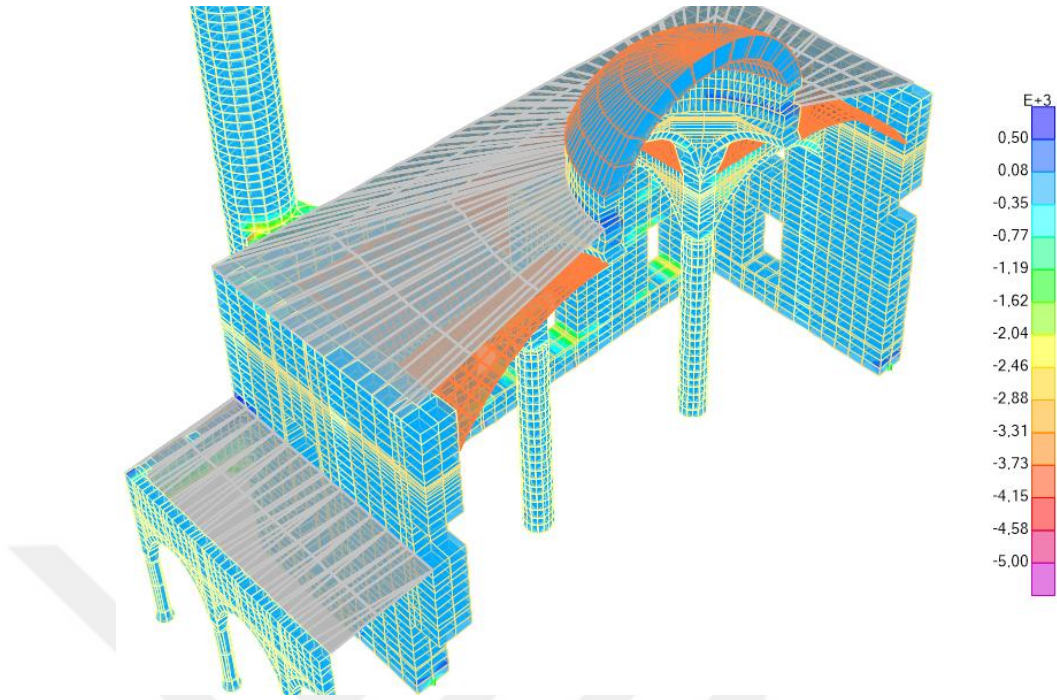


a) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami yarım görünüş

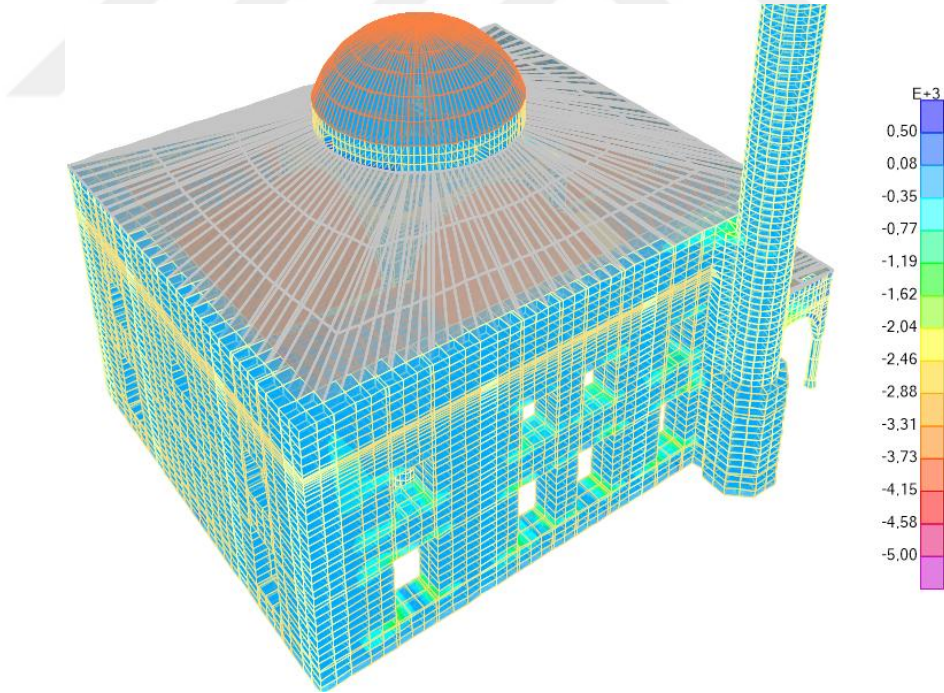


b) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami arka cephe görünüş

Şekil 6.69 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi: S_{33} maksimum çekme gerilmeleri (kN/m^2)

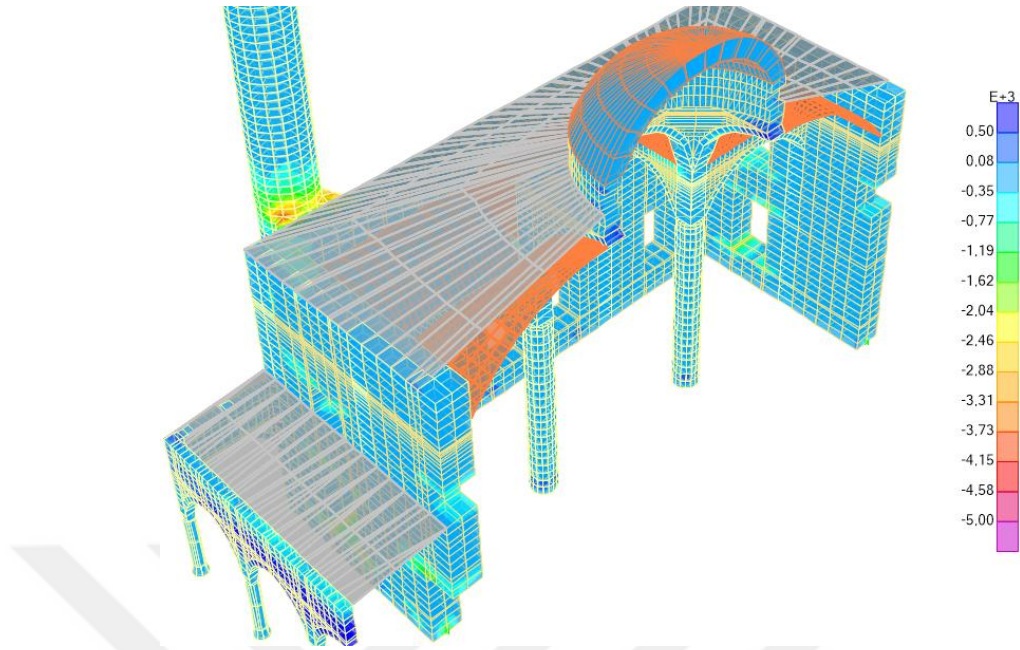


a) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami yarım görünüş

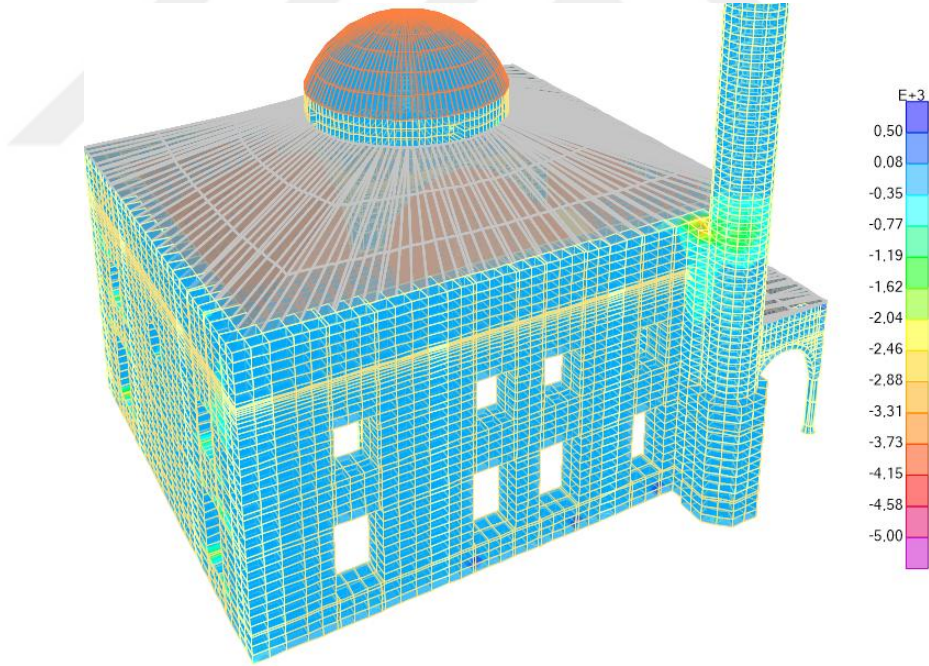


b) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami arka cephe görünüş

Şekil 6.70 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi: S_{11} maksimum basınç gerilmeleri (kN/m^2)

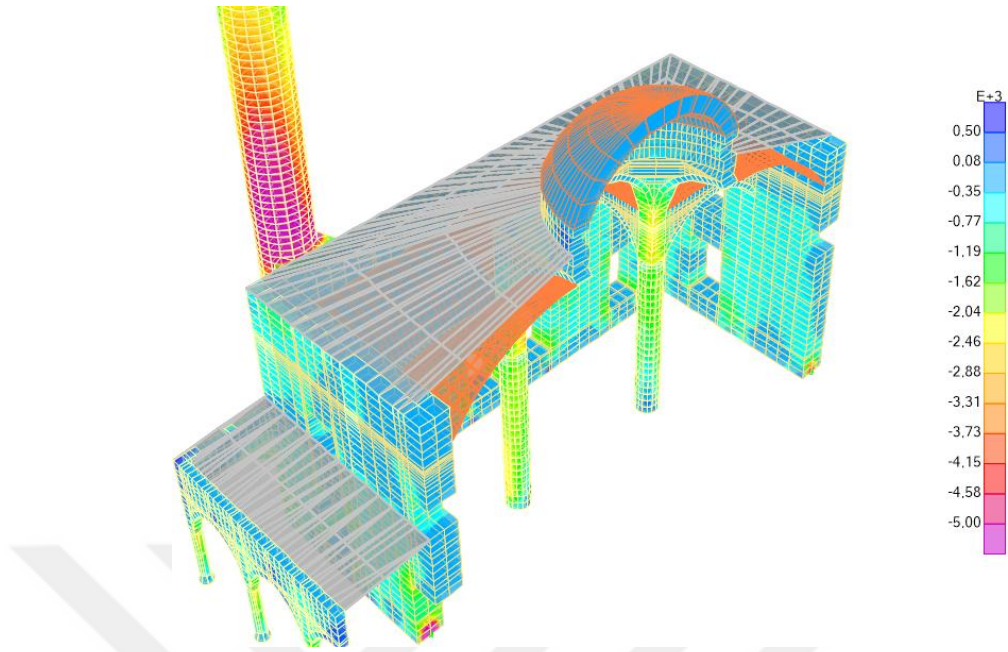


a) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami yarım görünüş

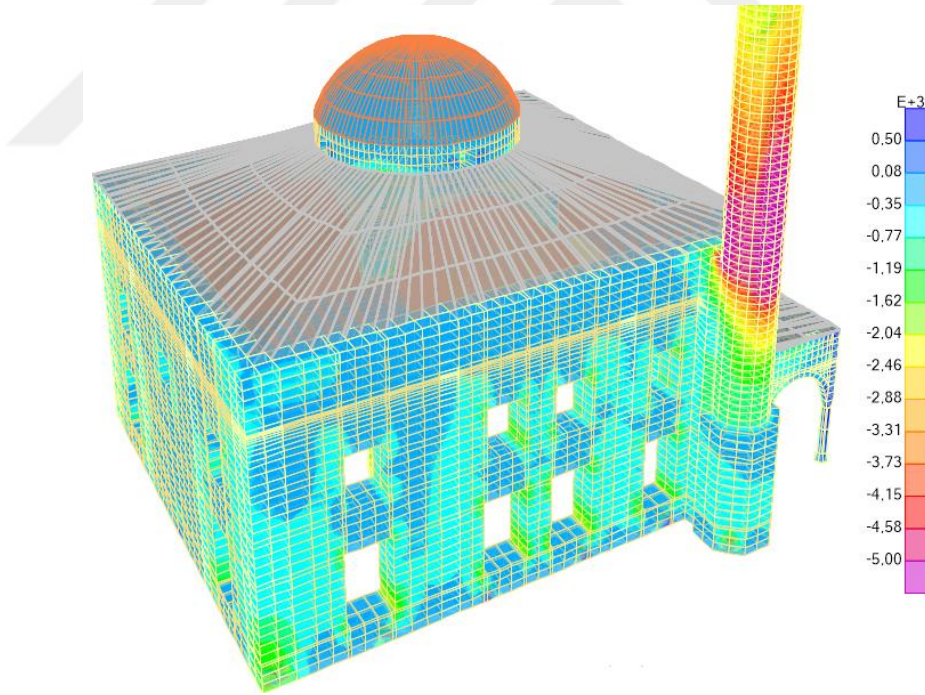


b) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami arka cephe görünüş

Şekil 6.71 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi: S_{22} maksimum basınç gerilmeleri (kN/m^2)



a) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami yarım görünüş

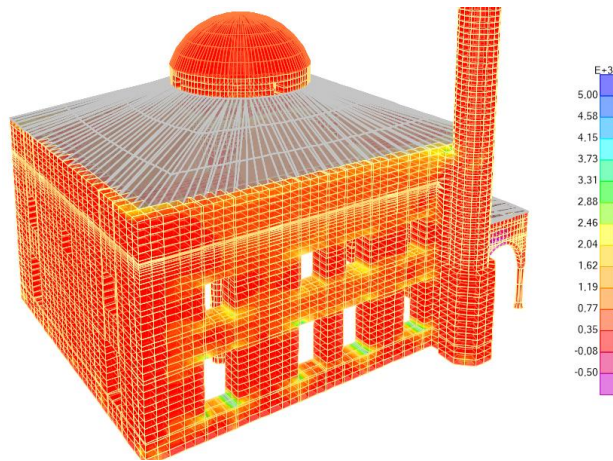
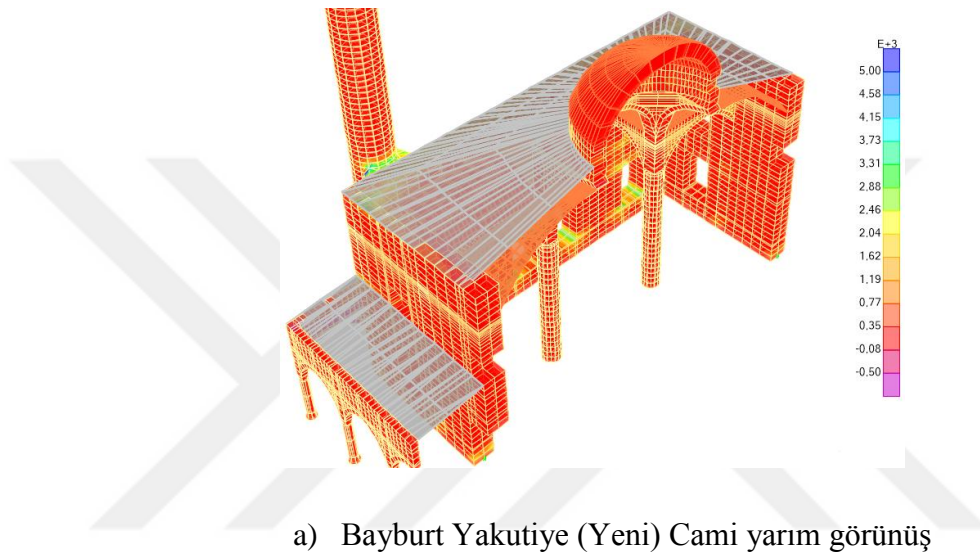


b) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami arka cephe görünüş

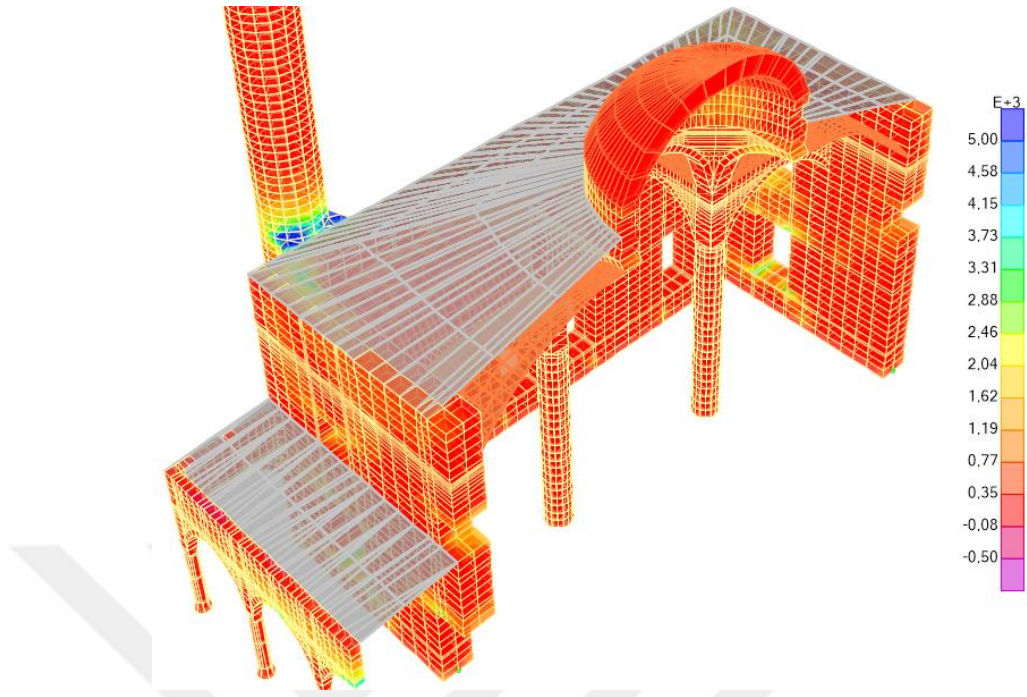
Şekil 6.72 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi: S_{33} maksimum basınç gerilmeleri (kN/m^2)

6.2.3 Güçlendirilmiş modelin 12 Kasım 1999 Düzce Depremi performans analizi

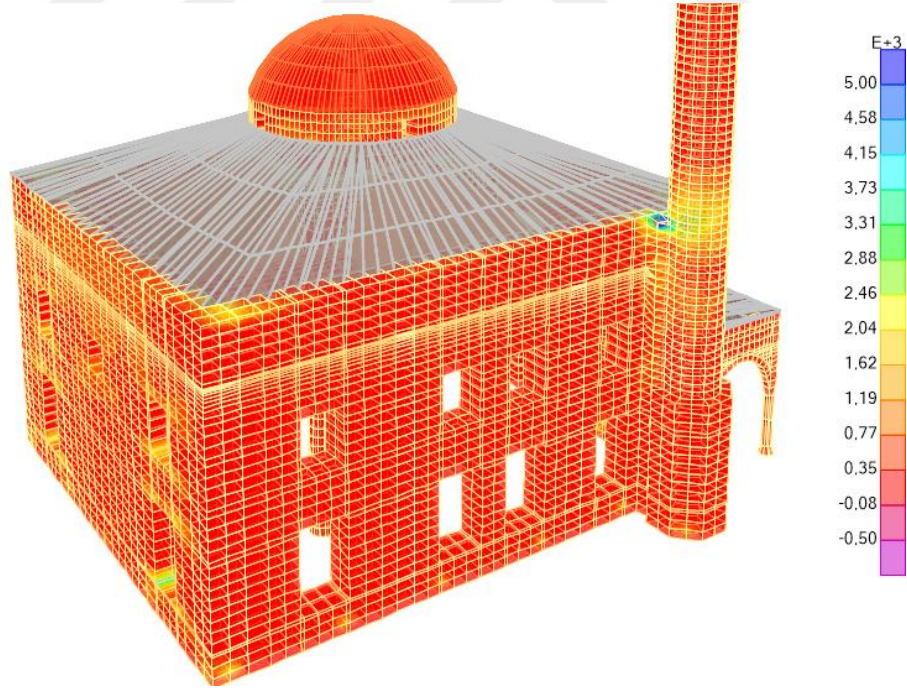
Boyutlandırılan kauçuk izolatörler ile sismik yalıtımlı Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami sonlu eleman modeline 12 Kasım 1999 Düzce deprem kayıtları uygulanarak yapılan analizler neticesinde elde edilen maksimum basınç ve çekme değerleri **Şekil 6.73-6.78** 'de gösterildiği gibidir.



Şekil 6.73 12 Kasım 1999 Düzce depremi: S_{11} maksimum çekme gerilmeleri (kN/m^2)

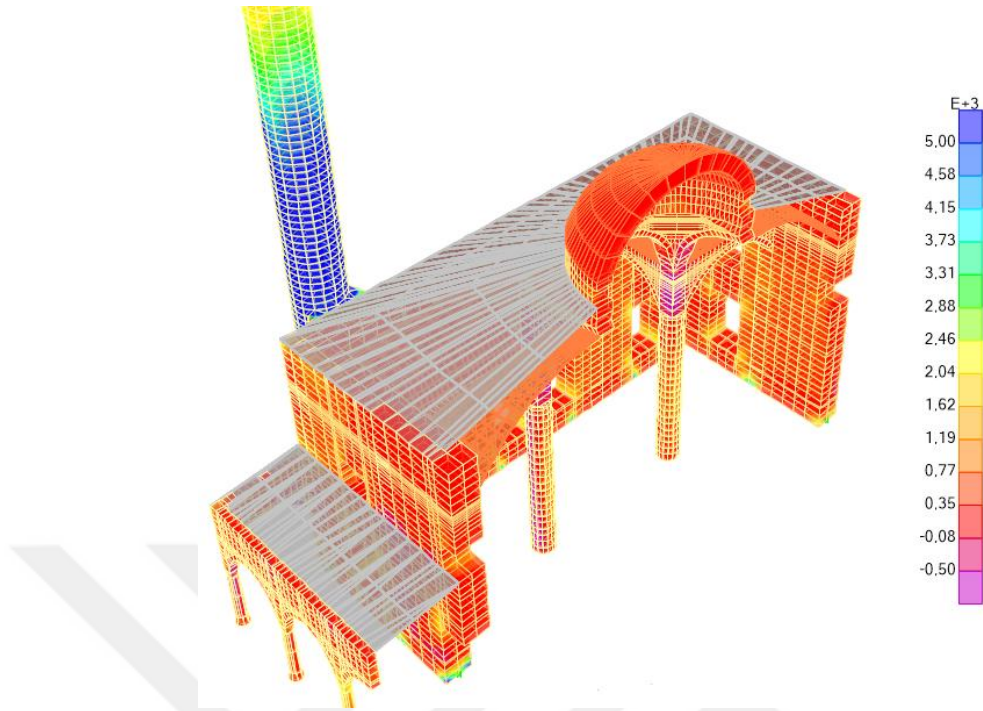


a) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami yarım görünüş

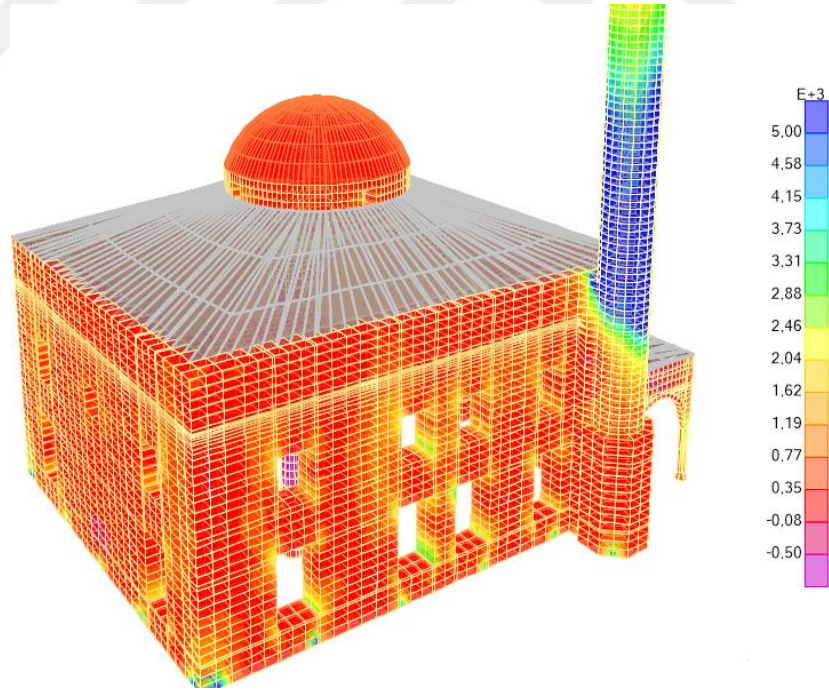


b) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami arka cephe görünüş

Şekil 6.74 12 Kasım 1999 Düzce depremi: S_{22} maksimum çekme gerilmeleri (kN/m^2)

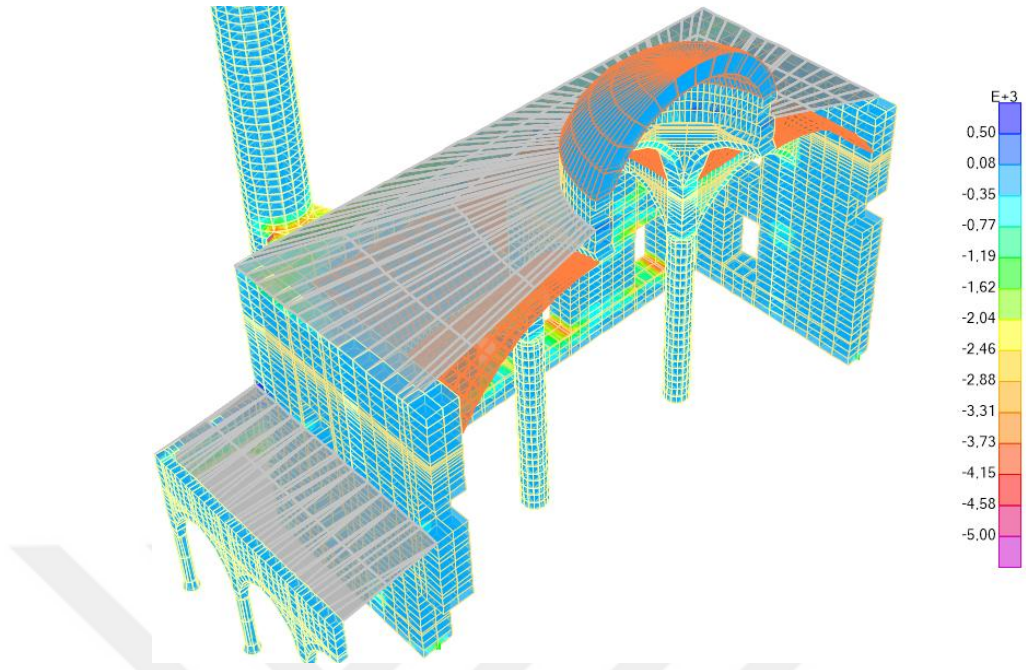


a) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami yarım görünüş

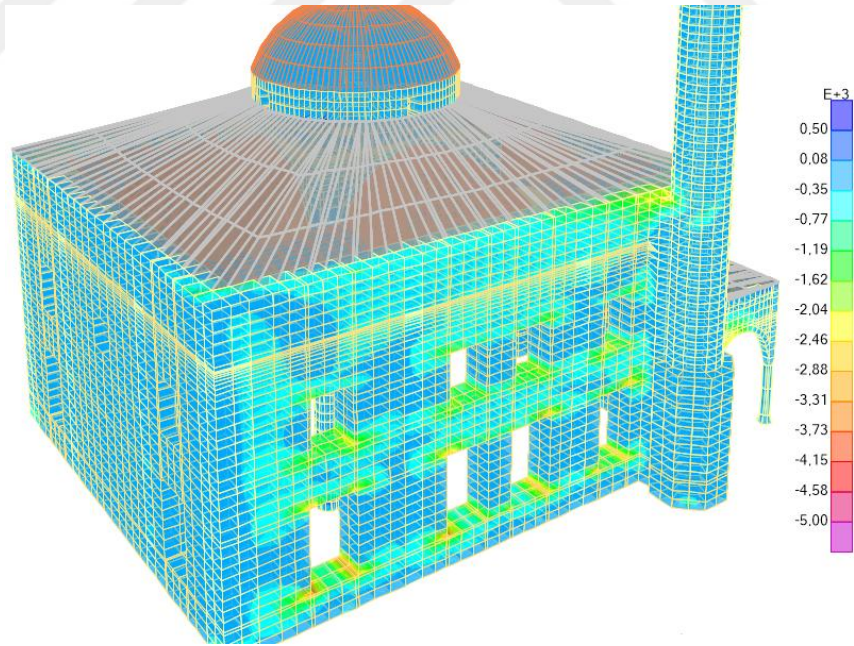


b) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami arka cephe görünüş

Şekil 6.75 12 Kasım 1999 Düzce depremi: S_{33} maksimum çekme gerilmeleri (kN/m^2)

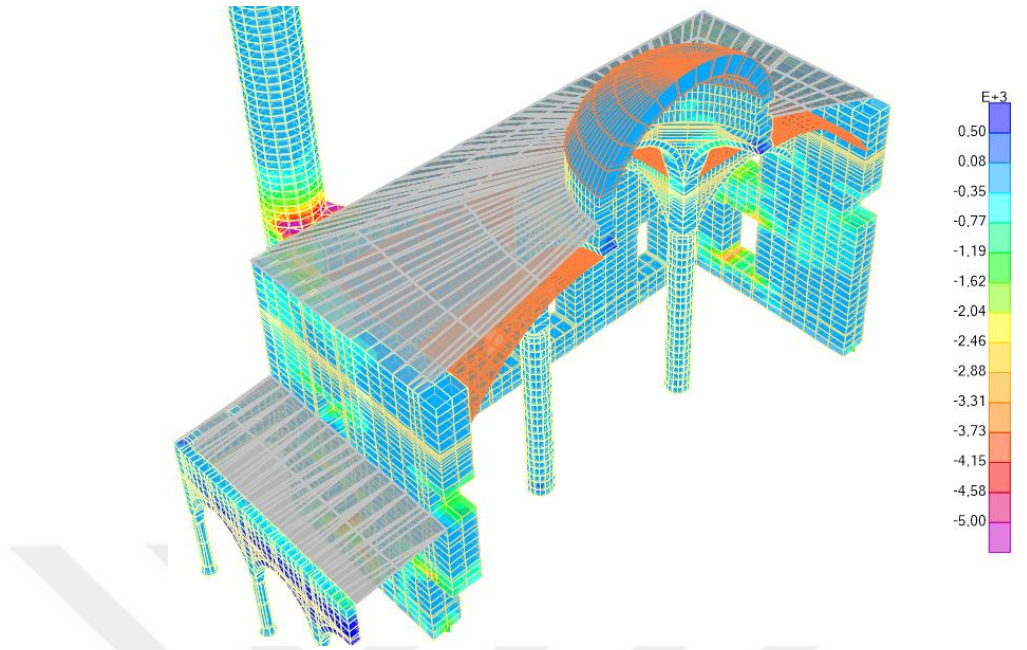


a) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami yarım görünüş

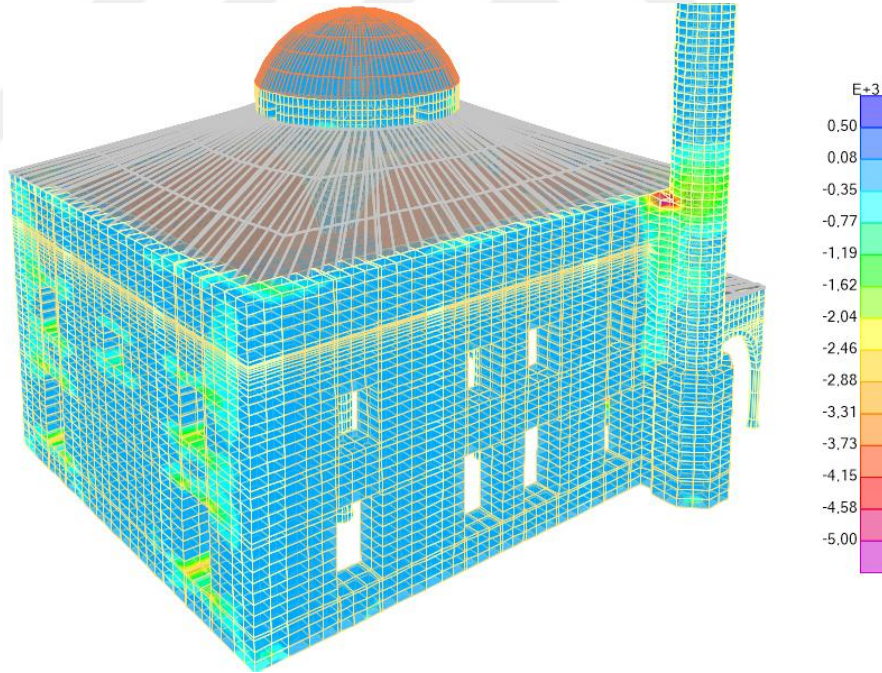


b) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami arka cephe görünüş

Şekil 6.76 12 Kasım 1999 Düzce depremi: S_{11} maksimum basınç gerilmeleri (kN/m^2)

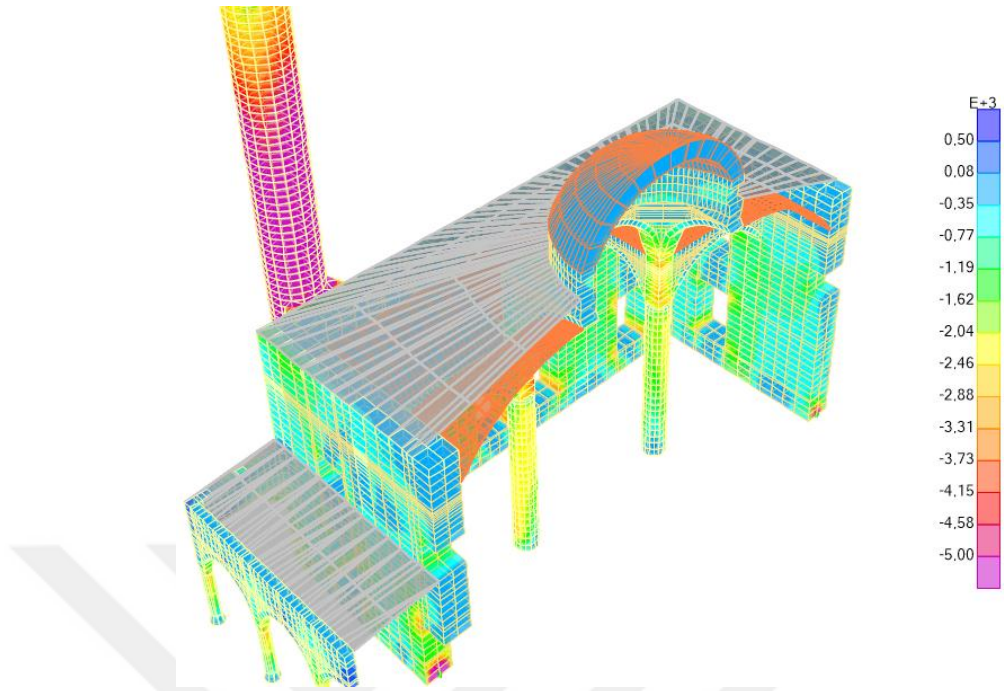


a) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami yarım görünüş

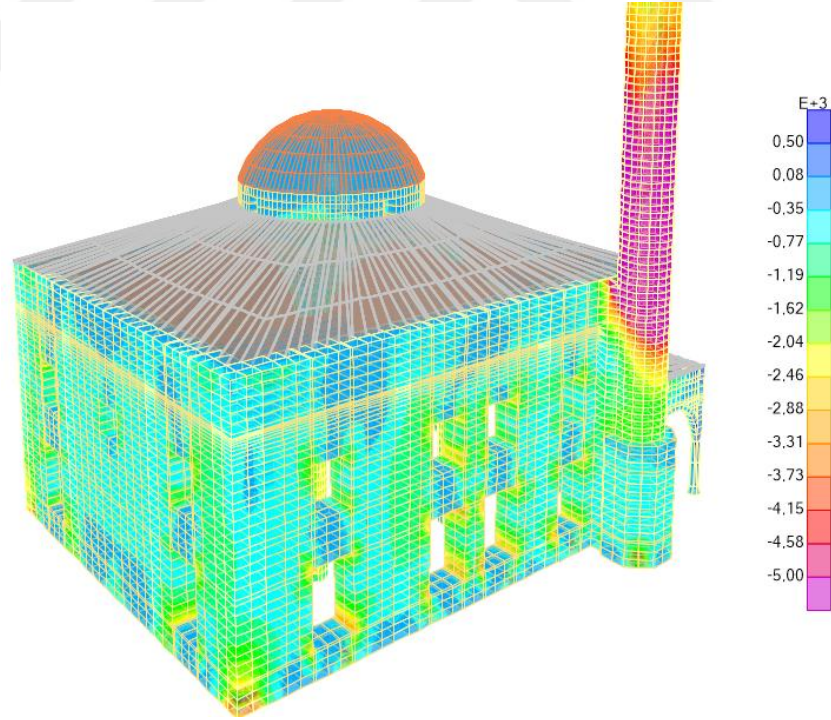


b) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami arka cephe görünüş

Şekil 6.77 12 Kasım 1999 Düzce depremi: S_{22} maksimum basınç gerilmeleri (kN/m^2)



a) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami yarım görünüş

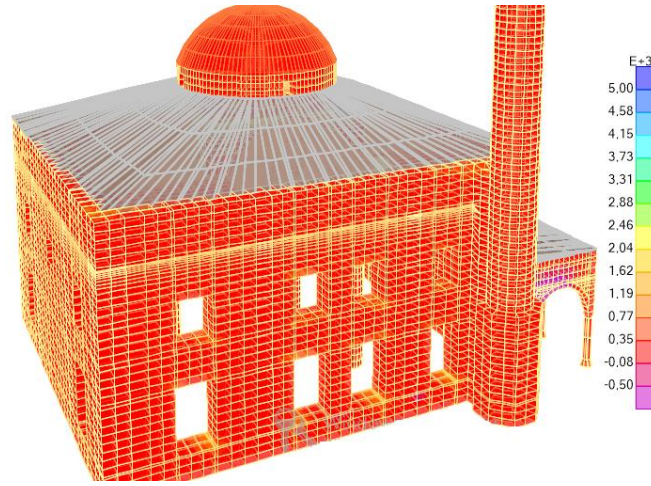
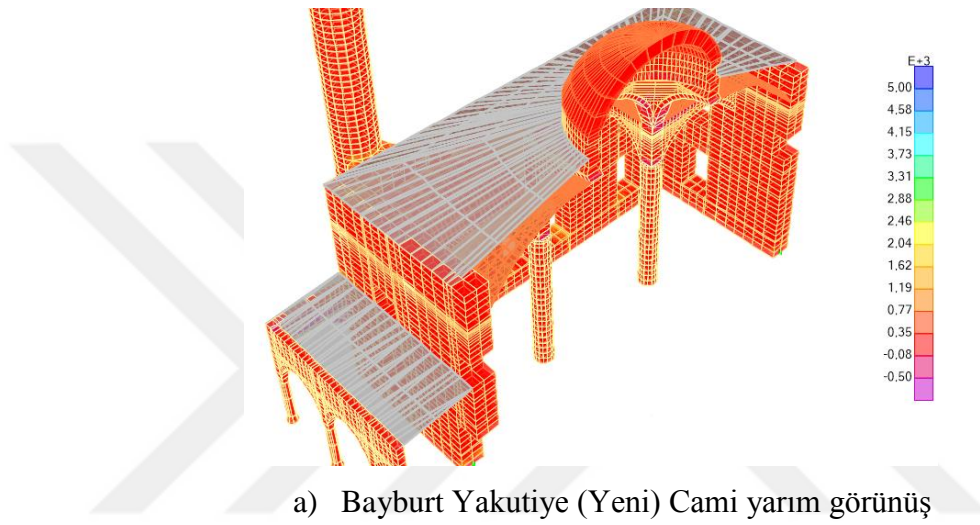


b) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami arka cephe görünüş

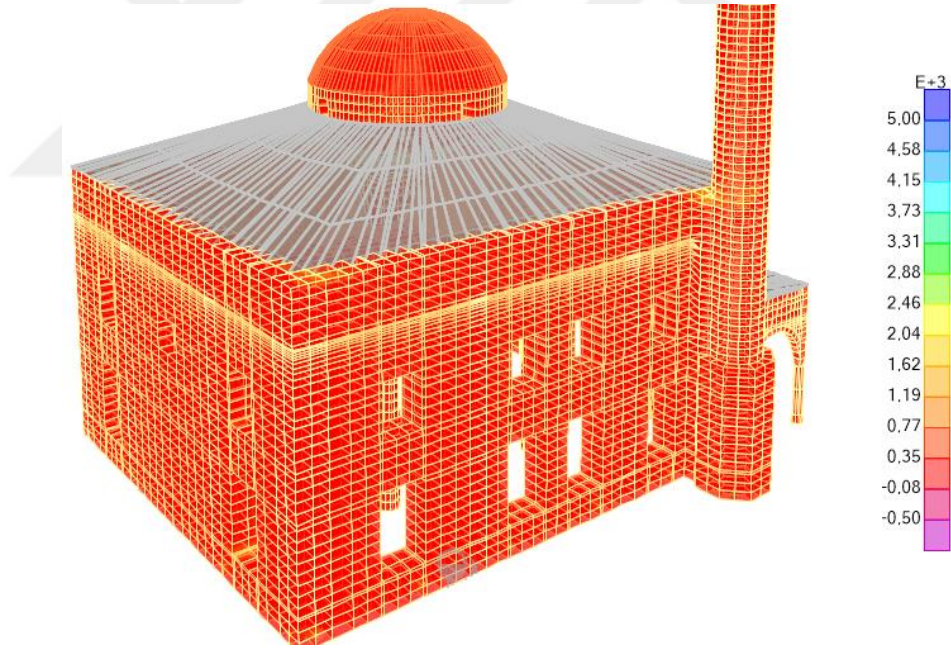
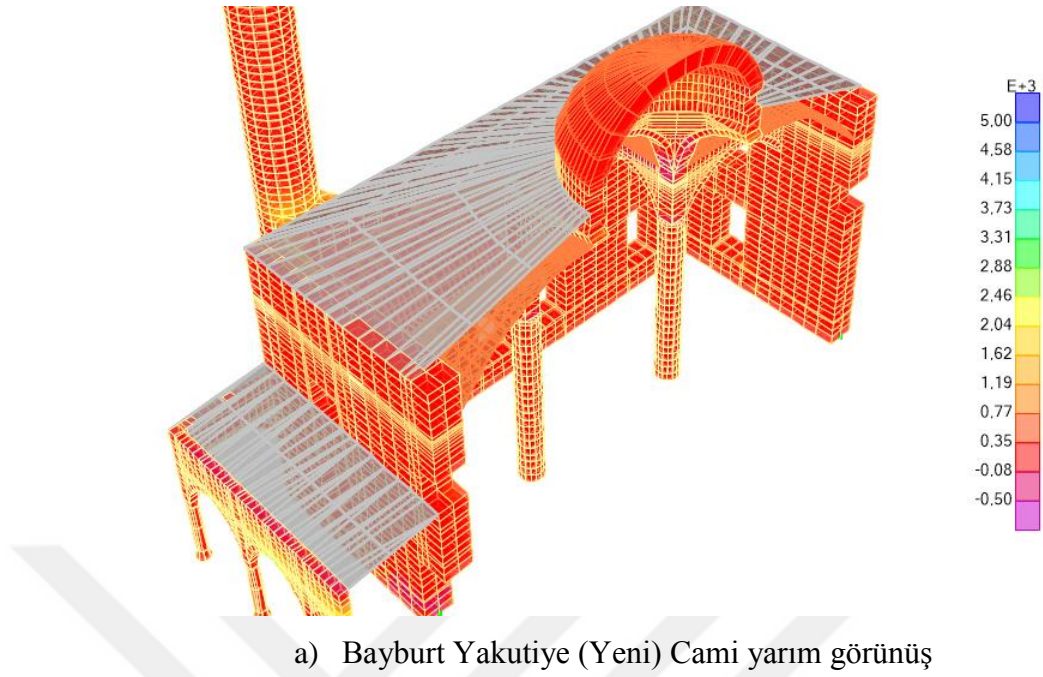
Şekil 6.78 12 Kasım 1999 Düzce depremi: S_{33} maksimum basınç gerilmeleri (kN/m^2)

6.2.4 Güçlendirilmiş modelin 23 Ekim 2011 Van-Erciş Depremi performans analizi

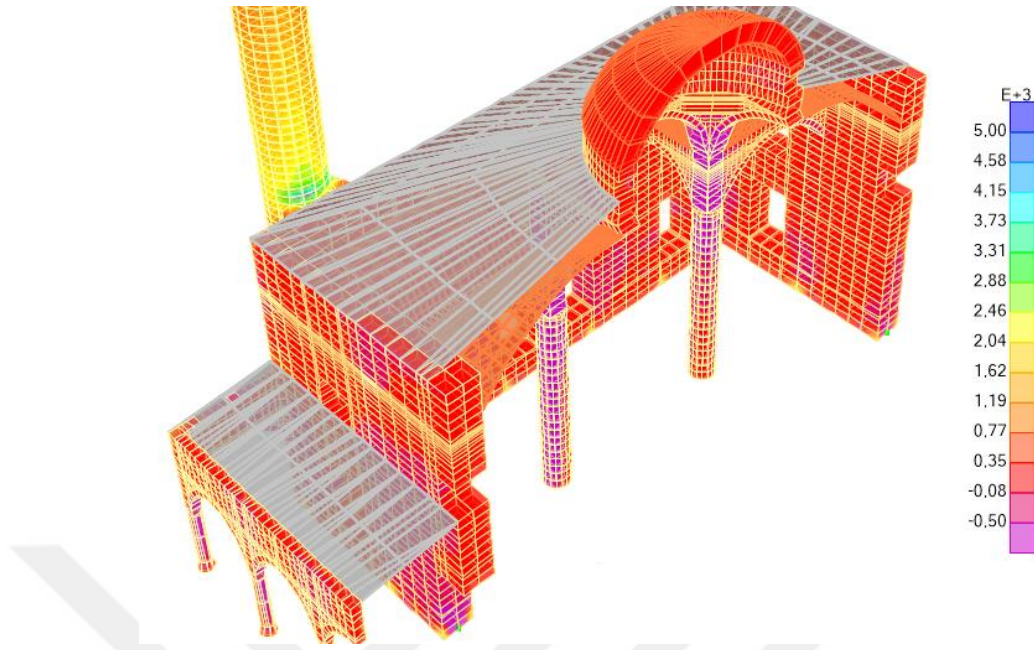
Boyutlandırılan kauçuk izolatörler ile sismik yalıtımlı Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami sonlu eleman modeline Van-Erciş deprem kayıtları uygulanarak yapılan analizler neticesinde elde edilen maksimum basınç ve çekme değerleri Şekil 6.79-6.84 'te gösterildiği gibidir.



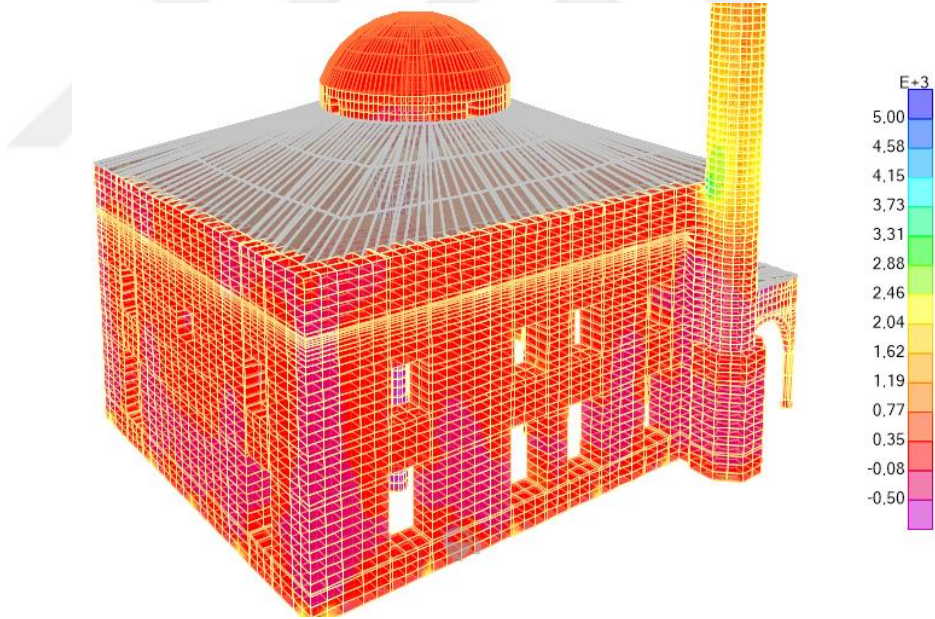
Şekil 6.79 23 Ekim 2011 Van-Erciş depremi: S_{11} maksimum çekme gerilmeleri (kN/m^2)



Şekil 6.80 23 Ekim 2011 Van-Erciş depremi: S_{22} maksimum çekme gerilmeleri (kN/m^2)

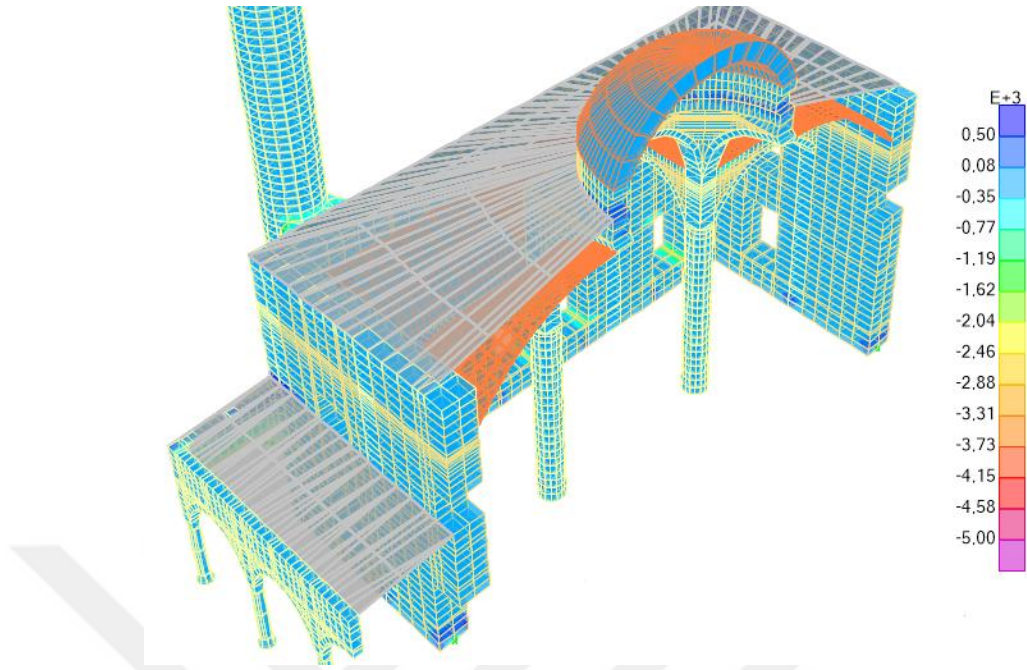


a) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami yarım görünüş

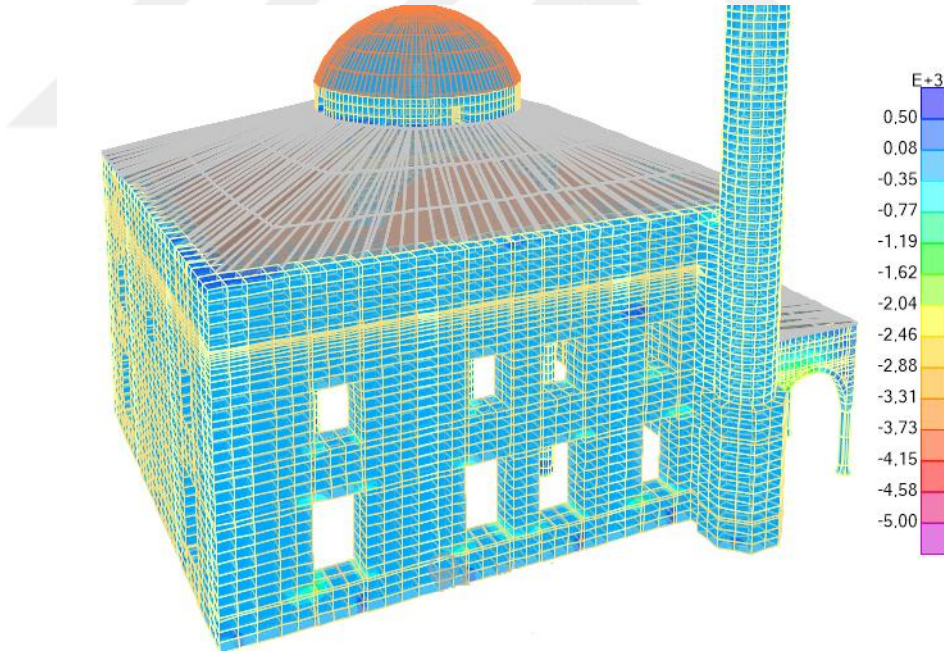


b) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami arka cephe görünüş

Şekil 6.81 23 Ekim 2011 Van-Erciş depremi: S_{33} maksimum çekme gerilmeleri (kN/m^2)

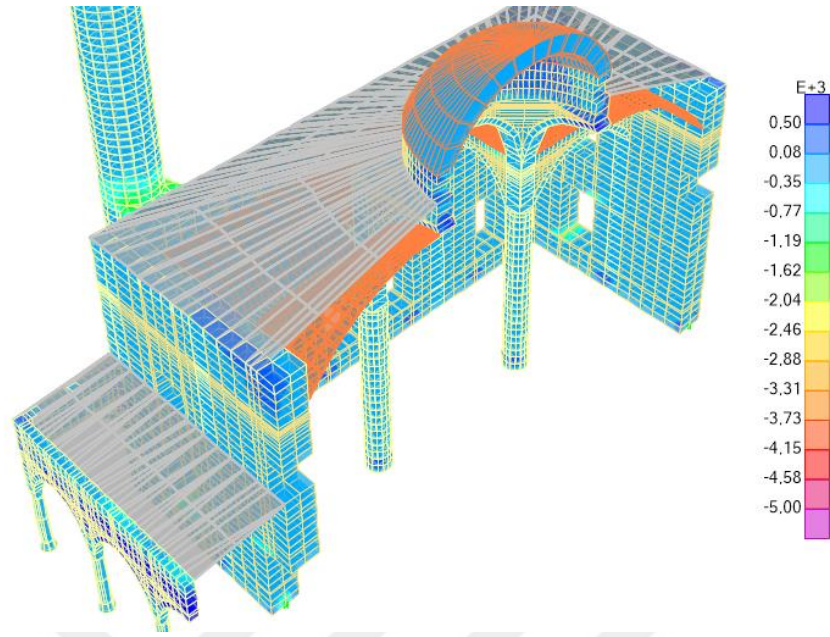


a) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami yarım görünüş

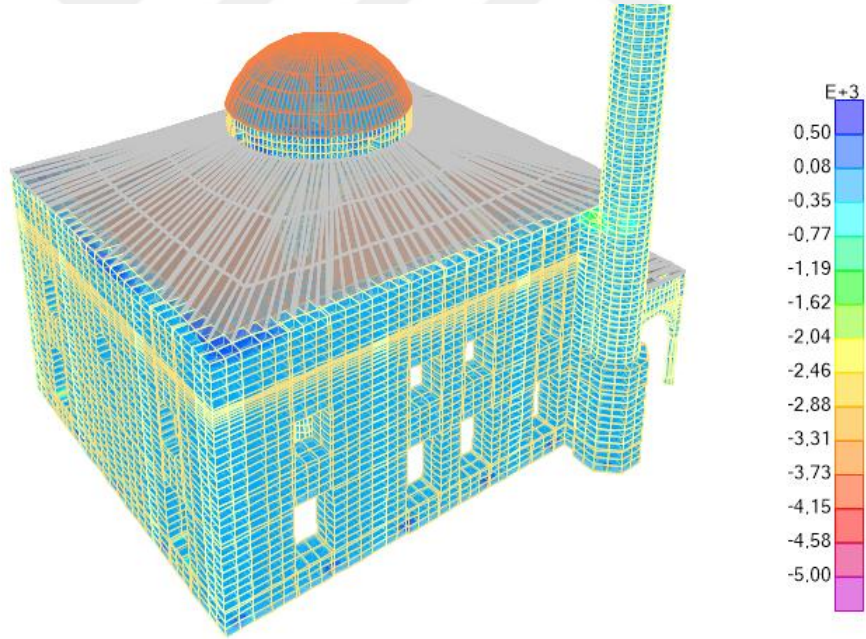


b) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami arka cephe görünüş

Şekil 6.82 23 Ekim 2011 Van-Erciş depremi: S_{11} maksimum basınç gerilmeleri (kN/m^2)

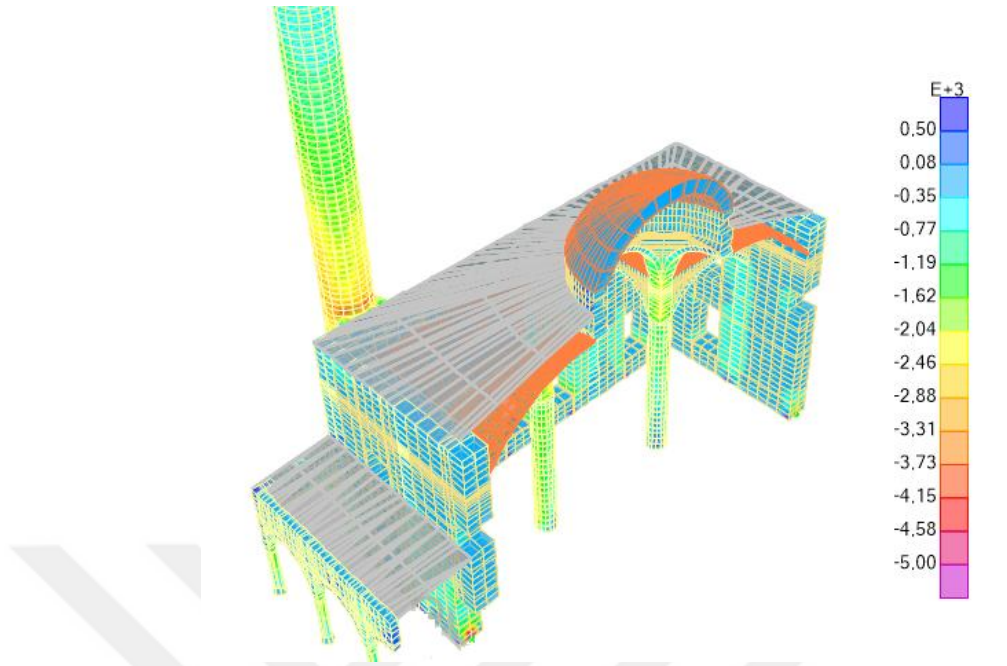


a) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami yarım görünüş

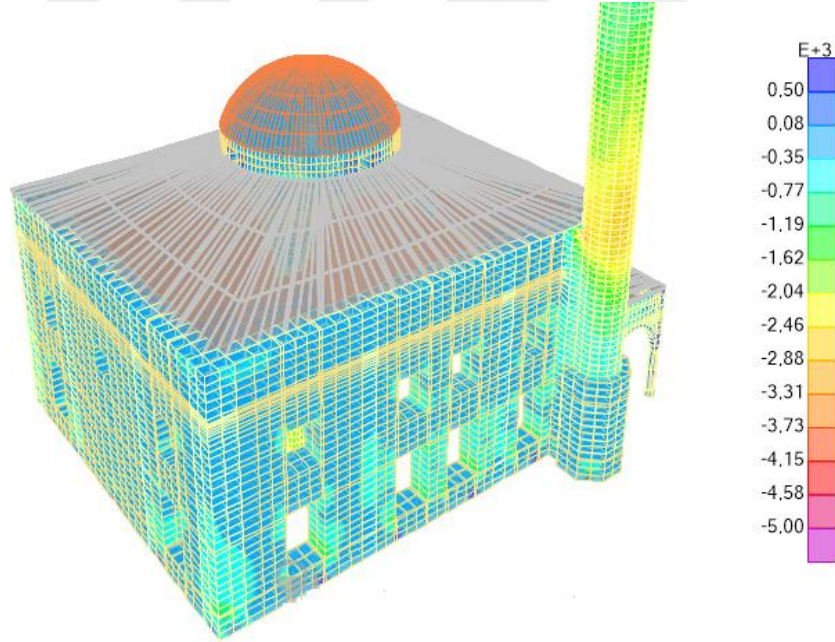


b) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami arka cephe görünüş

Şekil 6.83 23 Ekim 2011 Van-Erciş depremi: S_{22} maksimum basınç gerilmeleri (kN/m^2)



a) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami yarım görünüş

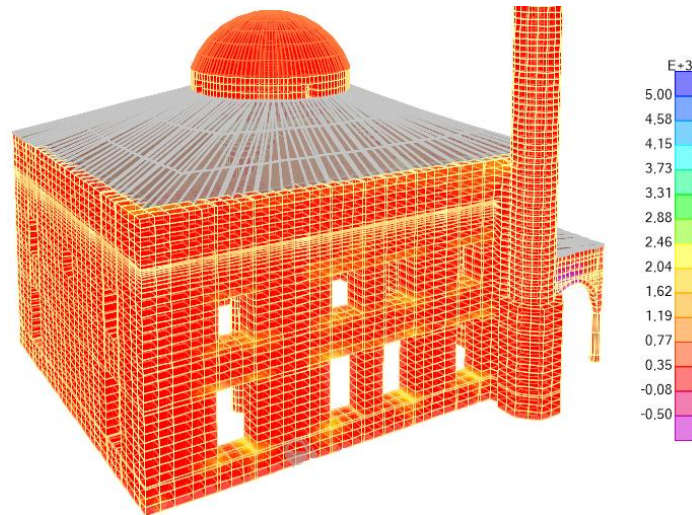
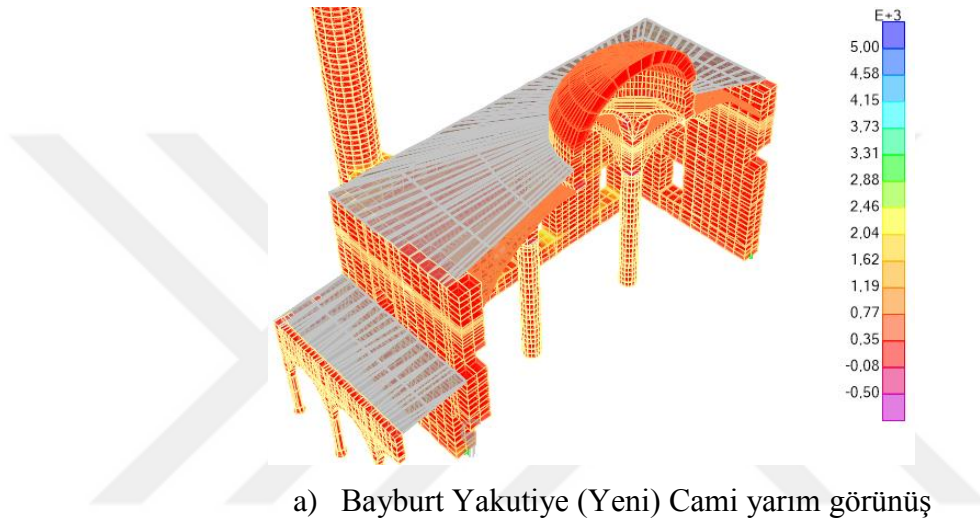


b) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami arka cephe görünüş

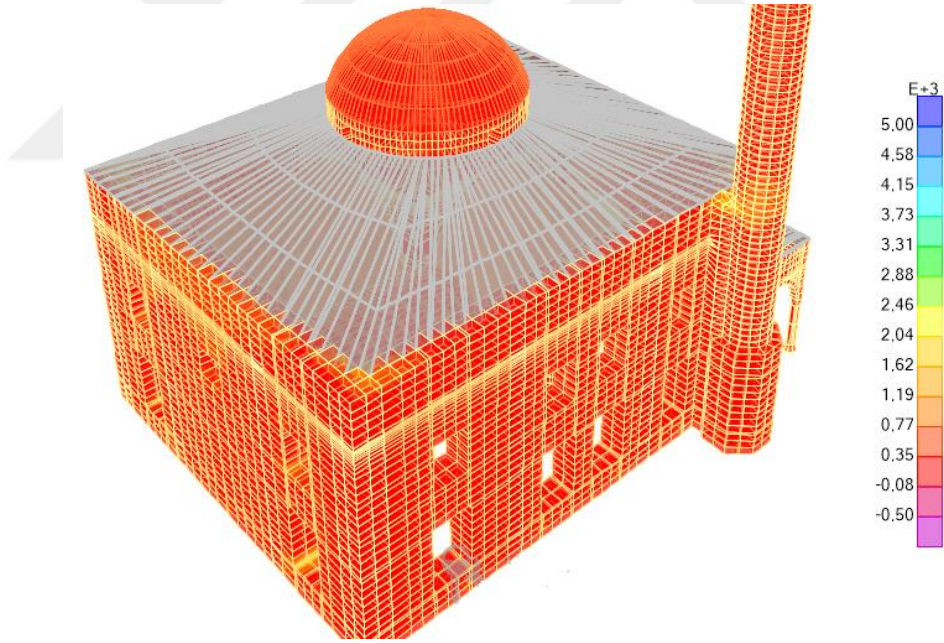
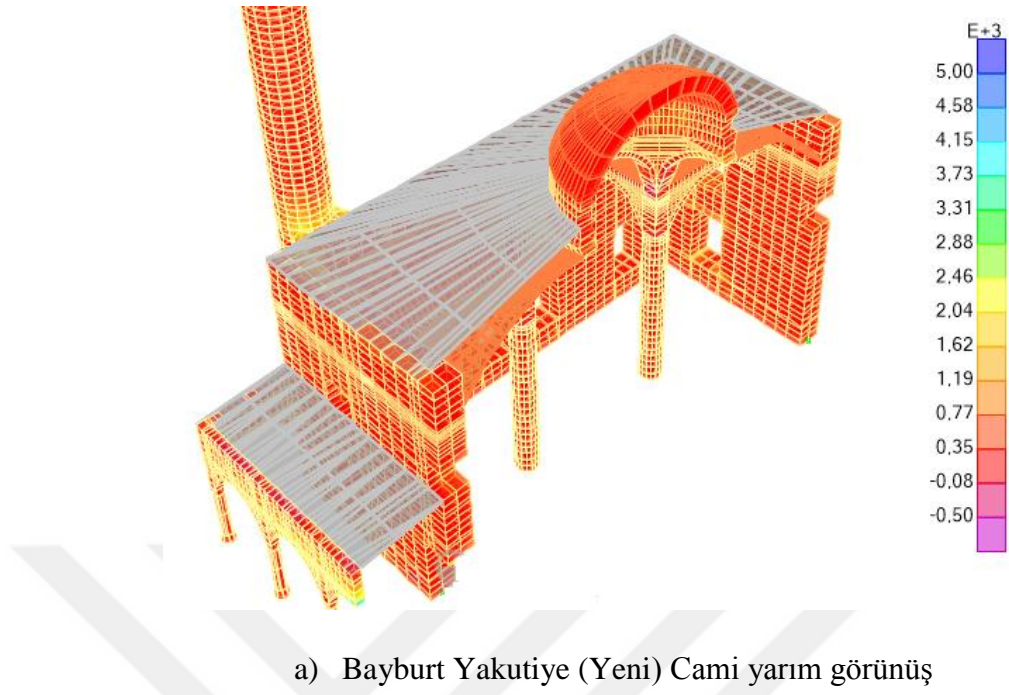
Şekil 6.84 23 Ekim 2011 Van-Erciş depremi: S_{33} maksimum basınç gerilmeleri (kN/m^2)

6.2.5 Güçlendirilmiş modelin 19 Mayıs 1940 El Centro Depremi performans analizi

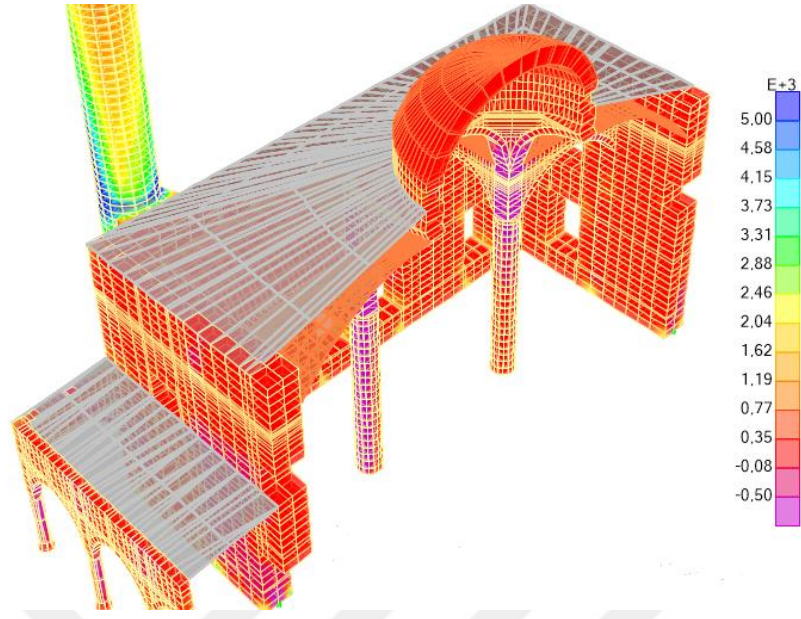
Boyutlandırılan kauçuk izolatörler ile sismik yalıtımlı Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami sonlu eleman modeline El Centro (Imperial Valley) deprem kayıtları uygulanarak yapılan analizler neticesinde elde edilen maksimum basınç ve çekme değerleri **Şekil 6.85-6.90** 'da gösterildiği gibidir.



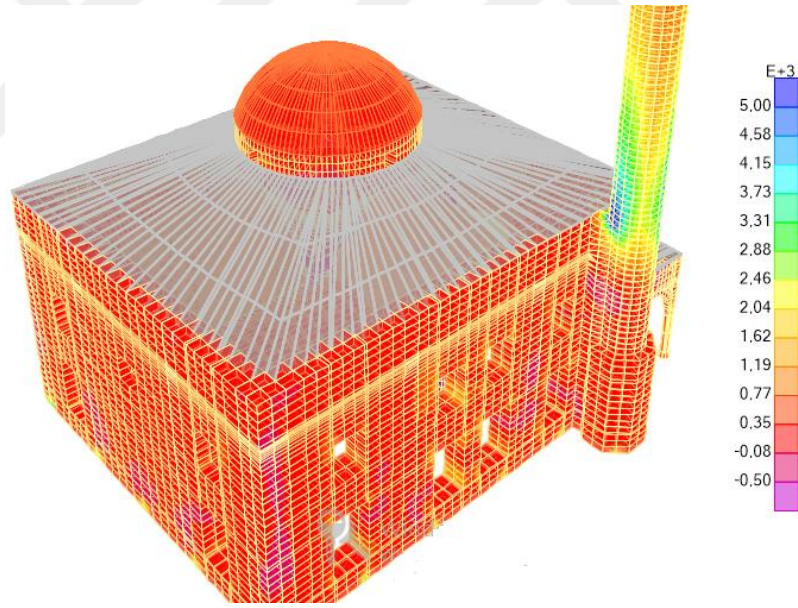
Şekil 6.85 19 Mayıs 1940 El Centro depremi: S_{11} maksimum çekme gerilmeleri (kN/m^2)



Şekil 6.86 19 Mayıs 1940 El Centro depremi: S_{22} maksimum çekme gerilmeleri (kN/m^2)

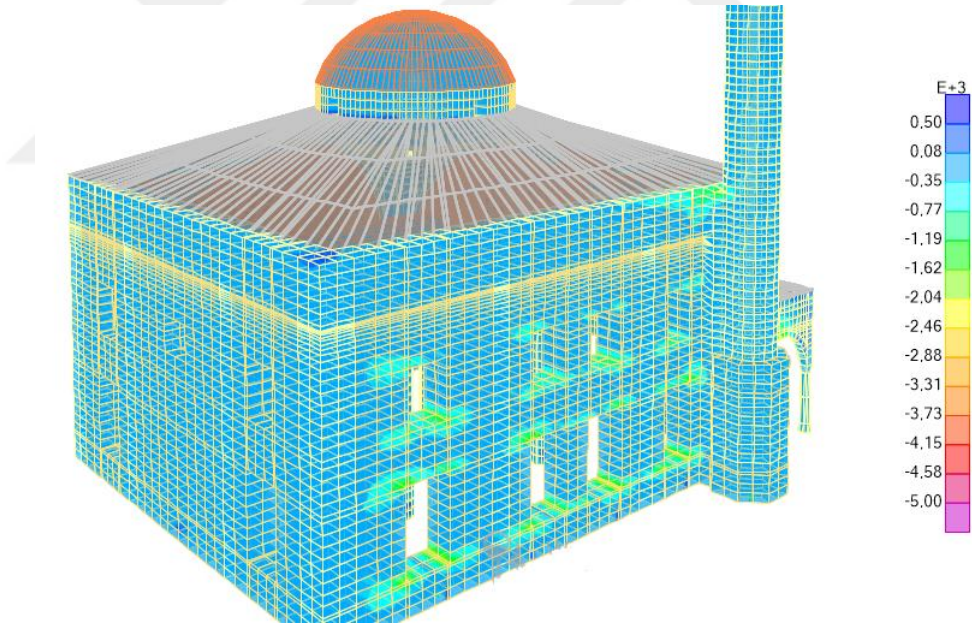
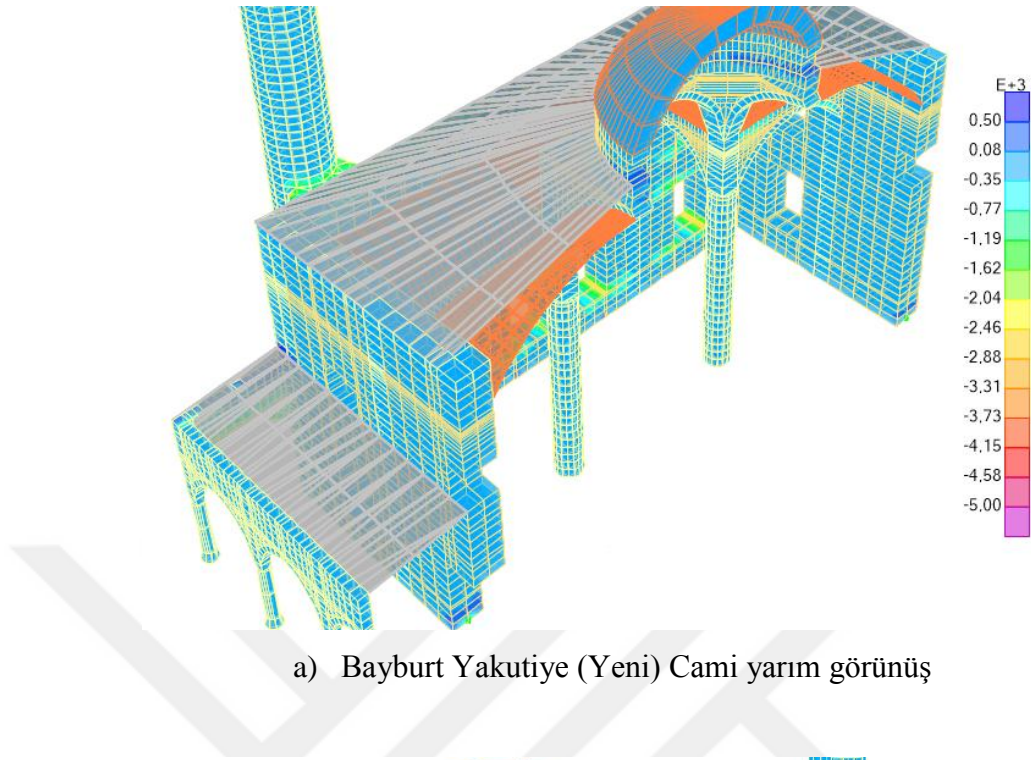


a) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami yarım görünüş

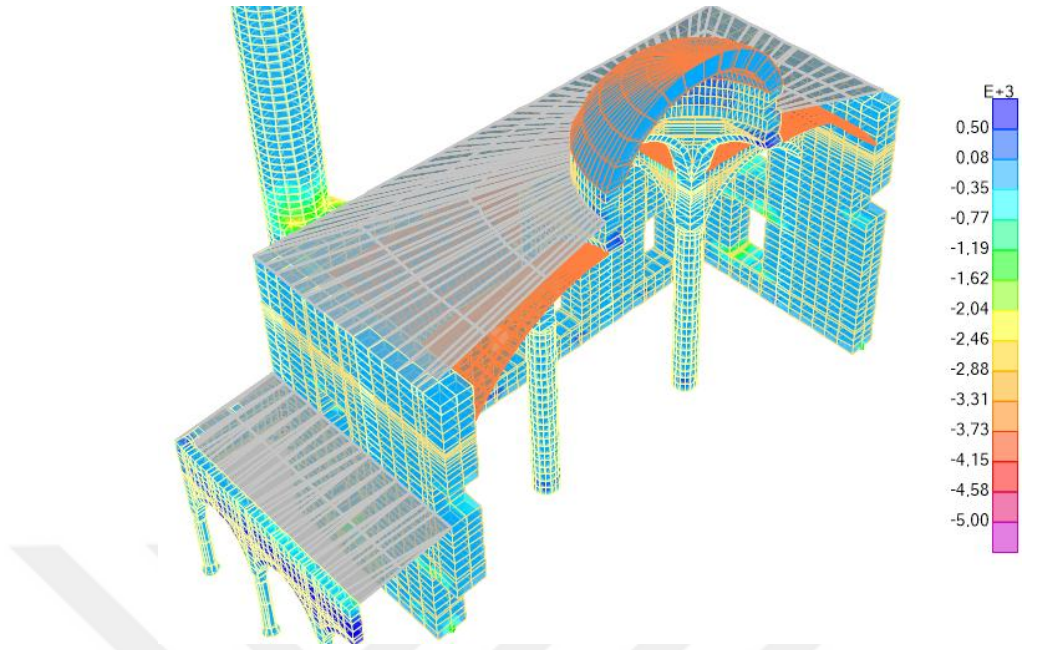


b) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami arka cephe görünüş

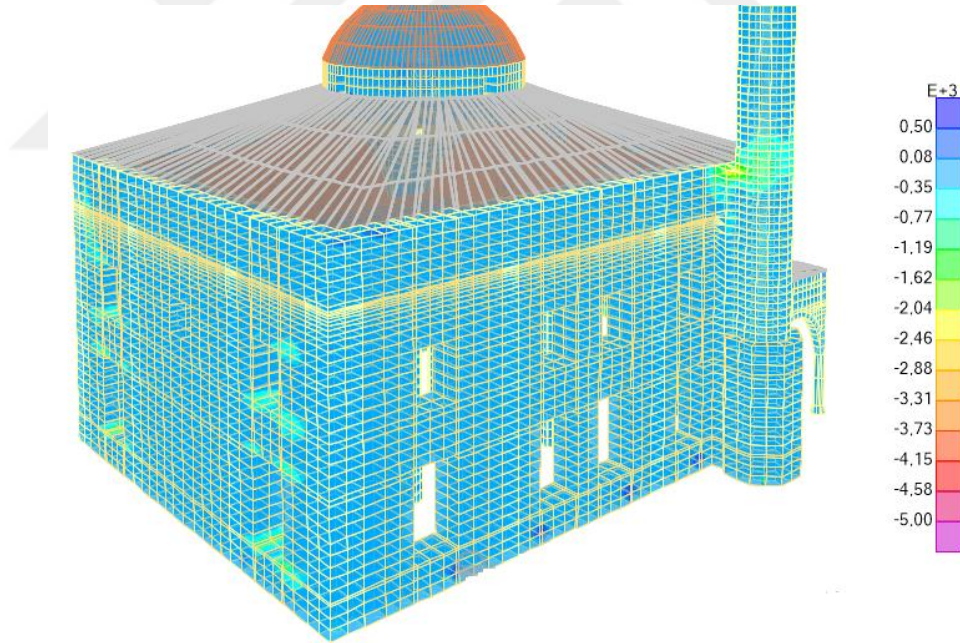
Şekil 6.87 19 Mayıs 1940 El Centro depremi: S_{33} maksimum çekme gerilmeleri (kN/m^2)



Şekil 6.88 19 Mayıs 1940 El Centro depremi: S_{11} maksimum basınç gerilmeleri (kN/m^2)

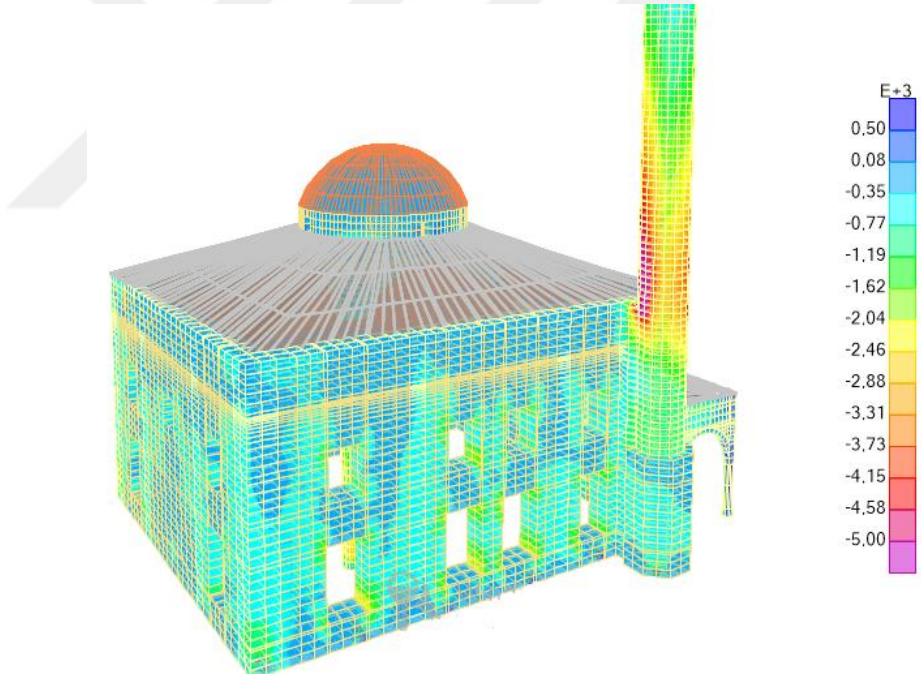
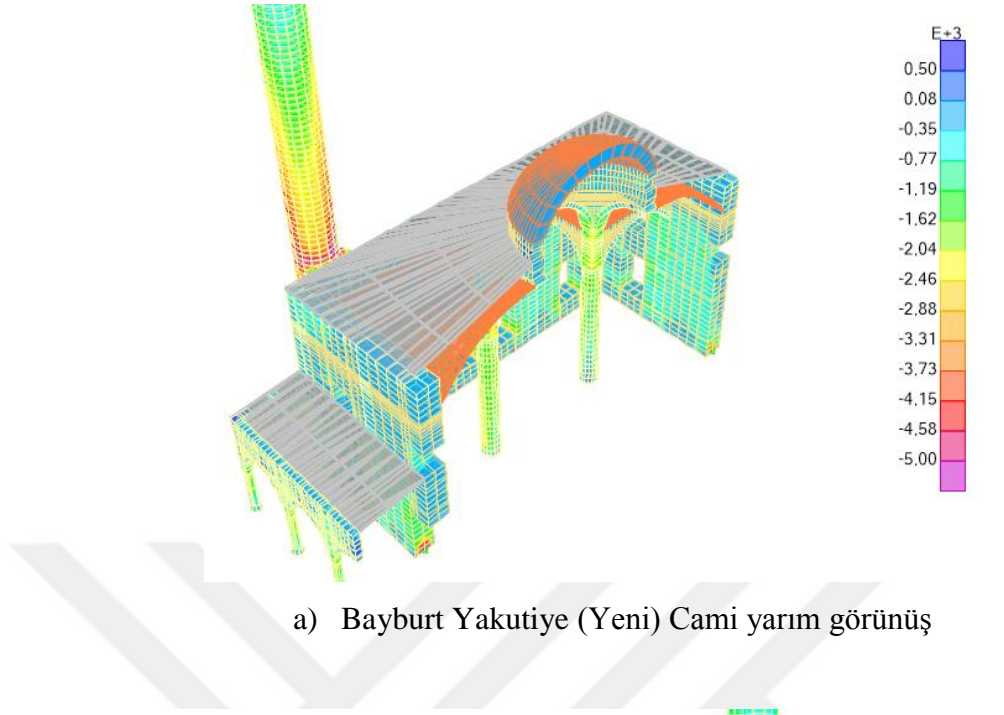


a) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami yarım görünüş



b) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami arka cephe görünüş

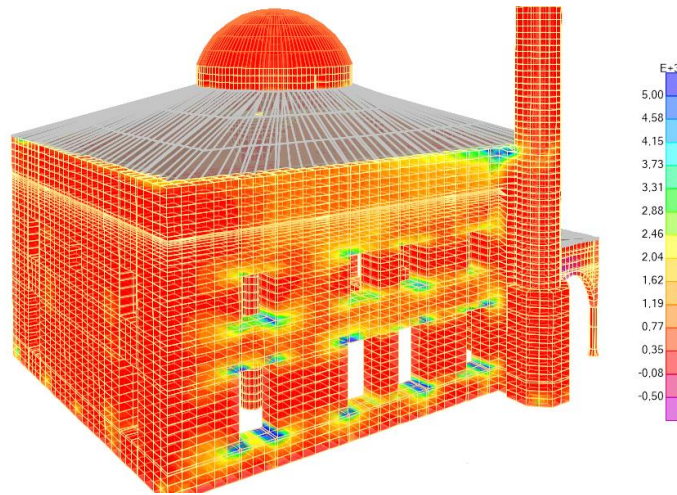
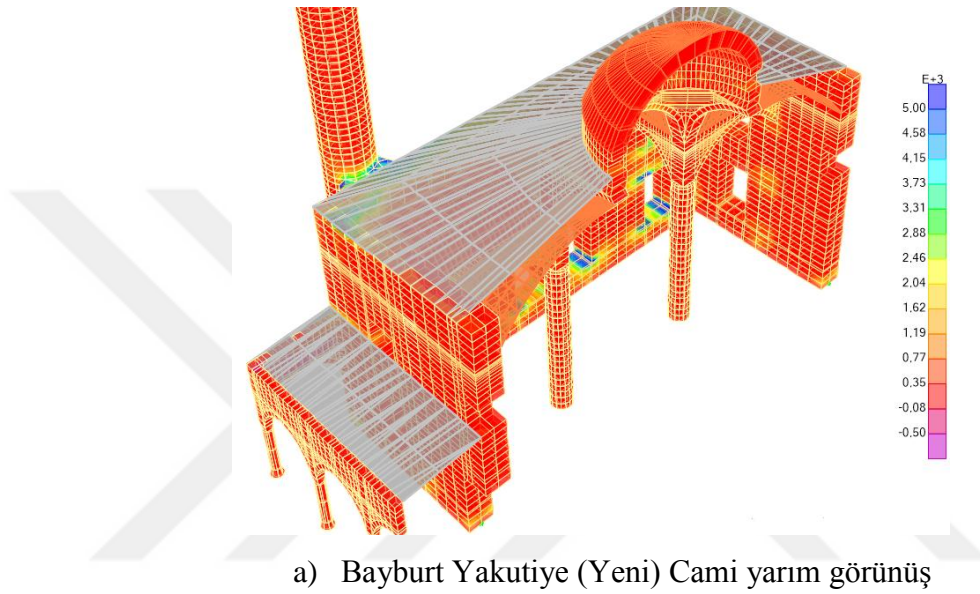
Şekil 6.89 19 Mayıs 1940 El Centro depremi: S_{22} maksimum basınç gerilmeleri (kN/m^2)



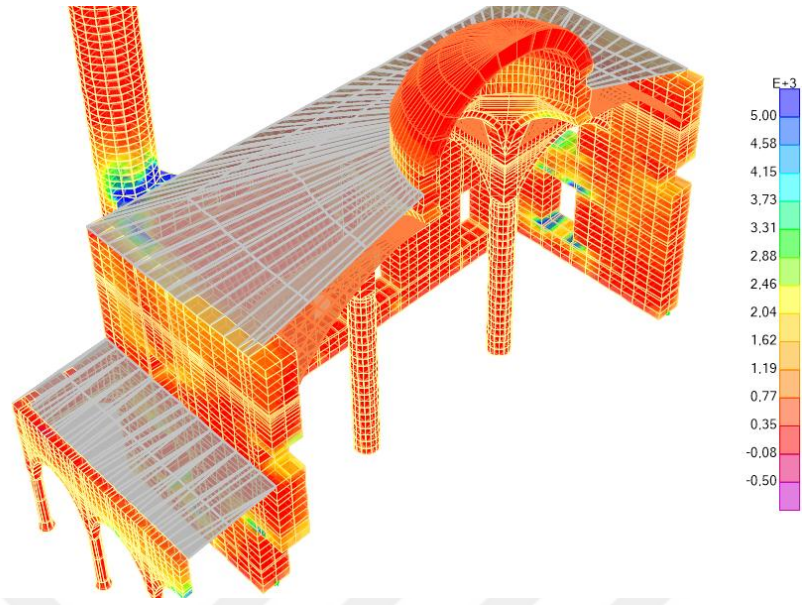
Şekil 6.90 19 Mayıs 1940 El Centro depremi: S_{33} maksimum basınç gerilmeleri (kN/m^2)

6.2.6 Güçlendirilmiş modelin 17 Ocak 1995 Kobe Depremi performans analizi

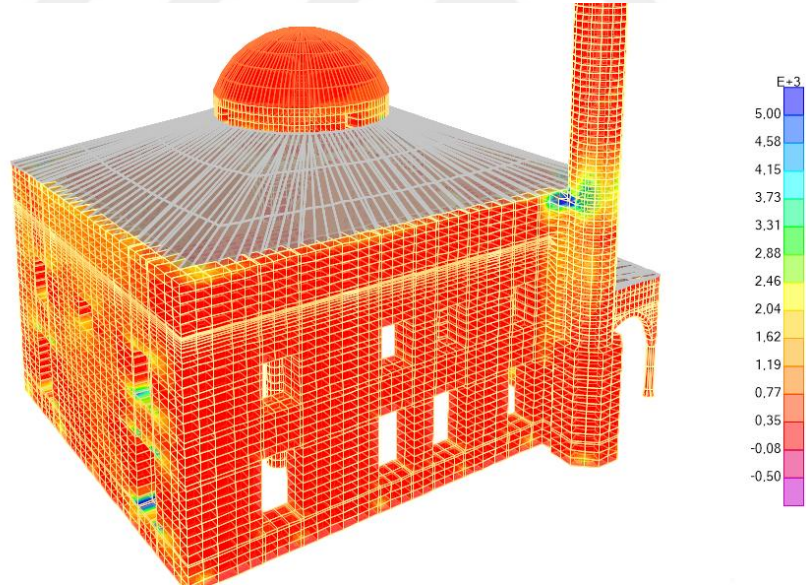
Boyutlandırılan kauçuk izolatörler ile sismik yalıtımlı Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami sonlu eleman modeline Kobe deprem kayıtları uygulanarak yapılan analizler neticesinde elde edilen maksimum basınç ve çekme değerleri Şekil 6.91-6.96 'da gösterildiği gibidir.



Şekil 6.91 17 Ocak 1995 Kobe depremi: S_{11} maksimum çekme gerilmeleri (kN/m^2)

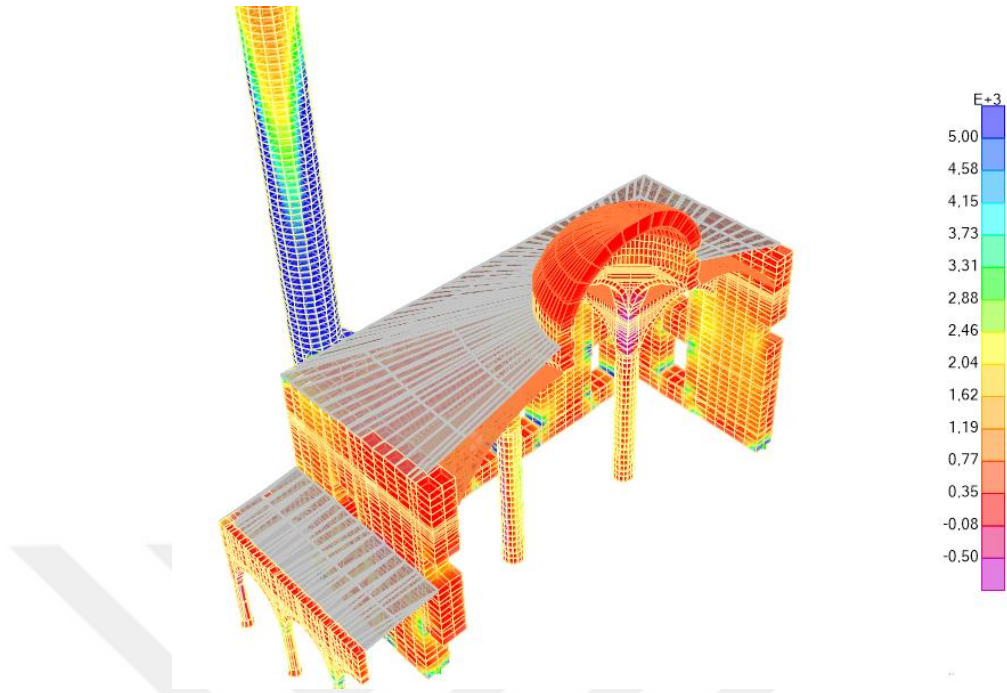


a) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami yarım görünüş

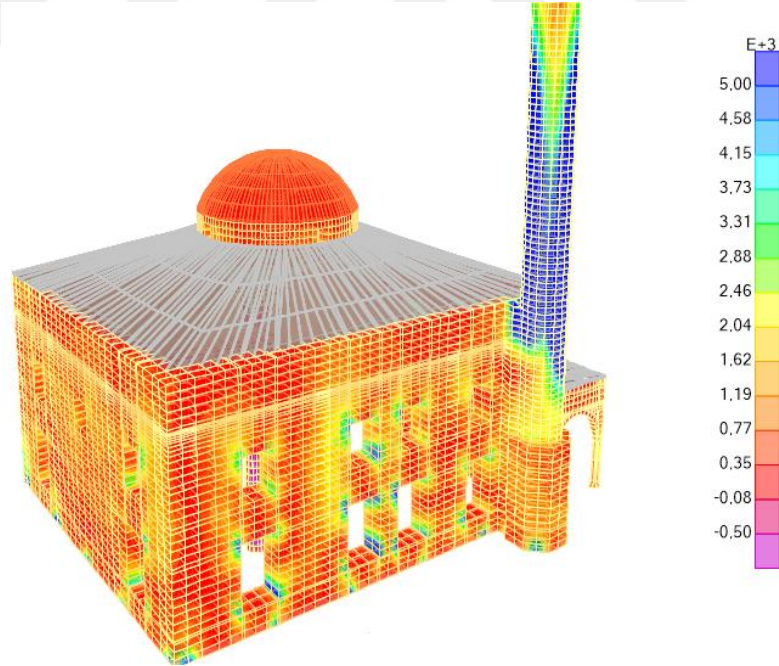


b) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami arka cephe görünüş

Şekil 6.92 17 Ocak 1995 Kobe depremi: S_{22} maksimum çekme gerilmeleri (kN/m^2)

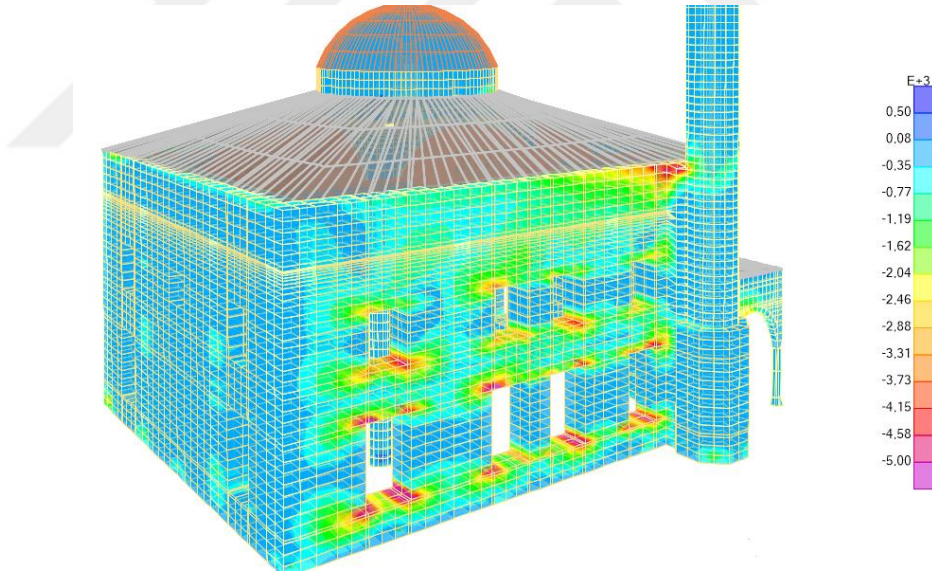
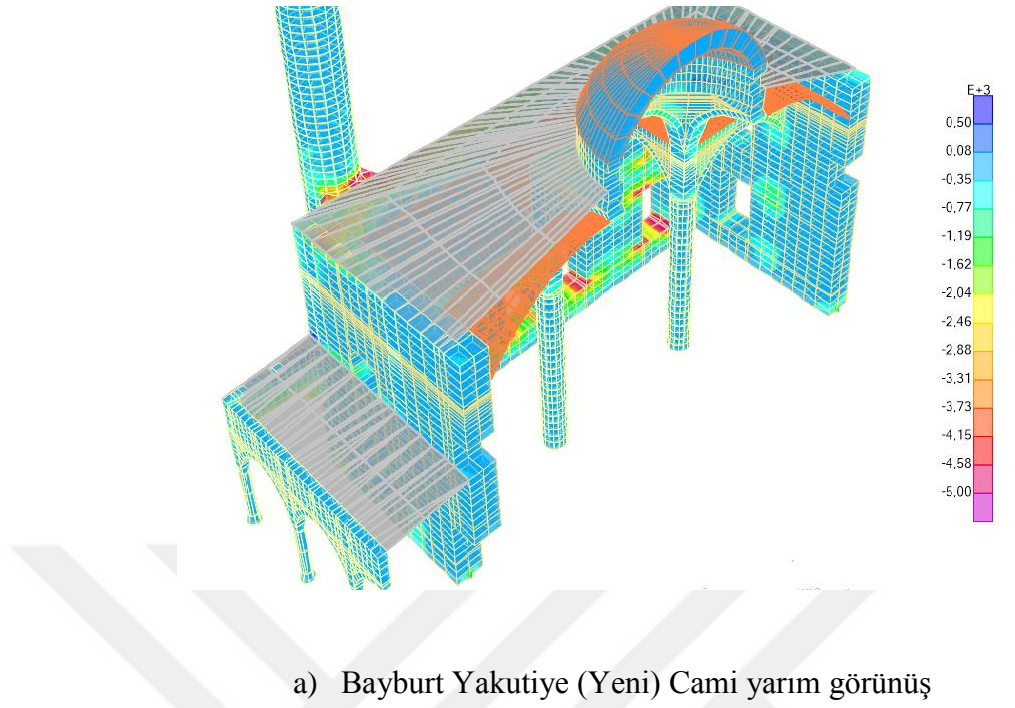


a) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami yarım görünüş

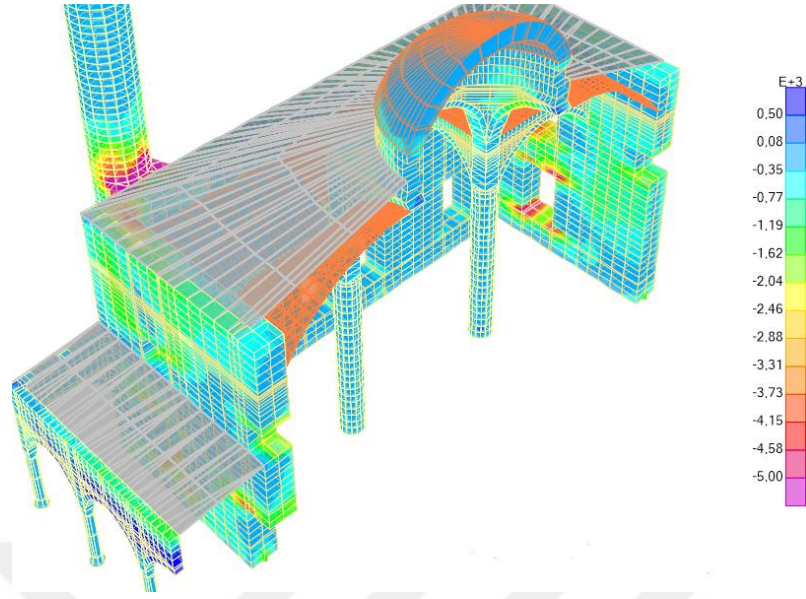


b) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami arka cephe görünüş

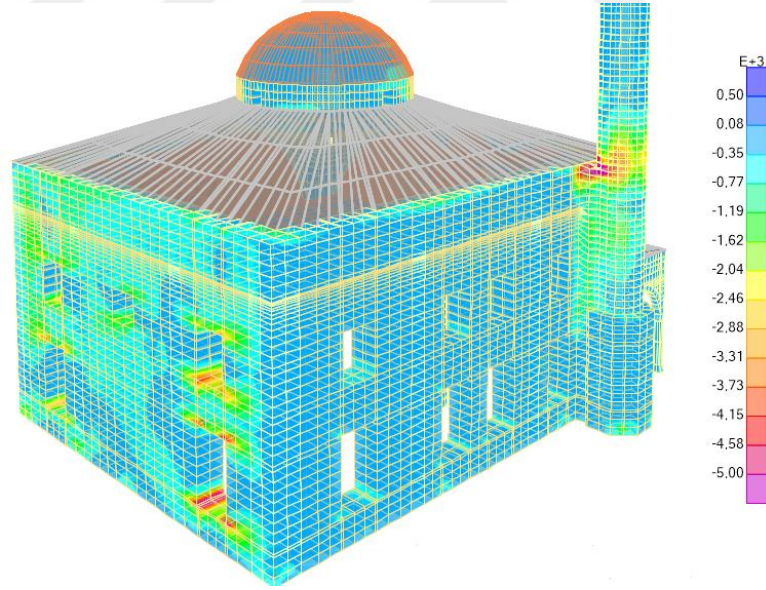
Şekil 6.93 17 Ocak 1995 Kobe depremi: S_{33} maksimum çekme gerilmeleri (kN/m^2)



Şekil 6.94 17 Ocak 1995 Kobe depremi: S_{11} maksimum basınç gerilmeleri (kN/m^2)

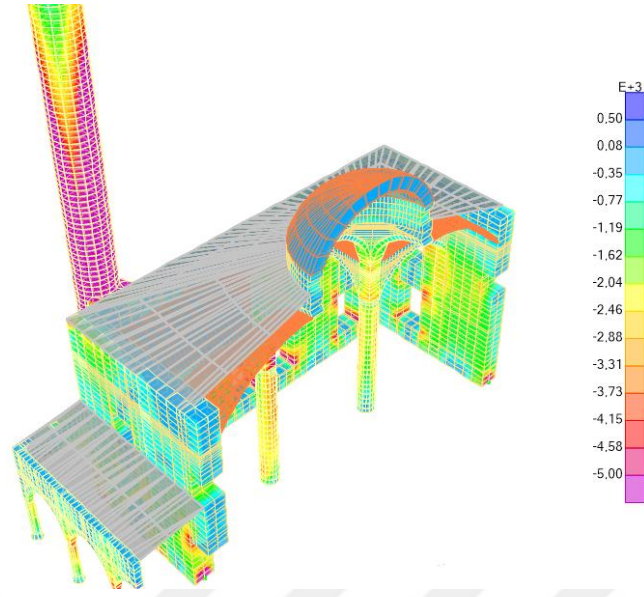


a) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami yarım görünüş

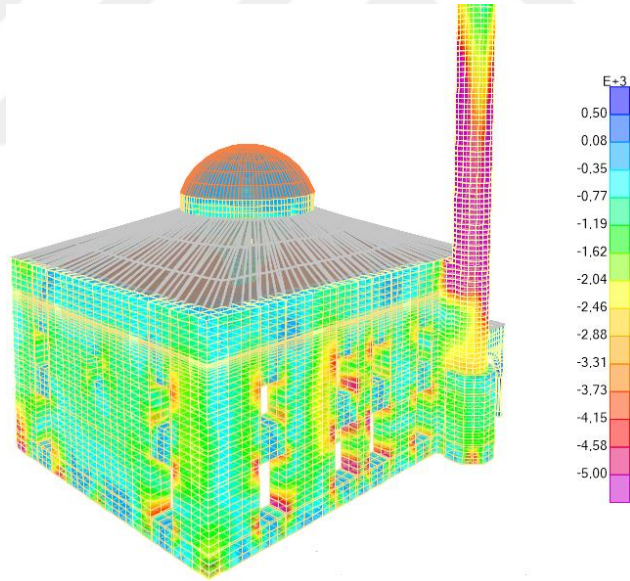


b) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami arka cephe görünüş

Şekil 6.95 17 Ocak 1995 Kobe depremi: S_{22} maksimum basınç gerilmeleri (kN/m^2)



a) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami yarım görünüş



b) Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami arka cephe görünüş

Şekil 6.96 17 Ocak 1995 Kobe depremi: S_{33} maksimum basınç gerilmeleri (kN/m^2)

Boyutlandırılan kauçuk izolatörler ile sismik yalıtımlı Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami sonlu eleman modeline uygulanan Erzincan, Kocaeli, Düzce, Van, El Centro ve Kobe depremlerinin analizleri sonucunda elde edilen maksimum çekme ve basınç değerleri **Çizelge 6.10** 'da gösterilmiştir.

Çizelge 6.10 Kauçuk izolatörlerle sismik yalıtılmış Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami'ye uygulanan depremlerinin analizleri sonucunda elde edilen maksimum çekme ve basınç değerleri

Uygulanan Depremler	S ₁₁		S ₂₂		S ₃₃	
	Max Çekme (kN/m ²)	Max Basınç (kN/m ²)	Max Çekme (kN/m ²)	Max Basınç (kN/m ²)	Max Çekme (kN/m ²)	Max Basınç (kN/m ²)
Erzincan	1855,02	-2109,74	4295,55	-4522,03	7582,95	-10249,73
Kocaeli	1258,21	-1215,97	4294,70	-3527,80	6841,19	-7396,23
Düzce	3035,09	-3302,43	6470,90	-6296,71	11276,45	-10960,18
Van	844,93	-658,88	1454,61	-1663,39	4594,95	-3174,11
El Centro	1391,46	-1745,50	2143,85	-2919,56	5981,59	-8229,72
Kobe	5626,20	-5567,77	7516,12	-7198,97	17894,22	-20664,04

Çizelge 6.10 'da belirtilen gerilme değerlerinin de yine minare gövdesinde olduğu analiz sonuçlarında görülmektedir. S₃₃ Basınç değerlerinin beyaz taş duvar basınç dayanımının (40,55 MPa) altında olduğu, S₃₃ çekme değerlerinin ise beyaz taş çekme dayanımının (4,87 MPa) sadece Van depreminde alt değerde olduğu görülmektedir. S₁₁ ve S₂₂ basınç gerilmelerinin beyaz taş duvar dayanımının altında olduğu, S₁₁ çekme gerilmelerinde ise Kobe depreminde dayanımı geçtiği, S₂₂ çekme gerilme değerlerinin ise Düzce ve Kobe depremlerinde beyaz taş duvar dayanımını geçtiği görülmektedir.

7 SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışma kapsamında Bayburt Yakutiye (Yeni) Cami, SAP2000 programında sonlu elemanlar yöntemi ile makro modelleme tekniğine göre 3 boyutlu olarak modellenmiştir. Yarım kubbeler kabuk eleman olarak modellenirken yapının geri kalanı katı eleman olarak modellenmiştir. Yapının tarihi, coğrafi konumu, mimari özellikleri ve yakın geçmişteki restorasyon çalışması hakkında bilgiler verilmiştir.

Sismik izolasyon tekniğinin tarihi bir camide uygulanması ile, sistemin deprem performansının ne kadar iyileştiği üzerinde durulmuştur. Tarihi yapılarda onarım ve güçlendirmede ana ilke, yapılacak müdahalenin minimum düzeyde tutulmasıdır. Bu sebeple sismik taban izolasyonu yapının orjinal dokusunu bozmaması açısından alternatif bir metottur ve bu çalışmada anıt yapılarda deprem güvenliği açısından belirtilen metodun uygulanması değerlendirilmiştir.

Yapının Erzincan, Kocaeli, Düzce, Van, El Centro ve Kobe depremlerinin ivme kayıtları kullanılarak izolatörsüz ve izolatörlü deprem performansı incelenmiştir. Sonuçlar neticesinde şu veriler elde edilmiştir;

- Temel periyodu (1. mod) 0,31 sn olan Bayburt Yakutiye (Yeni) Camisi 'nin periyodu, sismik izolatörler kullanılmak suretiyle yaklaşık olarak 1 sn hedefine yükseltilmiştir.
- Yapı üzerinde en fazla gerilmelerin pencere ve kapı boşluklarının çevresi, kemer-kolon birleşim bölgeleri ve özellikle minarenin duvar ile birleşiminin bittiği kısımlarda oluştuğu tespit edilmiştir.
- Kubbeler ise yapının geri kalanına oranla daha az gerilmelere maruz kalmıştır. Kubbelerde en fazla gerilmeler ise yapı ile birleşim yerlerinde meydana gelmiştir.
- İzolatörsüz ve izolatörlü yapıda meydana gelen gerilme değerlerinin en fazla Kobe ile Düzce depremlerinde meydana geldiği, en tehlikeli gerilme değerlerinin ise S_{33} (düşey) gerilme değerleri olduğu belirlenmiştir. Minare

gövdesinde oluşan bu gerilme değerleri izolatör kullanımıyla düşürülmüş olup (S_{33} çekme gerilmeleri açısından Kocaeli depremi için %27, Van depremi için %38, El Centro için %16, Kobe depremi için %25; S_{33} basınç gerilmeleri açısından Erzincan depremi için %11, Düzce depremi için %19, Kocaeli depremi için %34, Van depremi için %42, Kobe depremi için %10) sismik yalıtımın tarihi yığma yapıların deprem performansını arttırdığı görülmüştür.

- Yapının analiz sonuçları incelendiğinde düşey yükler altında herhangi bir risk teşkil edecek duruma rastlanmamış ve yapının düşey yükleri güvenle taşıdığı sonucuna varılmıştır. Dinamik analizler neticesinde genel olarak yapının depreme karşı sergilediği performansın iyi olduğu fakat kauçuk izolatörlerle güçlendirilmiş modelin daha iyi performans sergilediği açıkça görülmüştür.
- Bu çalışmamda tarihi caminin tamamının güçlendirilmesi amacıyla caminin tabanına kauçuk izolatörler yerleştirilmiştir. Bu çalışmada tarihi camiye uygulanan depremlerde belirlenen en tehlikeli gerilmelerin minare gövdesinde olduğu tespit edilmiştir. Tarihi yapının güçlendirilmesinin daha ekonomik olması amacıyla tüm yapının tabanına izolatörler yerleştirmek yerine hasar riski bulunan minare gövdesi için farklı güçlendirme metotları araştırılabilir.

KAYNAKLAR

- Akbulut, D., Arpacı, E. Y., Oktay, D., Yüzer, N. (2018). *Tarihi Yiğma Yapıların Onarımında Kullanılan Enjeksiyon Yönteminin (Grouting) ve Kireç Esaslı Enjeksiyon Malzemesinin Zaman İçerisinde Gelişimi*, **MEGARON**, 13(1), 156-168.
- Akdeniz, Ö. (2011). *Tarihi Yapıların Lineer Olmayan Dinamik Analizi*, **Yüksek Lisans Tezi**, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Akcar, S., Özacar, A., Kale, Ö., Sandıkkaya, M. A. (2012). *9 Kasım 2011 Mw 5,6 Van-Edremit Depremi Sismik ve Yapısal Hasara İlişkin Gözlemler*, **Ankara: Orta Doğu Teknik Üniversitesi Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi**.
- Almaç, U. (2011). *Zeyrek Camii (Pantokrator Kilisesi) Kuzey Bölüm Strüktür Analizi ve Sağlama Önerileri*, **Doktora Tezi**, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Amman, B. (2012). *Tarihi Yapıların Hasar Onarım Tespiti ve Restorasyon Çalışmaları*, **Yüksek Lisans Tezi**, Calal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Arıcan, Y. (2010). *Yiğma Yapıların Deprem Etkisi Altındaki Davranışı*, **Yüksek Lisans Tezi**, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Armağan, K. (2012). *Tarihi Yapılarında Kullanılan Fonksiyonelliğin İncelenmesi*, **Yüksek Lisans Tezi**, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Arpacı, E. (2016). *Tarihi Yiğma Yapıların Onarımında Kullanılan Enjeksiyon Malzemesinin (Grout) Performans Değerlendirmesi ve 19. Yüzyıl Tuğla Yiğma Yapılarda Örneklenmesi*, **Yüksek Lisans Tezi**, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Artar, M. (2006). *Structural Identification of The Sehzade Mehmed Mosque Through Static and Dynamic Analyses*, **Master of Science Thesis**, Istanbul Bogaziçi University.
- Aslan, A., Şahin, A. (2016). *Süleymaniye Camii'nin Farklı Deprem Kayıtları Altında Davranışının İncelenmesi*, (s. 156-162). **Karabük: Uluslararası Doğal Afet ve Afet Yönetimi Sempozyumu (DAAYS'16)**.

Aşıkoğlu, A., Avşar, Ö., Kuran, F., Bayülke, N. (2017). *Kütahya Merkez Kurşunlu Mosque. 3rd International Conference on PROTECTION OF HISTORICAL CONSTRUCTIONS, Dynamic Desponse of Retrofitted*, (s. 12-15). Lizbon, Portugal.

Avcar, M. (2007). *Elastik Zemin Üzerinde Bulunan Homojen Olmayan Elastik Kirişin Stabilité ve Etkileşimi, Yüksek Lisans Tezi*, Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi.

Bakır, H. (2010). *Tarihi Yapılarda Rölevenin Hazırlanması ve Sultan Alaaddin Camii Uygulama Projesi, Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Bayburt Belediye Arşivi, Zemin Raporu.

Bayraktar, A. (2005). *Tarihi Yiğma Yapıların Depreme Karşı Güçlendirilmesi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi. Ankara: Yiğma Yapıların Deprem Güvenliğinin Arttırılması Çalıştayı.*

Bayraktar, A. (2017, Aralık 7). *Tarihi Yiğma Yapıların Depreme Karşı Güçlendirilmesi*, Mart 1, 2018 tarihinde Sismik: <http://www.sismik-guclendirme.com/> adresinden alındı

Bayülke, N. (2002). *Yapıların Deprem Titreşimlerinden Yalıtımı, İstanbul: Sistem Ofset Yayıncılık.*

Bayülke, N., Kuran, F., Bozkurt, O. (2015). *Simav'da 2011 Depreminde Hasarlı Camilerin Onarım ve Güçlendirme Öncesi ve Sonrası Dinamik Özellikler*, (s. 59-70), **5. Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu.**

Betti, M., Galano, L. (2012). *Seismic Analysis of Historic Masonry Buildings, The Vicarious Palace In Pescia (Italy). Buildings* , 2, 63-82.

Bozdemir, A. (2011). *1939 Erzincan Depremi*, Temmuz 8, 2018 tarihinde <http://www.kardere.com/default.aspx?pid=50646&nid=69392> adresinden alındı

Bruneau, M. (1995). *Performance of Masonry Structures During The 1994 Northridge (Los Angeles) Earthquake, Canadian Journal of Civil Engineering* , 22: 378-402.

Can, H., Ünay, A. İ. (2012). *Tarihi Yapıların Deprem Davranışını Belirlemek İçin Sayısal Analiz Yöntemleri, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. , 27 (1), 211-217.*

- Can, H., Kubin, J., Ünay, A. İ. (2012). *Düzensiz Geometrik Şekile Sahip Tarihi Yığma Yapı Binaların Sismik Davranışı*, **Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.**, 27(3), 679-686.
- Chamaky, R. Y. (2014). *Tarihi Yığma Yapıların Deprem Analizi ve Uygun Güçlendirme Teknikleri*, **Yüksek Lisans Tezi**, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Chopra, A. K. (1995). *Theory and Applications to Earthquake Engineering, Dynamics of Structures*, ABD: Prentice Hall, New Jersey.
- Clemente, P., De Stefano, A. (2011). *Application of Seismic Isolation in the Retrofit of Historical Buildings. C. Brebbia, M. Maugeri içinde, Earthquake Resistant Engineering*, (s. 41-52). Canaca and Mexico, USA: WIT Press.
- Çal, G., Şahin, A. (2015). *Ortaköy Büyük Mecidiye Camii'nin Farklı Deprem Etkileri Altında Sismik Davranışının Değerlendirilmesi*, **5.Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu**, (s. 1-10).
- Çalık, İ., Bayraktar, A., Türker, T. (2013). *Tarihi Yığma Yapıların Dinamik Karakteristiklerine Restorasyon Etkisinin Çevresel Titreşim Yöntemiyle Belirlenmesi: Rize Merkez Büyük Gülbahar Camisi Örneği*, **2. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı**, (s. 1-15). Hatay: Mustafa Kemal Üniversitesi.
- Çalık, İ., Demirtaş, B., Bayraktar, A., Türker, T. (2012). *Yığma Taş Minarelerin Analitik ve Deneysel Yöntemlerle Güvenliğinin Belirlenmesi: Trabzon Muhittin Camii Minaresi Örneği*, **Vakıflar Dergisi**, 38, 121-140.
- Çavuş, M. (2013). *Tarihi Niksar Kulak Kümbetinin Deprem Altındaki Sismik Davranışının Değerlendirilmesi*, **Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi**, 7, 80-90.
- Çavuş, M. (2011). *Tarihi Yapılarda Üst Örtülerin Çelik Malzeme ile Sağlamlaştırılmasının Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Modellenmesi*, **Doktora Tezi**, Ankara: Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Çeken, U. (2007). *Marmara Bölgesinin Kuvvetli Yer Hareketi Azalım İlişkisi Modeli*, **Yüksek Lisans Tezi**, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi.
- Çelik, O. C. (2007). *Tarihi Yapı Onarım ve Güçlendirme Rehberi*, 1-52. **BASF Türk Kimya Sanayi ve Tic. Ltd. Şti.**
- Çiğdem, S. Y. (2018). *Bayburt Yüzey Araştırma* (Yayınlanma aşamasında).

- Dabanlı, Ö. (2008). *Tarihi Yığma Yapıların Deprem Performansının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Dalkılıç, N., Halifeoğlu F., M. (2010). *Mardin Tekke Cami-Şah Sultan Hatun Medresesi Restorasyon Çalışması, Üç Aylık Mimarlık ve Yapı Malzemeleri Dergisi*, 17, 17-60.
- Darılmaz, K. (2005, Kasım). *Sap2000 İle Yapı Sistemlerinin Çözümü, İMO İstanbul Şubesi Eğitim Semineri Notları*.
- De Luca, A., Mele, E., Molina, J., Verzelletti, G., Pinto, A. (2000). *The Retrofit of Historic Buildings Through Seismic Izolation: Result of Pseudo-Dynamic Tests on a Full Scale Specimen, 12WCEE 2000 : 12th World Conference on Earthquake Engineering*, (s. 1-8). Auckland, New Zealand.
- Değirmenci, İ., Sarıbiyık, M. (2015). *Tarihi Yapıların Güçlendirilmesinde Yenilikçi Yaklaşımlar ve FRP Malzemelerin Kullanımı, 3. Uluslararası Mühendislik ve Bilimde Yenilikçi Teknolojiler Sempozyumu*, (s. 338-347).
- Demir, C. (2012). *Seismic Behaviour of Historical Stone Masonry Multi-Leaf Walls, Ph.D. Thesis*, İstanbul Technical University, Graduate School of Science Engineering and Technology.
- Demir, S. (2008). *Sismik İzolasyon Sistemleriyle Yapıların Tasarımı ve Mevcut Bir Yapıya Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi*, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi.
- Doğangün, A., Ural, A. (2009). *Geliştirilen Bir Yapısal Analiz Programıyla Yığma Yapıların Analizi, e-Journal of New World Sciences Academy*, 4 (4), 579-588.
- Doğu, E. (2010). *Çift Cidarlı Moloz Dolgulu Tarihi Taş Duvarların Yatay Yükler Altındaki Davranışının Deneysel Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Doran, B., Aktan, S. (2017). *Hava Kireci Harcı Kullanılarak Üretilen Tarihi Yığma Duvarlarda Bünyesel Modelleme, Dokuz Eylül Üniversitesi-Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 19(56), 314-329.
- Döndüren, M., Şişik, Ö., Demiröz, A. (2017). *Tarihi Yapılarda Görülen Hasar Türleri, Selçuk Üniversitesi Sosyal ve Teknik Araştırma Dergisi*, 13 45-58.
- Durutürk, G. (2012). *Yalvaç Hamidiye Cami Deprem Analizi, Yüksek Lisans Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Düzgün, O. A., Hatipoğlu, Y. S., Artar, M., Yurdakul, M., Öner, E. (2015). *Ahmet-i Zencani Kümbeti'nin Sonlu Elemanlar Analizi ile Taşıyıcı Sistem Performansının Belirlenmesi*, (s. 201-213). **5.Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu**.
- Düzgün, O. A., Hatipoğlu, Y. S., Artar, M., Yurdakul, M., Öner, E. (2015). *Zahit Efendi Camisi'nin Sonlu Elemanlar Analizi ile Taşıyıcı Sistem Performansının Belirlenmesi*, **5.Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu**, (s. 155-168). Bayburt: TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası.
- Eisenberg, J., Smirnov, V., Bubis, A. (2011). *Seismoisolation for Upgrading of Existing Historical Buildings and Churches*, **III ECCOMAS Thematic Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering**, (s. 1-7). Corfu, Greece: COMPDYN.
- Erdek, H., Calayır, Y., Sayın, E., Karaton, M. (2013). *Tarihi Malatya Ulu Camisinin Sismik Davranışı*, **2. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı**, (s. 1-9). Hatay: Mustafa Kemal Üniversitesi.
- Evcan, N. (2012). *Pasternak Zemine Oturan Sonsuz Bir Kirişin Hareketli Tekil Yük Altındaki Dinamik Davranışının İncelenmesi*, **Yüksek Lisans Tezi**, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Fahjan, Y. (2008). *Sonlu Elemanlar Yönetimi 1. Genel Kavramlar*, **İnşaat Mühendisleri Odası**, Gebze.
- Gürün, F. G. (2016). *Türkiye'deki Tarihi Kemerli Yığma Demiryolu Köprülerinin Deprem Davranışının İncelenmesi*, **Yüksek Lisans Tezi**, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Hamarat, M. (2012). *İki Parametrelili Zeminler Üzerine Oturan Yapı Sistemlerinin Dinamik Analizi*, **Yüksek Lisans Tezi**, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Hetenyi, M. (1955). *Beams on Elastic Foundation*, (s. 358). Michigan, **USA: The University Of Michigan Pres.**
- Hoşbaş, A. B. (2006). *Çok Katlı Betonarme Yapının Sismik İzolatörlerle Modellenmesi ve Yapının Perdelerle Güçlendirilmiş Durumu İle Karşılaştırılması*, **Yüksek Lisans Tezi**, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi.

- Hökelekli, E. (2015). *Manisa Hafsa Sultan Camii Deprem Davranışının Orerasyonel Modal Analiz Yöntemiyle İncelenmesi*, **Doktora Tezi**, Manisa: Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- İspir, M. (2010). *A Comprehensive Experimental Research on The Behavior of Historical Brick Masonry Walls of 19th Century Buildings*, **Ph.D.Thesis**, Istanbul Tehnical University.
- Kara, H. G. (2009). *Tarihi Yığma Yapıların Taşıyıcı Sistemleri, Güvenliğinin İncelenmesi, Onarımı ve Güçlendirilmesi*, **Yüksek Lisans Tezi**, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Karabörk, T., Çelik, T. (2015). *Tarihi Taş Yığma Duvarların Kayma Dayanımını Arttırmak Amacıyla Geliştirilen Metal Bağlantı Elemanları*, (s. 71-83). **5.Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu**.
- Kaya, S., Yüzügüllü, O., Erdik, M., Aydınoglu, N. (2005). *Earthquake performance of Süleymaniye Mosque*, **Boğazici University Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute**, 477-482.
- Keskin, A., Özen, S. (2017, Haziran 23). *Tarihi Yapıların Onarım ve Güçlendirmesi*, Mart 5, 2018 tarihinde DOKUPDF.COM: https://dokupdf.com/download/tarihi-yapilarin-onarim-ve-guclendirmelikeleleri-_5a01b163d64ab2b9bd6547a1_pdf adresinden alındı
- Kılıç., V. (2006). *Elastik Zemine Oturan Dikdörtgen Plakların Titreşimleri*, **Yüksek Lisans Tezi**, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Koç, D. (2015). *Tarihi Yapı Taş Kemerlerinin FRP ile Güçlendirilmesi*, **Yüksek Lisans Tezi**, Aksaray Üniversitesi, Fen Biimleri Enstitüsü.
- Koç, V. (2016). *Depreme Maruz Kalmış Yığma ve Kırsal Yapı Davranışlarının İncelenerek Yığma Yapı Yapımında Dikkat Edilmesi Gereken Kuralların Derlenmesi*, **Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, 2(1), 36-57.
- Koçak, A. (1999). *Tarihi Yapıların Statik ve Dinamik Yükler Altında Lineer ve Non-Linear Analizi: Küçük Ayasofya Camii Örneği*, **Doktora Tezi**, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Koçuk, F. (2017). *Tarihi Yapıların Farklı Döşeme Türleri ile Deprem Yükleri Altındaki Davranışı*, **Yüksek Lisans Tezi**, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Üniversitesi.

- Koçyiğit, Y. (2015). *Edirne Fatih Köprüsünün Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Analizi*, (s. 303-311). **5.Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu**.
- Korkmaz, K. A., Zabin, P., Çarhoğlu, A. I., Nuhoğlu, A. (2014). *Rize Merkez Kurşunlu Camisi'nin deprem davranışının incelenmesi*, **SAÜ Fen Bil. Der.**, 18. Cilt, 3. Sayı, s. 149-156,.
- Köseoğlu, G. Ç. (2011). *Investigation of A Damaged Historical Mosque With Finite Element Analysis*, **Master of Science Thesis**, The Graduate School of Natural And Applied Sciences of Middle East Technical University.
- Kuran, F. (2015). *Tarihi Yiğma Yapıların Lineer Elastik Analizinde Kullanılan Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı (Ra) Hakkında Bir İrdeleme* (s. 11-26). **5.Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu**.
- Kuran, F., Dabanlı, Ö. (2016). *Tarihi Yiğma Yapıların Mekanik Özelliklerinin Yerinde Yapılan Flat-Jack (Yassı Kriko) Deneyi ile Belirlenmesi*, **Restorasyon Yıllığı Dergisi**, 12, 180-188.
- Kuruşcu, A. O. (2012). *Yiğma Duvar Temelerde Doğrusal Olmayan Modelleme*, **Doktora Tezi**, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Laurenço, P. B. (1996). *Computational Strategies for Masonry Structures*, **PhD Thesis**, Delft University . Press, Netherlands.
- Laurenço, P. B. (1998). *Experimental and Numerical Issues in The Modelling of The Mechanical Behaviour of Masonry*, **PORTUGAL: University of Minho, Department of Civil Engineering**.
- Lourenço, P. B. (2013). *Computational Strategies For Masonry Structures: Multi-Scale Modelling, Dynamics, Engineering Applications And Other Challenges*, **Congreso de Métodos Numéricos en Ingeniería**, Bilbao, İspanya. , 1-17.
- Mahrebel, H. A. (2006). *Tarihi Yapılarda Taşıyıcı Sistem Özellikleri, Hasarlar, Onarım ve Güçlendirme Teknikleri*, **Yüksek Lisans Tezi**, İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Martelli, A., Forni, M. (2010). *Seismic Isolation and Other Antiseismic Systems Recent Applications in Italy and Worldwide*, **The Journal of the Anti-Seismic Systems International Society (ASSISI)**, 1(1), 75-123.

- Mazlıgüney, L. (2007). *Tarihi Bir Binada Deprem Güçlendirmesi Projelendirme Uygulaması (Kuleli Askeri Lisesi Örneği)*, (s. 1-16). **1.Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi.**
- Melkumyan, M., Mihul, V., Gevorgyan, E. (2011). *Retrofitting by Base Isolation of Existing Building in Armenia and in Romania and Comparative Analysis of Innovatite Vs. Conventional Retrofitting*, **III ECCOMAS Thematic Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering**, (s. 1-24). Corfu, Greece: COMPDYN.
- Menceloğlu, Y., Okan, B. S. (2015). *Tarihi Eserlerin Mikroorganizmalara Karşı Korunması İçin Antimikrobiyal Nanokaplamalar*, (s. 97-101). **5.Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu.**
- Mumyakmaz, Y. A. (2015). *Tarihi Yapıların Deprem Güvenliğinin Belirlenmesi ve Gedik Ahmet Paşa Camii Örneği*, **Yüksek Lisans Tezi**, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Mutlu, Ö., Şahin, A. (2016). *Tarihi Yığılma Minarelerin Modelleme Yaklaşımlarının Deprem Davranışına Etkisinin İncelenmesi-Bursa Ulu Cami Örneği*, **Sigma J Eng Nat Sci**, 7 (2), 123-136.
- Ocakcan, T. K. (2013). *18. Yüzyıl Osmanlı Kütüphanelerinin Yapım Teknikleri ve I. Mahmut Kütüphanesi Restorasyon Uygulaması Üzerine Bir Değerlendirme*, **Yüksek Lisans Tezi**, İstanbul: Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Oflaz, U. (2013, 04 05). *Deprem yalıtımı-Sismik izalatörler*, 05 12, 2018 tarihinde Uğur Oflaz-Retrofitting, Earthquake Engineering-Yapı Güçlendirme, Deprem Mühendisliği, Deprem Risk Analizleri: <http://www.uguroflaz.com.tr/597.html> adresinden alındı
- Oğuz, C. (2013). *Myra Ve Limanı Andriake'de Kullanılan Özgün Malzeme Özelliklerinin Araştırılması*, **Doktora Tezi**, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Orhan, S. N., Özyazıcıoğlu, M. H. (2015). *Tek Açıklıklı Dairesel Kagir Kemer Köprülerin Göçme Yüklerinin Limit Analiz Yöntemleri İle Hesaplanması*, **Pamukkale Univ Muh Bilim Derg.**, , 21(3), 88-93.
- Örmecioğlu, H. T. (2010). *Tarihi Yapıların Yapısal Güçlendirilmesinde Ana İlkeler ve Yaklaşımlar*, **Polietnik Dergisi**, 233-237.

- Özden, Ş., Ertaş, O., İmren, Ö., Hacıemrioğlu, M. (2015). *Tarihi L'union Han'ın Depreme Karşı Güçlendirilmesi*, (s. 227-238). **5.Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu.**
- Özden, Ş., Ertaş, O., İmren, Ö., Hacıemrioğlu, M. (2015). *Tarihi Tokat Yazmacılar Han'ın Depreme Karşı Güçlendirilmesi*, (s. 169-183). **5.Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu.**
- Özen, G. Ö. (2006). *Comparison of Elastic and Inelastic Behavior of Historic Masonry Structures at The Low Load Levels*, **Master of Science Thesis**, Middle East Technical University, Institute of Science and Technology.
- Özkaya, S. G., Kazaz, İ., Okuyucu, D. (2015). *Kemerli Yiğma Köprüünün Sismik Davranışının Sonlu Elemanlar Yöntemiyle İncelenmesi*, (s. 43-57). **5.Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu.**
- Özkul, M. (2016). *Tarihi Bir Yapının Deneysel Modal Analiz il Yapısal Güvenliğinin Belirlenmesi*, **Yüksek Lisans Tezi**, İzmir Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Özpalanlar, C. G. (2004). *Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Sismik İzolasyon ve Enerji Sönümyici Sistemler*, **Yüksek Lisans Tezi**, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Pergel, Ş. (2013). *Tarihsel Yapılarda Onarım-Güçlendirme Çalışmaları ve Amasya Taşhan Örneği*, **Yüksek Lisans Tezi**, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ramos, L. F., Laurenço, P. (2004). *Modeling and Vulnerability of Historical City Centers in Seismic Areas: A Case Study in Lisbon*, **Engineering Structures**, 26(9), 1295-1310.
- Saraç, M. M. (2003). *Tarihi Yiğma Kargir Yapıların Güçlendirilmesi*, **Yüksek Lisans Tezi**, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Sayın, E., Karaton, M., Yön, B., Calayır, Y. (2011). *Tarihi Uzunok Köprüsünün Yapı Zemin Etkileşimi Dikkate Alınarak Doğrusal Olmayan Analizi*, (s. 1-8). **Ankara: 1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı.**
- Selahiye, A., Aydınoglu M., N., Erdik, M. (1995). *Süleymaniye Camii'nin Dinamik Özelliklerinin Deneysel ve Analitik Yöntemlerle Belirlenmesi*, **İstanbul: Üçüncü Ulusal deprem Mühendisliği Konferansı.**

- Serhatoğlu, C., Livaoğlu, R. (2015). *Tairihi Molla Arap Cami Minaresinin Dinamik Karekteristikleri ve Deprem Analizi*, **5.Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu**, (s. 239-249). Bursa.
- Sesigür, H., elik, O., ılı, F. (2007). *Tarihi Yapılarda Taşıyıcı Bileşenler, Hasar Biçimleri, Onarım ve Glendirme*, **İstanbul Yapı Dergisi**, 303, 10-21.
- Smirnov, V., Eisenberg, J., Vasıl'eva, A. (2004). *Seismic Isolation of Buildings and Historical Monuments. Recent Developments in Russia*, **13th World Conference on Earthquake Engineering**, Canada.
- Soyluk, A. (2010). *Sismik Taban İzolatörü Kulanımının Mimari Tasarıma Etkisi*, **Doktora Tezi**, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Şeker, B. S., akır, F., Doğangün, A., Uysal, H. (2014). *Investigation of a Masonry Domed Mosque by Experimental Tests and Numerical Analyses*, **Earthquakes and Structures**, 335-350.
- Şeker, B. Ş. (2011). *Mimar Sinan Camilerinin Statik ve Dinamik Yükler Etkisinde Davranışlarının İncelenmesi*, **Doktora Tezi**, Karadeniz Teknik Üniversitesi.
- Şeker, B. Ş., akır, F., Doğangün, A., Durmuş, A. (2015). *Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Tarihi Erzurum Lala Paşa Cami'nin Yapısal Davranışının İncelenmesi*, **Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi**, 21(3), 82-87.
- Şimşek, E. (2010). *Kabuk Elemanlar Kullanılarak Modellenen elik ereve Sistemlerin Dinamik Davranışının İncelenmesi*, **Yüksek Lisans Tezi**, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karadeniz Teknik Üniversitesi.
- TC Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü. (2005). *Bayburt Doğal Taş Potansiyeli Maden Jeolojisi Raporu*.
- Tetik, T. (2015). *Tarihi Yığma Yapıların Deprem Performansı ve Glendirme Teknikleri*, **Yüksek Lisans Tezi**, İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Deprem Mühendisliği ve Afet Yönetimi Enstitüsü.
- Türker, B. (2010). *Tarihi Yığma Yapıların Yapısal Davranışının Araştırılması*, **Yüksek Lisans Tezi**, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Uğuz, S. (2016). *Tarihi Yığma Bir Binanın Deprem Güvenlik Analizi: Tarihi Konya-Gazi Lisesi (Darü'l Muallim) rneği*, **Yüksek Lisans Tezi**, Konya Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Uniform Building Code (UBC 97)*, (1997).

- Ural, A. (2005). *Tarihi Kemer Köprülerin Sonlu Elemanlar Metoduyla Analizi, Deprem Sempozyumu*, (s. 408-413). Kocaeli.
- Utkan, U. (2014). *Tarihi Yapılarda Karşılaşılan Geoteknik Problemler ve Uygulanan Zemin İyileştirme Yöntemleri, Yüksek Lisans Tezi*, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Uzun, B. (2014). *Tra1 Düzey 2 Bölgesi Doğaltaş ve Maden Potansiyeli Bilgi Notu, Kuzeydoğu Anadolu Kalkınma Ajansı*.
- Yadollahi, M. M., Benli, A. (2015). *Türkiye'de Tarihi Yığma Yapıların Lineer Olmayan Sismik Analiz İhtiyacı*, (s. 135-144). **5.Tarihi Eselerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu**.
- Yavuzer, M. N. (2016). *Zal Mahmut Paşa Camii Yapısal Davranışı ve Geçmiş Hasarların İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yazıcı, B. B. (2015). *Sivas Divriği Ulu Camii ve Darüşşifası Matematik Modellemesi ve Sonuçların Değerlendirilmesi*, (s. 27-41). **5.Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu**.
- Yılmaz, B. (2016). *Tarihi Köprülerin Yapısal Davranışına Kemer Geometrisinin Etkisi, Yüksek Lisans Tezi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.



ÖZGEÇMİŞ

Keziban ÇOBAN

1992 yılında Ağrı 'da doğdu. İlk ve ortaokulu Ağrı 'da okudu. 2011 yılında Ağrı Naci Gökçe Lisesi 'nden mezun olduktan sonra Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik İnşaat Mühendisliği Bölümü 'nü kazandı ve 2013 yılında Bayburt Üniversitesi'ne yatay geçiş yaparak 2015 yılında mezun oldu.

2016 yılında Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği - Yapı Anabilim Dalı 'nda yüksek lisansa başladı. 2018 yılında ise, Bayburt Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından “ Tarihi Bayburt Yeni (Yakutiye) Camii 'nin Dinamik Performans Analizi, Geoteknik Özelliklerinin Belirlenmesi ve Sismik İzolasyon Sistemi İle Güçlendirilmesinin Araştırılması “ adlı çalışması desteklenmiş, ayrıca bir uluslararası makale ve bir de ulusal bildiri hazırlamıştır.