T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MEVCUT BİR YIĞMA YAPININ SİSMİK PERFORMANSININ BELİRLENMESİ VE GÜÇLENDİRME YÖNTEMİ

Betül ERTEKİN

DANIŞMAN
Doç. Dr. Barış SAYIN

II. DANIŞMAN
Dr. Barış GÜNEŞ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İnşaat Mühendisliği Programı

İSTANBUL- 2020

Bu çalışma, 29.04.2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İnşaat Mühendisliği Programında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Doç. Dr. Barış SAYIN(Danışman)
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr. Mücteba UYSAL
Yıldız Teknik Üniversitesi
İnşaat Fakültesi

Doç. Dr. Turgay ÇOŞGUN
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

20.04.2016 tarihli Resmi Gazete'de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa'nın abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

ÖNSÖZ

Tez çalışmam boyunca her zaman yanımda duran, hiçbir maddi ve manevi desteği esirgemeyen ve bu zorlu süreçte büyük sabır gösteren annem Asiye ERTEKİN'e, babam Metin ERTEKİN'e, kardeşlerim Buse ERTEKİN'e ve Beren ERTEKİN'e sonsuz teşekkürlerimi, saygılarımı ve sevgilerimi sunuyorum. Bu tezi canımdan çok sevdiğim aileme armağan ediyorum.

Tez çalışmam süresince maddi ve manevi çok büyük emeği geçen, teknik desteğini hiç esirgemeyen değerli arkadaşım Osman TÜRKER'e minnetlerimi, saygılarımı ve sevgilerimi sunarım.

Bu zorlu süreçte her zaman yanımda olan ve değerli bilgi birikimini hiçbir zaman esirgemeyen, tez çalışmam boyunca bana yol gösteren ve değerli emeklerini üzerimde ilmek ilmek işleyen saygıdeğer hocalarım Doç. Dr. Barış SAYIN'a ve Dr. Barış GÜNEŞ'e sonsuz teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Tez çalışmam boyunca değerli bilgi birikimlerini benden esirgemeyen ve çalışmam konusunda yol gösterici bilgiler sunan Dr. Öğr. Üyesi Atakan MANGIR'a, Vefa OKUMUŞ'a, Hicret PEKTAŞ'a, Ümit HAFO'ya teşekkürü borç bilirim.

Tezimin geliştirilmesine yardımcı olan, maddi ve manevi destekleri ile yanımda olan değerli Ali Orhan ONUR'a, Hakan DERELİ'ye ve Murat YILDIRIM'a teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Çalışmam boyunca yardımlarını esirgemeyen arkadaşlarım Kaan İlker DEMİREZEN'e, Oğuz UZDİL'e, Burçin SUNAR'a, Nurdan ÖZNAM'a, Merve URAL ÇAĞLAYAN'a ve Büşra AKBABA'ya en içten duygularımla teşekkürlerimi sunuyorum.

Nisan 2020 Betül ERTEKİN

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ ..... **iv**
İÇİNDEKİLER ..... **v**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **viii**
TABLO LİSTESİ ..... **xiii**
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ ..... **xv**
ÖZET ..... **xviii**
SUMMARY ..... **xx**
1. GİRİŞ **1**
1.1 KONU 1
1.2 ÇALIŞMANIN AMACI VE KAPSAMI 3
2. GENEL KISIMLAR **5**
2.1 YIĞMA YAPILAR 5
2.2 YIĞMA YAPI HASARLARI 11
2.2.1 Hasar Türleri 12
2.2.1.1 Düşey Yüklere Bağlı Hasarlar *12*
2.2.1.2 Oturmalara Bağlı Hasarlar *12*
2.2.1.3 Ağırlık ve Rijitlik Merkezine Bağlı Hasarlar *13*
2.2.1.4 Deprem Yüklerine Bağlı Hasarları *14*
2.2.2 Mevcut Yığma Yapılarla İlgili Yapılan Çalışmalar 16
2.2.3 Lokal Göçme Davranışı (Kinematik Limit Analiz) 21
2.2.4 Kinematik Limit Analiz İle İlgili Yapılan Çalışmalar 23
2.3 YIĞMA YAPILARDA GÜÇLENDİRME YÖNTEMLERİ 26
2.3.1 Ferrocement İle Güçlendirme 27
2.3.2 Çelik Hasır, Donatı ve Püskürtme Betonla Güçlendirme 28
2.3.3 Harç ve Epoksi Enjeksiyonu 30
2.3.4 FRP (Fibre-Reinforced Polymer/Fiber Takviyeli Polimer) Kullanımı 31
2.3.5 Güçlendirme İle İlgili Yapılan Çalışmalar 33
3. MALZEME VE YÖNTEM **36**
3.1 TEZ KONUSU YAPININ TANIMLANMASI 36
3.1.1 Bodrum Kat 40

3.1.2 Zemin Kat 42
3.1.3 1.Normal Kat 44
3.1.4 2.Normal Kat 46
3.1.5 3.Normal Kat 47
3.1.6 4.Normal Kat 49
3.1.7 5.Normal Kat 50
3.1.8 Yığma Elemanlarda Malzeme Tespitleri 52
3.1.9 Hasar Tespitleri 53
3.2 YIĞMA YAPILARLA İLGİLİ YÖNETMELİK VE KILAVUZLAR 55
3.2.1 Zemin ve Deprem Parametreleri 55
3.2.1.1 Yerel Zemin Sınıfları 55
3.2.1.2 Deprem Yer Hareketi Düzeyleri 55
3.2.1.3 Yerel Zemin Etki Katsayıları (F_s ve F_1) 56
3.2.1.4 Spektral İvme Katsayıları ve Yatay Elastik İvme Spektrumu 58
3.2.2 Yapısal Parametreler 59
3.2.2.1 Bina Kullanım Sınıfı ve Bina Önem Katsayıları (BKS ve I) 59
3.2.2.2 Hareketli Yük Katılım Katsayısı (n) 60
3.2.2.3 Deprem Tasarım Sınıfı (DTS) 60
3.2.2.4 Bina Yükseklik Sınıfı (BYS) 60
3.2.3 Malzeme Parametreleri 61
3.2.3.1 Malzeme Uygunluğu ve Gruplandırılması 61
3.2.3.2 Duvarların Karakteristik Basınç Dayanımı 62
3.2.3.3 Elastisite Modülü ve Kayma Modülü 62
3.2.4 Mevcut Yapının TBDY (2018)'ne Göre Tahkikleri 63
3.2.4.1 Yığma Duvarların Basınç Tahkikleri, TBDY (2018) - Madde 11.4.1 63
3.2.4.2 Narinlik Oranlarının Hesaplanması, TBDY (2018) - Madde 11.4.2 63
3.2.4.3 Kesme Kuvvetleri Etkisindeki Yığma Duvarlarda Uygulanacak Geometrik Şartlar, TBDY (2018) - Madde 11.5.1 63
3.2.4.4 Taşıyıcı Duvarların En Büyük Desteklenmemiş Uzunluğu, TBDY (2018) - Madde 11.5.2 64
3.2.4.5 Taşıyıcı Duvar Boşlukları, TBDY (2018) - Madde 11.5.3 64
3.2.5 Yapısal Güvenlik ve Performans Düzeyleri 65
3.3 YAPININ MEVCUT DURUMUNUN ANALİZLERİ 68
3.3.1 Sonlu Eleman Modeli 68
3.3.2 Doğrusal Analiz 74

3.3.2.1 Düşey Yükler *75*
3.3.2.2 Yatay Deprem İvme Spektrumu *76*
3.3.3 Doğrusal Olmayan Analiz 76
3.3.4 Kinematik Analiz 79
3.3.4.1 Ön Cephe Duvarı-1 ..... *80*
3.3.4.2 Ön Cephe Duvarı-2 ..... *81*
3.3.4.3 Yan Cephe Duvarı *82*
3.4 YAPININ GÜÇLENDİRİLMİŞ DURUMUNUN ANALİZİ 82
3.4.1 Güçlendirme Projesinin İncelenmesi 82
3.4.1.1 Güçlendirilmiş Binanın Yapısal Parametreleri *89*
3.4.1.2 Malzeme ve Dayanım Kontrolü *91*
3.4.2 Doğrusal Analiz 93
3.4.2.1 Düşey Yükler *96*
3.4.2.2 Yatay Deprem İvme Spektrumu *96*
3.4.3 Kinematik Analiz 97
4. BULGULAR 98
4.1 MEVCUT DURUM ANALİZ SONUÇLARI 98
4.1.1 Doğrusal Analiz Sonuçları 98
4.1.1.1 Örnek Bir Yığma Duvar Eksenel Kuvvet Tahkiki *102*
4.1.1.2 Örnek Bir Yığma Duvar Kesme Kuvveti Tahkiki *103*
4.1.2 Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçları 107
4.1.3 Kinematik Analiz Sonuçları 110
4.1.3.1 Ön Cephe Duvarı-1 ..... *110*
4.1.3.2 Ön Cephe Duvarı-2 ..... *111*
4.1.3.3 Yan Cephe Duvarı *114*
4.2 GÜÇLENDİRİLMİŞ DURUM ANALİZ SONUÇLARI 117
4.1.2 Doğrusal Analiz Sonuçları 117
4.3 KARŞILAŞTIRMALAR 123
5. TARTIŞMA VE SONUÇ 126
KAYNAKLAR 128
ÖZGEÇMİŞ 132

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: İstanbul Üniversitesi Rektörlük Binası (Fotoğraf: Oğuz Uzdil).....5

Şekil 2.2: Tipik taş duvar (Yorulmaz ve diğ., 1984).....6

Şekil 2.3: Bağ kirişlerinin yerleşimi (Yorulmaz ve diğ., 1984).....7

Şekil 2.4: Yığma yapıda yatay ve düşey donatılar (Yorulmaz ve diğ., 1984). 7

Şekil 2.5: Ayasofya, İstanbul, 6.yy (Alamy, 2019).....8

Şekil 2.6: Malabadi Köprüsü, Diyarbakır, 12. yy (Türkiye Kültür Portalı, 2019).....8

Şekil 2.7: Deyrulzafaran Manastırı, Mardin, 5.yy (Türkiye Kültür Portalı, 2019).....9

Şekil 2.8: Bozdoğan Kemeri, İstanbul, 4.yy (Türkiye Kültür Portalı, 2019).....9

Şekil 2.9: Düşey yük sonucu taşıyıcı elemanda oluşan çatlaklar (TYDRYK, 2017). 12

Şekil 2.10: Oturmalar sonucu yığma elemanlarda oluşan hasarlar. 13

Şekil 2.11: Yığma yapı plan örnekleri (Özsaraç, 2008).....14

Şekil 2.12: Duvar düzlemi doğrultusunda oluşan çatlaklar. 15

Şekil 2.13: Duvarın düzlem dışı hareketi ve oluşan hasar. 15

Şekil 2.14: Volta döşeme deney düzenekleri (Maheri ve diğ., 2012).....16

Şekil 2.15: Düzlem dışı yüklenen duvarın kırılma deseni (Atımtay ve diğ., 2005).....17

Şekil 2.16: Amerikan Kız Yatılı Okulu nümerik modellemesi (Özdemir ve diğ., 2017). 18

Şekil 2.17: Dört farklı modelde gerilme dağılım şekilleri (Ural ve Doğangün, 2007). 18

Şekil 2.18: Çeşitli mekanizma durumları.....21

Şekil 2.19: Çok katlı bir binanın dış duvarında göçme mekanizması kuvvetleri (TYDRYK, 2017).....22

Şekil 2.20: a)Statik analizde yapıda oluşan düşey gerilmeler b) Pushover analizde (+X) yönünde deplasman c) Pushover analizde (+Y) yönünde (Betti ve Galano, 2012).....24

Şekil 2.21: Mesnetlenme ve yükleme durumları a) A duvarı, b) B duvarı, c) C duvarı (Zuccarello ve diğ., 2009). 25

Şekil 2.22: Limit göçme mekanizması ve deprem sonrası gerçekleşen göçme (Milani ve diğ., 2018).....26

Şekil 2.23: Ferrocement donatı örneği (ElGawady ve diğ., 2004). 27

Şekil 2.24: Hasır çelik ve püskürtme beton uygulaması a) Tek taraflı, b) Çift taraflı. (Bayülke,1992), (Özsaraç, 2008).....29

Şekil 2.25: Püskürtme beton uygulaması (Abrams ve diğ., 2001).....29

Şekil 2.26: Çimento enjeksiyonu uygulaması (Akcay ve diğ.,2016).....30

Şekil 2.27: Enjeksiyon cihazı ve uygulaması (TYDRYK, 2017). 31

Şekil 2.28: Yığma taşıyıcı duvarda FRP uygulaması (Sayın ve diğ., 2011).....32

Şekil 2.29: Test yığma duvarın yükleme sonucu kırılma şekli (Witzany ve diğ., 2016). 33

Şekil 2.30: İlgili yapıdan güçlendirme uygulamaları (Akcay ve diğ., 2016).....34

Şekil 2.31: İlgili yapıda volta döşeme güçlendirmesi (Sayın ve diğ., 2011). 35

Şekil 3.1: İncelenen binanın genel görünümü.....36

Şekil 3.2: İnceleme konusu binanın konumu ve uydu görünümü.....37

Şekil 3.3: İncelenen yapının en yakın aktif faya uzaklığı (AFAD, 2019).....38

Şekil 3.4: Vaziyet planı. 39

Şekil 3.5: Yapının bulunduğu sokağın silueti. 39

Şekil 3.6: Yapının bodrum katından görünüşler. 40

Şekil 3.7: Bodrum kat mimari rölöve planı.....41

Şekil 3.8: Yapının zemin katından görünüşler.....42

Şekil 3.9: Zemin kat mimari rölöve planı. 43

Şekil 3.10: Yapının 1. normal katından görünüşler. 44

Şekil 3.11: 1. Normal kat mimari rölöve planı.....45

Şekil 3.12: Yapının 2. normal katından görünüşler. 46

Şekil 3.13: 2. Normal kat mimari rölöve planı.....47

Şekil 3.14: Yapının 3. normal katından görünüşler. 48

Şekil 3.15: 3. Normal kat mimari rölöve planı.....48

Şekil 3.16: Yapının 4. normal katından görünüşler. 49

Şekil 3.17: 4. Normal kat mimari rölöve planı.....50

Şekil 3.18: Yapının 5. normal katından görünüşler. 51

Şekil 3.19: 5. Normal kat mimari rölöve planı.....52

Şekil 3.20: Yığma taşıyıcı eleman tespit çalışmaları. 53

Şekil 3.21: Yapıdaki mevcut hasarlardan örnekler. 54

Şekil 3.22: Deprem yer hareketi düzeyleri (TBDY, 2018). 56

Şekil 3.23: Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması (AFAD, 2019).....57

Şekil 3.24: Spektral ivme katsayıları ve yatay elastik ivme spektrumu.....58

Şekil 3.25: Taşıyıcı duvarlardaki mesnetlenmemiş duvar uzunluğu koşulları (TBDY, 2018).....64

Şekil 3.26: Taşıyıcı duvarlardaki pencere ve kapı boşluğu koşulları (TBDY, 2018). 65

Şekil 3.27: Kesit hasar bölgeleri (TDBY, 2018).....66

Şekil 3.28: Statik itme eğrisi ve sınır durumları (TYDRYK, 2017). 68

Şekil 3.29: Farklı malzeme türleri (Celep, 2016).....69

Şekil 3.30: Sonlu eleman türleri (Celep, 2016).....69

Şekil 3.31: Yapının 3 boyutlu sonlu elemanlar modeli.....70

Şekil 3.32: Bodrum katta taşıyıcı yığma duvarlar ve volta döşeme görünüşü.....70

Şekil 3.33: Malzeme parametreleri a) Yığma birim, b) Betonarme kiriş, c) Çelik volta kirişleri, d) Betonarme kolon.....72

Şekil 3.34: Mevcut taşıyıcı elemanların kesit özelliklerinin tanımlanması. 73

Şekil 3.35: Mevcut model normal katlarında volta kirişlerdeki sabit yük (üst), hareketli yük (alt). 75

Şekil 3.36: Mevcut yapı için yatay deprem etkisi altında azaltılmış tasarım ivme spektrumu. 76

Şekil 3.37: Yığma eleman plastik malzeme özellikleri.....77

Şekil 3.38: Beton plastik malzeme özellikleri.....77

Şekil 3.39: Malzeme özellikleri a)Yığma birim b)Betonarme kolon c) Betonarme kiriş d) Çelik volta kirişleri.....78

Şekil 3.40: Kontrol noktaları a) Pushover+X, b) Pushover +Y. 79

Şekil 3.41: Göçme mekanizmaları a) Devrilme b) Düşey eğilme c) yanal eğilme (Güneş, 2019).....80

Şekil 3.42: Binanın ön cephe cumba duvarı. 81

Şekil 3.43: Binanın ön cephe duvarı. 81

Şekil 3.44: Yan cephe duvarı. 82

Şekil 3.45: Püskürtme beton uygulama planı.....84

Şekil 3.46: Donatılı püskürtme beton ve ankraj uygulama görünüşü. 85

Şekil 3.47: Çelik taşıyıcı sistem uygulama planı. 86

Şekil 3.48: Yapının çelik güçlendirme modelinde malzeme bilgileri.....87

Şekil 3.49: Yapının çelik güçlendirme modelinde kesit bilgileri.....87

Şekil 3.50: İncelenen yapının sonlu eleman modeli a) mevcut durum b) güçlendirilmiş durum.....88

Şekil 3.51: a) Eklenen çelik çerçeve sistem b) Donatılı püskürtme beton kaplaması.....88

Şekil 3.52: Yapının 3 boyutlu sonlu elemanlar statik analiz modeli. 95

Şekil 3.53: Güçlendirilmiş model normal katlarında volta kirişlerdeki sabit yük(üst), hareketli yük(alt). 96

Şekil 3.54: Güçlendirilmiş yapı için yatay deprem etkisi altında azaltılmış tasarım ivme spektrumu. 97

Şekil 4.1: Mevcut durumun modal analizinde binanın ilk üç modu (sn). 98

Şekil 4.2: Yapının x (üst) ve y (alt) yönü deprem yükü altında yatay yer değiştirmeleri.....99

Şekil 4.3: Lineer analiz göreli kat ötelemeleri. 100

Şekil 4.4: Yığma duvarlarda x (üst) ve y (alt) yönü deprem etkileri altında kesme kuvvetleri.....101

Şekil 4.5: Yığma duvarlarda x ve y yönü deprem etkileri altında oluşan eksenel kuvvetler.....102

Şekil 4.6: Yığma duvarların kesme kuvvetleri altında etki/kapasite oranları. 104

Şekil 4.7: Yığma duvarların depremsiz (üst) ve depremli (alt) durumda eksenel kuvvet etki/kapasite oranları. 105

Şekil 4.8: Yatay deplasmanlar: a) Pushover +X, b) Pushover +Y. 107

Şekil 4.9: Göreli kat ötelemeleri. 108

Şekil 4.10: Kontrol noktasındaki farklı deplasmanlarda ön cephe gerilme dağılımı ve hasar durumu. 108

Şekil 4.11: Taban kesme kuvveti- Kontrol noktası deplasmanı eğrileri a) Pushover+X, b) Pushover+Y. 109

Şekil 4.12: Düzlem dışı devrilme göçme mekanizması. 110

Şekil 4.13: Düzlem dışı düşey eğilme göçme mekanizması. 110

Şekil 4.14: Düzlem dışı yanal eğilme göçme mekanizması. 111

Şekil 4.15: Düzlem dışı devrilme göçme mekanizması. 112

Şekil 4.16: Düzlem dışı düşey eğilme göçme mekanizması. 112

Şekil 4.17: Düzlem dışı yanal eğilme göçme mekanizması. 113

Şekil 4.18: Düzlem dışı devrilme göçme mekanizması. 114

Şekil 4.19: Düzlem dışı düşey eğilme göçme mekanizması. 115

Şekil 4.20: Düzlem dışı yanal eğilme göçme mekanizması. 115

Şekil 4.21: Güçlendirilmiş durumun modal analizinde binanın ilk üç modu (sn). 117

Şekil 4.22: Yapının x (üst) ve y (alt) yönü deprem etkileri altında yatay yer değiştirmeleri. 118

Şekil 4.23: Yığma duvarlarda x ve y yönü deprem etkileri altında kesme kuvvetleri. 119

Şekil 4.24: Yığma duvarlarda x ve y yönü deprem etkileri altında eksenel kuvvetler. 120

Şekil 4.25: Donatılı püskürtme betondaki x ve y yönü deprem etkileri altında kesme kuvvetleri. 120

Şekil 4.26: Donatılı püskürtme betondaki x ve y yönü deprem etkileri altında eksenel kuvvetler. 121

Şekil 4.27: X ve Y deprem doğrultuları altında yapı yer değiştirmeleri. 121

Şekil 4.28: Yapı etki kapasite oranları. 122

Şekil 4.29: Mevcut yapı lineer-nonlineer analiz göreli kat ötelemeleri karşılaştırması. 124

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1: Yığma yapılarda çatlak düzeyleri (Bayülke, 1999).....11

Tablo 3.1: Zemin ve deprem parametreleri. 55

Tablo 3.2: Yerel zemin sınıfları (TBDY, 2018). 55

Tablo 3.3: Yerel zemin etki katsayıları (TBDY, 2018). 58

Tablo 3.4: Analiz parametreleri. 59

Tablo 3.5: Bina kullanım sınıfları ve bina önem katsayıları (TBDY, 2018). 59

Tablo 3.6: Hareketli yük kütle katılım katsayısı (TBDY, 2018). 60

Tablo 3.7: Deprem tasarım sınıfları (DTS) (TBDY, 2018). 60

Tablo 3.8: Bina yükseklik sınıfları ve deprem tasarım sınıflarına göre tanımlanan bina yükseklik aralıkları (TBDY, 2018).....61

Tablo 3.9: Kargir birimlerin delik oranlarına göre gruplandırılması (TBDY, 2018). 61

Tablo 3.10: Yığma taşıyıcı duvarların karakteristik basınç dayanımı, f_k (MPa) (TBDY, 2018).....62

Tablo 3.11: Kesme kuvveti etkisinde yığma duvarlarda uygulanacak geometrik şartlar (TBDY, 2018).....64

Tablo 3.12: Önerilen performans düzeyleri (TYDRYK, 2017). 68

Tablo 3.13: Yığma duvarların lineer analizde kullanılan malzeme dayanım değerleri. 71

Tablo 3.14: Bina taşıyıcı sistemleri için taşıyıcı sistem davranış katsayısı, dayanım fazlalığı katsayısı ve izin verilen bina yükseklik sınıfları (TBDY, 2018). 74

Tablo 3.15: Analiz parametreleri. 89

Tablo 3.16: Bina kullanım sınıfları ve bina önem katsayıları (TBDY, 2018). 89

Tablo 3.17: Hareketli yük kütle katılım katsayısı (TBDY, 2018). 90

Tablo 3.18: Deprem tasarım sınıfları (DTS) (TBDY, 2018). 90

Tablo 3.19: Bina yükseklik sınıfları ve deprem tasarım sınıflarına göre tanımlanan bina yükseklik aralıkları (TBDY, 2018).....91

Tablo 3.20: Yığma duvarlar için analizde kullanılan malzeme dayanım değerleri. 91

Tablo 3.21: Kargir birimlerin delik oranlarına göre gruplandırılması (TBDY, 2018). 92

Tablo 3.22: Yığma taşıyıcı duvarların karakteristik basınç dayanımı, f_k (MPa) (TBDY, 2018). 92

Tablo 3.23: Duvarların başlangıç kesme dayanımları, f_{vko} (MPa) (TBDY, 2018). 93

Tablo 3.24: Bina taşıyıcı sistemleri için taşıyıcı sistem davranış katsayısı, dayanım fazlalığı katsayısı ve izin verilen bina yükseklik sınıfları (TBDY, 2018). 94

Tablo 4.1: Yapının x ve y yönü deprem etkileri altında taban kesme kuvvetleri. 100

Tablo 4.2: Performans analizi sonuçları özet tablosu. 106

Tablo 4.3: Düzlem dışı devrilme göçme mekanizması için yapılan kontroller. 110

Tablo 4.4: Düzlem dışı düşey eğilme göçme mekanizması için yapılan kontroller. 111

Tablo 4.5: Düzlem dışı yanal eğilme göçme mekanizması için yapılan kontroller. 111

Tablo 4.6: Düzlem dışı devrilme göçme mekanizması için yapılan kontroller. 112

Tablo 4.7: Düzlem dışı düşey eğilme göçme mekanizması için yapılan kontroller. 113

Tablo 4.8: Düzlem dışı yanal eğilme göçme mekanizması için yapılan kontroller. 113

Tablo 4.9: Düzlem dışı devrilme göçme mekanizması için yapılan kontroller. 114

Tablo 4.10: Düzlem dışı düşey eğilme göçme mekanizması için yapılan kontroller. 115

Tablo 4.11: Düzlem dışı yanal eğilme göçme mekanizması için yapılan kontroller. 116

Tablo 4.12: Güçlendirilmiş yapının x ve y yönü deprem etkileri altında taban kesme kuvvetleri. 119

Tablo 4.13: Mevcut ve güçlendirilmiş yapı periyotları. 123

Tablo 4.14: Mevcut ve güçlendirilmiş yapı ağırlığı. 123

Tablo 4.15: Mevcut ve güçlendirilmiş yapı taban kesme kuvvetleri. 123

Tablo 4.16: Mevcut ve güçlendirilmiş yapı maksimum yatay yer değiştirme. 124

Tablo 4.17: Mevcut ve güçlendirilmiş durumda yığma duvar ve donatılı püskürtme beton üzerine gelen kesme kuvvetleri. 125

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler **Açıklama**

a_g : Deprem tehlike haritasında tanımlanan en büyük yer ivmesi [g]

A : Dolu duvar biriminin yatay en kesit alanı [m^2]

BKS : Bina kullanım sınıfı

BYS : Bina yükseklik sınıfı

D : Dayanım fazlalığı katsayısı

DD-2 : 50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi

DTS : Deprem tasarım sınıfı

e* : Kütle katılım oranı

E_{duv} : Duvar elastisite modülü [MPa]

E_x : x doğrultusundaki deprem yükü [kN]

E_y : y doğrultusundaki deprem yükü [kN]

f_b : Kargir birim basınç dayanımı [MPa]

$f_{bh,min}$: Kargir birimin yatay derzlere paralel doğrultuda minimum basınç dayanımı [MPa]

f_d : Yığma duvar tasarım basınç dayanımı [MPa]

f_k : Yığma duvar karakteristik basınç dayanımı [MPa]

f_m : Harcın ortalama basınç dayanımı [MPa]

$f_{m,min}$: Harcın minimum basınç dayanımı [MPa]

f_{vko} : Duvar başlangıç kesme dayanımı [MPa]

f_t : Duvar kesme dayanımı [MPa]

F_S : Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı

F_1 : 1.0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayısı

g : Yerçekimi ivmesi [m/s^2]

G : Sabit yük etkisi [kN/m2]

G_{duv} : Duvar kayma modulü [MPa]

h_{ef} : Duvarın etkin yüksekliği [m]

H : Duvarın temel seviyesinden yüksekliği [m]

I : Bina Önem Katsayısı

l_c : Duvarın basınca çalışan kısmının boyu [m]

M* : Etkin modal kütle [kNs^2/m]

n : Hareketli yük azaltma katsayısı

N : Toplam kat sayısı

N_{Ed} : Yığma duvara düşey doğrultuda etkiyen tasarım kuvveti [kN]

N_{Rd} : Hesaplanan eksenel kuvvet kapasitesi [kN]

P_i : i. kattan yığma duvara gelen yük [kN]

Q : Hareketli yük etkisi [kN/m^2]

R : Taşıyıcı sistem davranış katsayısı

$R_a(T)$: Deprem yükü azaltma katsayısı

$S_{ae}(T)$: Yatay tasarım elastik spektral ivmesi [g]

S_{DS} : Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı

S_{D1} : 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı

S_S : Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı

S_1 : 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı

$S(T_1)$: Spektrum katsayısı

t : Spektrum katsayısı

T_1 : Yapının birinci mod periyodu

V_{Ed} : Yük katsayıları ile çarpılmış düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanan duvar kesme kuvveti

V_{Rd} : Duvar tasarım kesme kuvveti dayanımı

$V_{s(30)}$: Ortalama kayma dalgası hızı [m/s]

W_i : i.kat yığma duvar ağırlığı [kN]

z : Duvarın taban seviyesinin temel seviyesine göre yüksekliği [m]

α : Kargir birim delik oranı

α_0 : Kinematik analiz yük çarpanı

α_o* : Göçme mekanizmasını oluşturan spektrali ivme değeri [g]

δ_{xi} : i.katta x yönündeki yer değiştirme [m]

δ_{yi} : i.katta y yönündeki yer değiştirme [m]

γ_m : Yığma malzeme dayanım azaltma katsayısı

Γ : Modal katkı çarpanı

λ : Narinlik ile ilgili kapasite azaltma katsayısı

Kısaltmalar **Açıklama**

CFRP : Karbon Fiber Takviyeli Polimer
FRP : Fiber Takviyeli Polimer
TBDY : Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
TYDRYK : Tarihi Yapılar İçin Deprem Risklerinin Yönetimi Kılavuzu
TRC : Tekstil Takviyeli Beton
URM : Donatısız Yığma Duvar

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MEVCUT BİR YIĞMA YAPININ SİSMİK PERFORMANSININ BELİRLENMESİ ve GÜÇLENDİRME YÖNTEMİ

Betül ERTEKİN

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Barış SAYIN

II. Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Barış GÜNEŞ

Türkiye'de tarihi yapıların büyük bir oranı, yığma türü taşıyıcı sisteme sahiptir. Yığma yapılar düzlem içi davranışta dayanıma sahip olmasına karşın düzlem dışı davranışta zayıf olmaları, çok ağır olmaları ve deprem gibi dinamik ve yatay yüklere dayanımlarının az olması nedeniyle genellikle depreme dayanıklı yapı olarak nitelendirilmezler. Ancak tarihi mirasın korunması sebebiyle, bu yapıların elden geldiğince, depremlerdeki davranışlarının bilinmesi ve deprem dayanımlarının arttırılması gerekmektedir. Yığma yapılarda duvarların büyük bir kısmı taşıyıcı olduğu için duvarlardaki her türlü hasar doğrudan taşıyıcı sistemi etkilemektedir. Bu doğrultuda sunulan çalışmada mevcut yığma yapıların sismik performansının nümerik analiz kapsamında belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında, öncelikle konuyla ilgili kapsamlı literatür araştırması yapılmış, inceleme konusu olarak seçilen yedi katlı yığma taşıyıcı sisteme sahip mevcut bir yapının sismik performansının değerlendirilmesi için doğrusal analiz, nonlineer analiz ve kinematik limit analizler gerçekleştirilmiştir. Nümerik analizler için sonlu eleman programı olan MidasGen ve ProCİNEM yazılımları kullanılmıştır. Çalışma sonucunda

inceleme konusu yığma binanın taşıyıcı elemanlarının yatay ve düşey yüklere karşı yeterli kapasiteye sahip olmadığı ve yapının göçme durumu performans seviyesinde olduğu tespit edilmiştir. Yapı, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'de istenen koşulları sağlayacak şekilde, bazı yığma duvarlar korunmak üzere çelik çerçeve sistemi, betonarme püskürtme beton uygulamaları ve harç enjeksiyonu gibi yöntemler ile güçlendirilmiştir.

Nisan 2020, 132 sayfa.

Anahtar kelimeler: yığma yapı, sismik performans, güçlendirme, iyileştirme

SUMMARY

M.Sc. THESIS

THE DETERMINATION OF SEISMIC PERFORMANCE AND STRENGTHENING METHOD OF AN EXISTİNG MASONRY STRUCTURE

Betül ERTEKİN

Istanbul University-Cerrahpasa

Institute of Graduate Studies

Department of Civil Engineering

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Barış SAYIN

Co-Supervisor : Dr. Barış GÜNEŞ

A large partion of the historical buildings in Turkey, has a masonry structural systems. Even tough masonry structures are better in some ways, they are generally not considered as earthquake resistant structures because they are very heavy and have low resistance to dynamic and horizontal loads such as earthquakes. However, due to the preservation of the historical heritage, the behavior of these structures in earthquakes should be known and the earthquake resistance of those structures should be increased as much as possible. Because almost all walls are bearing wall in masonry structures, any damage on the walls directly effects the masonry system. In this study, it was aimed to determine the seismic performance of existing seven-story structure within the scope of numerical analysis. For the scope of the study, first of all, a literature research is conducted on the subject; linear analysis, nonlinear analysis and kinematic limit analysis were performed to evaluate the seismic performance of an existing seven-story

structure. MidasGen and ProCINEM software, which are finite element programs, were used for numerical analysis.. As a result of the study, it has been determined that the bearing elements of the masonry building do not have sufficient capacity against horizontal and vertical loads and the structure is at the level of failure. Building has been strengthened accordingly with Turkey Earthquake Building Regulations so as to satisfy the conditions required in 2018 and some masonry walls to protect steel frame system has been strengthened by methods such as reinforced concrete and shotcrete mortar injection applications.

April 2020, 132 pages.

Keywords: masonry building, seismic performance, strengthening, retrofitting

1. GİRİŞ

1.1 KONU

Geçmişten günümüze taşınmış olan tarihi yapılar kültürel mirasın önemli varlıklarıdır. Genelde koruma altına alınan bu yapılar; tarihi, mimari, sanatsal, sosyal, kültürel gibi çeşitli yönlerden geçmişte taşıdıkları değerler yanında kimileri bugün taşıdıkları yeni işlevler nedeniyle de ayrıca değer taşımaktadır. Anadolu'nun aktif bir deprem kuşağı üzerinde bulunması nedeniyle, yurdumuzdaki tarihi yapılar depremlerden etkilenmişlerdir. Kimi hasar görüp onarılmış, kimi de tamamen yıkılarak yeniden yapılmıştır.

Yapıların onarımı ve güçlendirilmesi çalışmaları, son yıllarda ülkemizde aktüel bir konu olmuştur. Özellikle kültürel mirasımız olan tarihi yapıların güçlendirilmesi, konvansiyonel yapılara oranla daha fazla ilgi çekmektedir. Son yıllarda tecrübe edinilen depremler, tarihi yapıların mevcut durumlarının sorgulanması ve gerekli görüldüğü takdirde çeşitli önlemler alınması konusunu gündeme getirmiştir. Onarım ya da güçlendirme yöntemi seçilirken, tarihsel değeri olan bu yapıların gelecek nesillere emniyetle aktarılabilmesi için yapılacak çalışmaların, yapıların özgünlüğüne zarar veren nitelikte olmamasına dikkat edilmesi gerekir.

Yapım teknikleri ve taşıyıcı eleman özellikleri açısından diğer yapı türlerinden farklı olan yığma yapılar, basınç gerilmesinin etkili olduğu düşey yüklere karşı yeterli dayanıma sahip olsa da, çekme ve kesme gerilmelerinin etkili olduğu sismik yükler altında dayanım açısından yetersiz seviyede olabilmektedir. Söz konusu durum, yapısal güvenliğin sağlanması ve servis ömrünün artırılması kapsamında, bu yapıların sismik güçlendirmesini zorunlu hale getirmektedir.

Yapıların sismik dirençlerinin yeterli seviyeye getirilmesi amacıyla, eleman ya da yapı ölçeğinde sismik taleplerin azaltılması yoluna gidilmekte veya yapısal eleman kapasitelerinin artırılması yaklaşımı benimsenmektedir. Bu amaca yönelik olarak gerçekleştirilen güçlendirme uygulamalarında kullanılan teknikler genel itibariyle konvansiyonel ve non-konvansiyonel olmak üzere iki başlık altında gruplanabilmektedir. Geleneksel güçlendirme yöntemleri, yapı tasarımı veya yapım aşamasındaki olumsuz etkileri azaltarak mevcut yapıların sismik direncini arttırmak için kullanılır. Bu yöntemler arasında perde duvarı, dolgu duvarları ve çelik

desteklerin eklenmesi bulunmaktadır. Diğer yaklaşım olan geleneksel olmayan yöntemler, yapıların güçlendirilmesinde kullanılmaktadır. Bunlar arasında en yaygın kullanılan yöntemler, sismik taban izolasyonu, yerel güçlendirme ve mantolamadır.

Yapım teknolojisi ve yapı malzemesi açısından diğer yapı türlerinden farklı olan yığma kargir yapılarda zaman içerisinde oluşabilecek dayanım ve dayanıklılık azalmasının giderilmesi amacıyla iyileştirme çalışmaları gerçekleştirilmektedir. Yığma yapılar basınç dayanımı açısından yeterli dayanıma sahip olsa da, görece olarak çekme ve kayma dayanımları düşük seviyede kalmaktadır. Bunun yanı sıra, yığma yapılardaki taşıyıcı duvarların düzlem içi rijitlik ve dayanımı yüksek iken, düzlem dışı etkilere karşı rijitlik ve dayanımın düşük seviyede olmasının sonucu olarak, duvar düzlemine dik etkiyen deprem kuvvetlerinde, dayanım açısından kritik seviyede olabilmektedir.

Yığma binalarda, ilgili yön boyunca yer alan duvarların alanına bağlı olarak gerilme dağılımının özellikle yapıların girintili köşeleri etrafında –duvarların alt seviyesinde– artış göstermesi yanal yapısal davranışta etkili olmaktadır. Buna ek olarak, düşey normal gerilmeler duvarların üst kotundan altına doğru artmakta ve tabanda maksimum değere ulaşmaktadır. Buna karşın pencere ve kapıların köşeleri gibi çeşitli yerel geometrik süreksizlik bölgelerinde gerilme yığılmaları analiz sonuçlarında fark edilebilir seviyede olabilmektedir.

Sismik dayanımın yeterli seviyeye getirilmesi amacıyla yığma kagir türü yapıların uygun teknikler kullanılarak güçlendirilmesi; yapının mevcut durumunun gerek birleşim detayı bazında gerekse bütünsel olarak ortaya konulması sonrasında yapılmaktadır. Bununla birlikte, yığma yapıların günümüz yönetmeliklerinde öngörülen kriterleri sağlayamaması nedeniyle gerçekleştirilen güçlendirme sürecinde alınan müdahale kararları, betonarme yapılara nazaran daha subjektif olabilmektedir. Özellikle sismik etkiler söz konusu olduğunda yapısal davranışı doğru olarak öngörülemeyen bir yapı üzerinde gerçekleştirilen herhangi bir müdahalenin, yapıyı, müdahale öncesi durumundan daha olumsuz bir seviyeye getirebilmesi olasılık dahilindedir. Bu itibarla, yığma yapıların sismik analizlerinde yapı davranışının yaklaşık doğrulukta modellenebilmesinde, malzeme davranışının ve kullanılan sonlu eleman formülasyonunun uygun olarak seçilmesi önemli bir aşama olarak kabul edilmektedir. Nümerik analizlerde, basit yöntemler ve gerilme hesaplarının yanı sıra, geometrik ve malzeme davranışı doğrusal olmayan analizleri içeren karmaşık matematiksel yöntemleri esas alan farklı yaklaşımlar kullanılmakla birlikte, yığma yapılarda genişliği fazla olan taşıyıcı elemanların iç

yapısının homojen olmaması ve işçilik kusurlarına bağlı olarak mekanik özelliklerin bir noktadan diğerine farklılık göstermesi, sismik davranışın belirlenmesinde her binanın kendine özgü değerlendirilmesini zorunlu kılmaktadır.

1.2 ÇALIŞMANIN AMACI VE KAPSAMI

Yığma yapıların geometrik ve malzeme bakımından doğrusal ve doğrusal olmayan davranışını belirlemede farklı analiz yöntemleri tercih edilmektedir. Söz konusu yöntemler arasında yer alan sonlu elemanlar yöntemi, yapıların düşey ve deprem yükleri altındaki davranışını ve buna bağlı olarak performans seviyesini belirlemek amacıyla tercih edilen etkin bir analiz yöntemi olmakla birlikte, anılan yapıların gerçek davranışının belirlenmesinde, uygun yapısal modelleme önemli bir aşama olarak değerlendirilmektedir. Yeni inşa edilecek yapıların – betonarme ve yığma– deprem etkisindeki yapısal performansını yeterli seviyeye getirebilmek amacıyla deprem yönetmeliklerinde çeşitli yöntemler yer almakta ve bu yöntemler genel itibariyle doğrusal ve doğrusal olmayan metotlar olarak iki kısma ayrılmaktadır. Bununla birlikte, yeni inşa edilecek binaların çağın gerektirdiği bilgi seviyesini yansıtan yeni yönetmelikler esas alınarak tasarımı ve inşası yapılması noktasında belirsizlikler ihmal edilecek düzeyde olmasına karşın, mevcut binaların hali hazırdaki yapısal performansının belirlenmesinde farklı parametreler söz konusu olmaktadır. Bu kapsamda, kayda değer yapı stoğu dikkate alındığında, önceki yönetmelikler esas alınarak tasarımı yapılan söz konusu yapıların, inşaat mühendisliği disiplinindeki mevcut bilgi düzeyi ve yönetmelikler esas alınarak deprem etkisi altındaki performansının belirlenmesi, bu yapıların mevcut durumdaki yapısal güvenliğinin teyit edilmesi ve servis ömrünün artırılması açısından gerekli bir aşama olmaktadır. Bu durum göz önüne alınarak yapılan hesaplamalar sonucunda incelenecek yapıların; i. mevcut durumunda yeterli olduğu, ii. güçlendirilme koşuluyla, yeterli yapısal dayanıma sahip olabileceği iii. yıkılması gerektiği sonuçlarından birisine karar verilebilmektedir. Türk Deprem yönetmeliğinde mevcut binaların deprem performansı, uygulanan deprem etkisi altında binada oluşması beklenen durumu ile ilişkilendirilmekte ve dört farklı hasar durumu esas alınarak tanımlanmaktadır. Bu kapsamda, doğrusal veya doğrusal olmayan hesap yöntemlerinin uygulanması ve eleman hasar düzeylerine karar verilerek bina deprem performans düzeyi belirlenmektedir. Depremin aşılma olasılığı ve binanın kullanım amacına göre performans hedefleri öngörülmekte ve hesap sonuçlarına hangi performans düzeyine karşılık geldiği elde edilmektedir. Tez çalışmasında, yukarıda genel sınırları çizilen

hususlar dikkate alınarak, örnek bir bina türü yığma yapının mevcut performansı, hazırlanan sonlu eleman modelinin nümerik analizleri neticesinde belirlenecek ve bu yapı özelinde, yapıların mevcut yapısal performansının belirlenmesinde dikkate alınması gereken parametreler kapsamlı olarak ortaya konulacaktır. Sonrasında, yürürlükteki deprem yönetmeliğine göre yeterli dayanıma ulaştırabilmek amacıyla güçlendirme yöntemi sunulacaktır.

2. GENEL KISIMLAR

2.1 YIĞMA YAPILAR

İnsanoğlu tarih boyunca hakimiyetini sürdürdüğü topraklarda şehirler, köprüler, yollar, barajlar, medeniyetlerini geliştirmek için farklı çeşitte yapılar inşa etmiştir. Bu yapılar bir ülkenin çeşitliliğini ve kültür açısından zenginliğini gösteren en önemli parçalarındandır. Bugüne kadar ayakta kalmış birçok yapı o dönemin ait olduğu özelliklerini belirterek geçmişten bugüne ışık tutmaktadır.

Yığma yapılar insanlık tarihinin ilk dönemlerinden beri çeşitli kullanım amaçları doğrultusunda inşa edilmiştir. Yığma binalar kolay inşa edilebilmeleri, yöresel inşaat malzemeleri kullanılması bakımdan ekonomik olmalarının yanında, tarihinin betonarmeye göre daha eskilere dayanması nedeniyle, dünyanın pek çok ülkesinde olduğu gibi ülkemizde de yaygın olarak inşa edilmiştir. Geçmişe nazaran günümüzde yapımı giderek azalmakta olsa da yığma yapıların kullanımına hala devam edilmektedir. Şekil 2.1‘de 1866’da yapımı tamamlanan yığma taşıyıcı sisteme sahip İstanbul Üniversitesi Rektörlük Binası sunulmuştur.

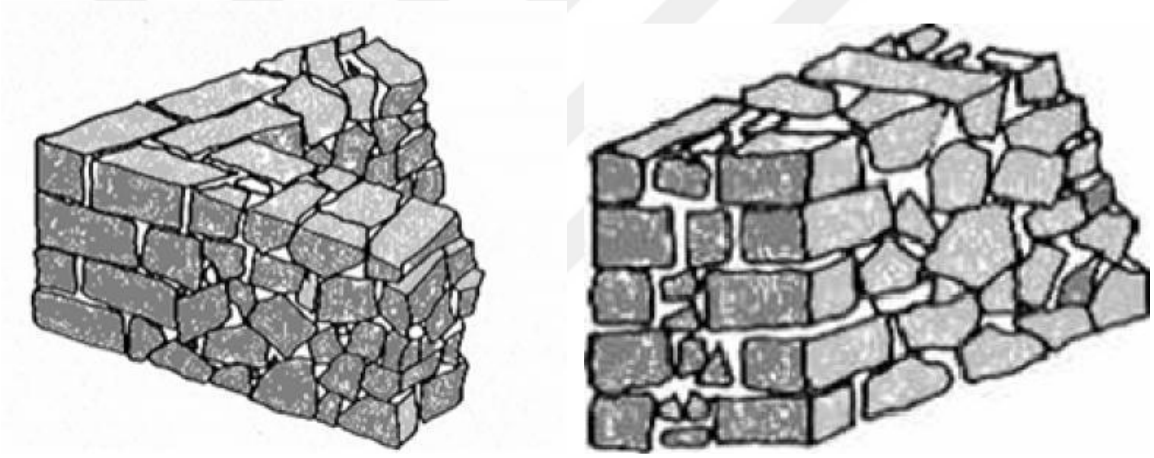


Şekil 2.1: İstanbul Üniversitesi Rektörlük Binası (Fotoğraf: Oğuz Uzdil).

Taşıyıcı iskelet sistemi olmayan, taşıyıcı yapı elemanları doğal taş, kumtaşı, tuğla, vb. blokların üst üste konulup harçla bağlanarak ve yapı döşemesinin de bu duvarlara bindirme yoluyla monte edilmesiyle oluşturulmuş, duvarlardaki her bloğun üzerine gelen düşey yükü alt elemana aktardığı sistemlere yığma yapı denir.

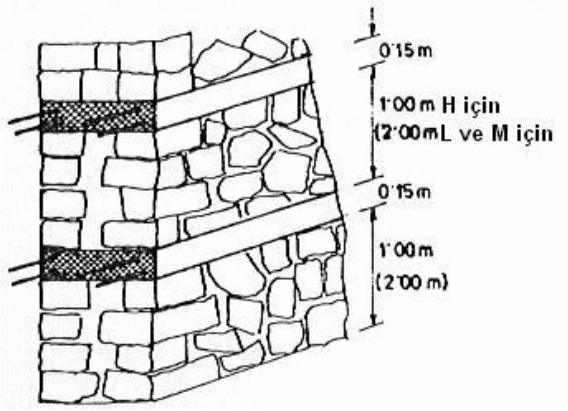
Yığma yapı, betonarme çerçeve türünden farklı olarak duvarları hem mimari işlevi olan hem de taşıyıcı görevi olan yapılardır. Duvarlar yapının hacmini oluşturur, yapıyı dış etkenlerden korudukları gibi yapının işlevi gereği oluşturulan iç bölmelerini de belirler. Duvarların bu birden fazla işlevi kullanım ve yapım açısından yığma yapıların önemli üstünlüğüdür.

Yığma yapılar kullanılan malzemelere ve yapım şekillerine göre donatısız, donatılı ve çerçeveli yığma yapılar olarak üç gruba ayrılabilir. Doğal taş, kumtaşı, tuğla, kerpiç gibi malzemelerin, bağlayıcı harç kullanılarak üst üste örülmesiyle oluşturulan yapılar donatısız yığma yapılardır (Şekil 2.2). Yalnızca gevrek malzeme birimlerinden oluştuğundan donatısız yığma yapılar, yüksek bir rijitliğe sahiptir ve deprem etkisiyle gevrek bir davranış gösterebilirler. Deprem davranışları bakımından diğer yığma yapı çeşitlerine göre daha az dayanımlıdırlar.



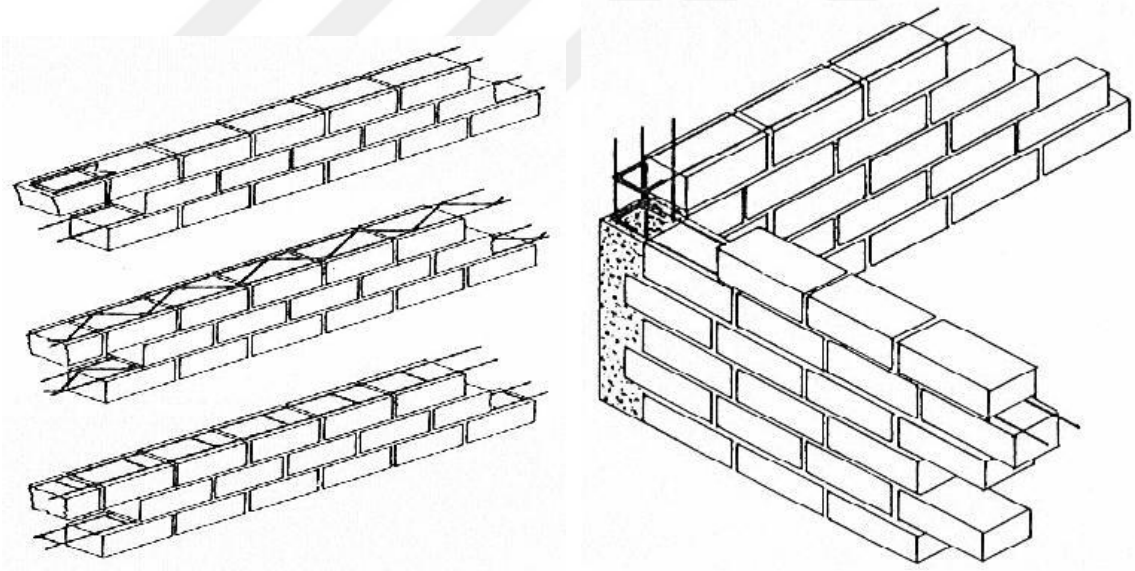
Şekil 2.2: Tipik taş duvar (Yorulmaz ve diğ., 1984).

Çerçeve sistemli yığma yapı, donatısız yığma yapıların düşeyde betonarme kolonlar, yatayda betonarme kirişlerle desteklenmesi sonucu oluşturulan yapı türüdür. Betonarme düşey hatıllar betonarme kolonlar gibi düşey yük taşıyıcı elemanlar değillerdir. Yapı köşelerine ve birleşen duvarların kesişme noktalarına duvar rijitliğinin artırılması amacıyla yerleştirilirler. Ayrıca kapı ve pencere gibi açıklıkların her iki tarafına ve büyük açıklıklı duvarlara belli aralıklar ile yerleştirilirler (Şekil 2.3).



Şekil 2.3: Bağ kirişlerinin yerleşimi (Yorulmaz ve diğ., 1984).

Donatılı yığma yapılar duvar içerisinde yatay olarak yerleştirilen donatıların düşey hatıllar ve yatay hatıllara bağlanması, boşluklu yığma elemanda boşluğun içerisinde düşey donatı ve yatay sıralar arasında yatay donatı kullanılması ya da çift sıralı örülen duvarlar arasında boşluk bırakılarak yatay ve düşey donatılar konulması ardından boşluğun harçla doldurulması sonucu oluşturulan yığma yapı türüdür (Şekil 2.4).



Şekil 2.4: Yığma yapıda yatay ve düşey donatılar (Yorulmaz ve diğ., 1984).

1950'li yıllardan sonra betonarme yapım tekniğinin ortaya çıkması ve gelişmesiyle gerek dünyada gerek ülkemizde betonarme yapılar tercih edilmeye başlanmıştır. Bugün yurdumuzda yeni yapılan yapılarda betonarme başta olmak üzere sırasıyla çelik, ahşap ve prefabrik sistemler tercih edilmektedir. Yığma yapılar çok az sayıda yapılmakta olsa da Türkiye'de geçmişte yapılmış çok sayıda tarihi ve kültürel değeri yüksek yığma yapı bulunmaktadır. İnşaa edilen bu

yapılar birçok farklı amaca hizmet etmiştir. Şekil 2.5, Şekil 2.6, Şekil 2.7 ve Şekil 2.8'de ülkemizde karşımıza çıkan çeşitli yığma yapı türlerine ait örnekler sunulmuştur.



Şekil 2.5: Ayasofya, İstanbul, 6.yy (Alamy, 2019)



Şekil 2.6: Malabadi Köprüsü, Diyarbakır, 12. yy (Türkiye Kültür Portalı, 2019).



Şekil 2.7: Deyrulzafaran Manastırı, Mardin, 5.yy (Türkiye Kültür Portalı, 2019).



Şekil 2.8: Bozdoğan Kemeri, İstanbul, 4.yy (Türkiye Kültür Portalı, 2019).

Geçmiş toplumlar tarafından inşa edilen bu yapılar farklı zaman ve kültürlerin birikim ve tekniklerini yansıtmaları bakımından büyük önem taşımaktadırlar. Dolayısıyla tarihi bir belge niteliğini gösteren yapıların korunarak gelecek nesillere aktarılması en önemli görevimizdir. Ancak bu önemli binaları sonraki nesillere aktarmak için korumak yeterli gelmemektedir. Özellikle yapısal açıdan tarih boyunca yıpratıcı etkilere maruz kalan yapılarda oluşan bozulmaların onarılması ve sürekli olarak bakımı yapılıp farklı afet ve doğa etkenlerine karşı dayanıklı hale getirilmesi gerekir.

Türkiye iki aktif deprem kuşağı arasında olması nedeniyle yapı imalatında deprem etkilerinin gözetimi önemli etken olmakla birlikte, yapıların mevcut yönetmelik ve hesap kurallarına göre inşaa edilmesi gerekmektedir. Bu bakış açısıyla yığma yapılar bazı açılardan üstün olmalarına karşın, çok ağır olmaları ve deprem gibi dinamik ve yatay yüklere dayanımlarının az olması nedeniyle, genellikle depreme dayanıklı yapı olarak nitelendirilmezler. Ancak Türkiye'de yığma yapı yapımı devam edeceğinden bu yapıların elden geldiğince depreme dayanıklı yapılması ve var olan yığma yapıların depremlerdeki davranışının bilinmesi ve deprem dayanımlarının arttırılması gerekir.

Yığma yapılar depreme karşı, betonarme ve çelik yapılara göre çok daha az dayanıklıdır. Yapımında kullanılan tuğla, taş ve harcın mekanik özelliklerine bağlı olarak çok gevrek bir davranış sergilerler. Dolayısıyla kalıcı deformasyon yaparak deprem enerjisi sönümleme özellikleri azdır. Duvarların tamamının taşıyıcı özelliğe sahip olması yığma yapıları oldukça rijit hale getirir. Bu davranıştan dolayı yığma yapılar deprem esnasında sünek bir davranış sergileyemeden, yeterince yer değiştirme oluşmadan hasar alırlar (Bayülke, 1998). Yığma yapının bir bütün olarak davranmasında taşıyıcı duvarları oluşturan tüm elemanlar, döşeme sistemleri ve bu elemanların birleşimleri önemli bir rol oynamaktadır. Günümüz teknolojisi ile inşa edilen betonarme ve çelik yapıların mekanik davranışlarını gelişmiş sayısal yöntemlerle ayrıntılı olarak ortaya koymak mümkündür. Ancak yığma yapıların içerdiği süreksizliklerden dolayı özelliklerinin farklı yönlerde değişiklik göstermesi ve malzeme kalitesinin değişebilmesi nedeniyle yapısal davranışlarının yorumlanmasında güçlükle karşılaşılabilmektedir.

Yığma yapılarda düşey yükler döşemelerden taşıyıcı duvarlara, duvarlardan da temele aktarılır. Bu düşey yüklerin etkisiyle taşıyıcı duvarlarda basınç gerilmeleri oluşur. Normal şartlarda bu gerilmelerin duvar basınç emniyet gerilmelerini geçmemesi gerekir ve duvar kalınlıkları bu esasa göre belirlenir. Ayrıca taşıyıcı duvar kesitlerinde deprem kuvvetleri gibi yatay kuvvetlerin etkisi ile kayma gerilmeleri oluşur ve bu gerilmelerin duvar kayma emniyet gerilmesinden küçük olması gerekir. Elemana etkiyen kayma gerilmelerinin büyük olması durumunda yığma yapıda, kritik bölgelerden başlayarak çatlaklar oluşur ve yapı göçme mekanizmasına ulaşır. Kapı ve pencere boşlukları çevresi, duvar ve döşeme birleşimleri, duvar kesişim ve birleşimleri hasar bakımından kritik bölgelerdir.

2.2 YIĞMA YAPI HASARLARI

Düşey yükler, deprem kuvvetleri, yapı elemanlarında kesit azalması, temel oturması, rüzgâr yükleri, trafik titreşimleri ve yanlış müdahale gibi doğal ya da kullanıcı kaynaklı etkiler yapıda hasara sebep olmaktadır. Hasarlar yapı elemanlarında çatlak, ezilme, parça kopması, düzlem içi- düzlem dışı deformasyonlar ve malzeme bozulmaları şeklinde kendini gösterir. Elemanlara etkiyen yüklerin neden olduğu gerilmeler, özellikle yığma yapılar için kritik olan malzeme çekme dayanımını aştığında yapısal çatlakları meydana getirir. Hasarların oluştuğu bölgeler yapı sistemindeki veya eleman malzemelerindeki zayıf noktalar hakkında ipuçları verir (Tablo 2.1). Yığma yapıların duvarları taşıyıcı olduğu için yapıda oluşan her türlü hasar ya da kusurlar doğrudan taşıyıcı sistemi etkiler, yapı elemanlarının yük taşıma ve şekil değiştirme kapasitesini önemli ölçüde değiştirir, kalıcılığını (durabilite) ve görünüşünü etkiler.

Tablo 2.1: Yığma yapılarda çatlak düzeyleri (Bayülke, 1999).

Çatlak genişliği	Hasar Derecesi	Açıklamalar
0.1'den az	Önemsiz	Yapıya ve kullanıma etkisi yoktur
0.1-0.3 mm	Önemsiz, az	Taşıyıcı sisteme ve yapının kullanımına bir etkisi yoktur
0.3-1.0 mm	Az	Taşıyıcı sisteme bir etkisi yoktur. Estetik açıdan sakıncalı olabilir.Dış cephe elemanlarının yıpranmasını hızlandırır.
Buraya kadar olan çatlaklar kılcal çatlaklardır. Çoğu zaman gözden kaçabilir. 1 mm yakın çatlarda duvar kağıtlarında buruşukluklar gözlenebilir.		
Çatlak genişliği	**Hasar Derecesi**	**Açıklamalar**
1.0-2.0 mm	Orta	Taşıyıcı sisteme bir etkisi yoktur. Estetik açıdan sakıncalı olabilir. Dış cephe elemanlarının yıpranmasını hızlandırır.Bu düzeydeki çatlaklar ve briketleri, pencere kapı lentolarını çatlatabilir.Birkaç metre uzaktan fark edilebilirler. Bu düzeyden daha ileri düzeydeki çatlaklar yapıda oturanları önlem alınması için harekete geçebilir.
2-5 mm	Orta	Taşıyıcı sistemi etkilemeye başlar.Dış duvarlardan içeriye hava akımları duyumsanmaya başlar, pencere ve kapalar sıkışır ve kapanmamaya başlar. Yapının kullanımı eklenmeye başlar.
5.0-15.0 mm	Orta-Ağır	Kapı ve pencereler sıkışabilir.Su ve kanal bağlantıları kırılabilir.Binaya su ve soğuk hava girer. Pencere camları çatlar ve kırılabilir, sıvılar dökülmeye başlar. Tuğla duvarlar parçalanır. Yığma kemerler çökebilir.Bu boyutlardaki çatlaklar kabul edilemez çatlak sınırı oluşturur.
15.0-25.0 mm	Ağır	Ciddi onarım ve güçlendirme gerektirir.Yapının stabilitesi çok büyük bir tehlike altındadır.
25.0mm'den çok	Çok ağır ve çok tehlikeli	Yapıda ağır hasar,ciddi onarım ya da yeniden yapım gerekir

2.2.1 Hasar Türleri

2.2.1.1 Düşey Yüklere Bağlı Hasarlar

Yığma yapılarda düşey yükler döşemelerden taşıyıcı duvarlara veya taşıyıcı kolonlara buradan da temele aktarılır. Bu düşey yüklerin etkisiyle taşıyıcı elemanlarda basınç gerilmeleri oluşur. Düşey yüklerin artması ya da azalması ile yapı elemanlarında hasarlar ortaya çıkabilir. Elemana gelen basınç kuvveti malzeme dayanımını aştığında, öncelikle basınç kuvvetine paralel çatlaklar oluşur. Basınç kuvvetinin artmasıyla ezilme ve parça kopmaları ortaya çıkabilir, elemanın göçmesine sebep olabilir (Şekil 2.9).



Şekil 2.9: Düşey yük sonucu taşıyıcı elemanda oluşan çatlaklar (TYDRYK, 2017).

2.2.1.2 Oturmalara Bağlı Hasarlar

Yığma yapılar oturma hareketine karşı betonarme ve çelik yapılara göre çok daha hassastır. En ufak bir farklı oturma ile taşıyıcı elemanlarda önemli çatlaklar oluşabilir. Temel oturması; yeraltı su seviyesindeki değişim, alana yakın kazılar ya da yapının yer altı su drenaj sisteminin bozulması nedeniyle gerçekleşebilir. Yeraltı suyu sızıntıları ile temel altındaki killi zeminin kohezyonunun azalması oturma hasarına yol açmaktadır. Bununla birlikte gevşek zemine kurulmuş yığma yapılarda deprem etkisiyle oturmalar daha hızlı bir şekilde gerçekleşerek duvarların göçmesine sebep olabilir. Temel oturmaları üst yapıda; malzeme ezilmesi, duvar düzlemi doğrultusunda kesme çatlakları, rijit elemanlarda dönme ve yıkıma yol açan denge problemleri oluşturabilir (Şekil 2.10). Üst yapıda düzensiz şekilde yapılmış müdahaleler de yapı ağırlık dengesinin bozulmasına ve dolayısıyla farklı temel oturmalarına sebep olarak taşıyıcı

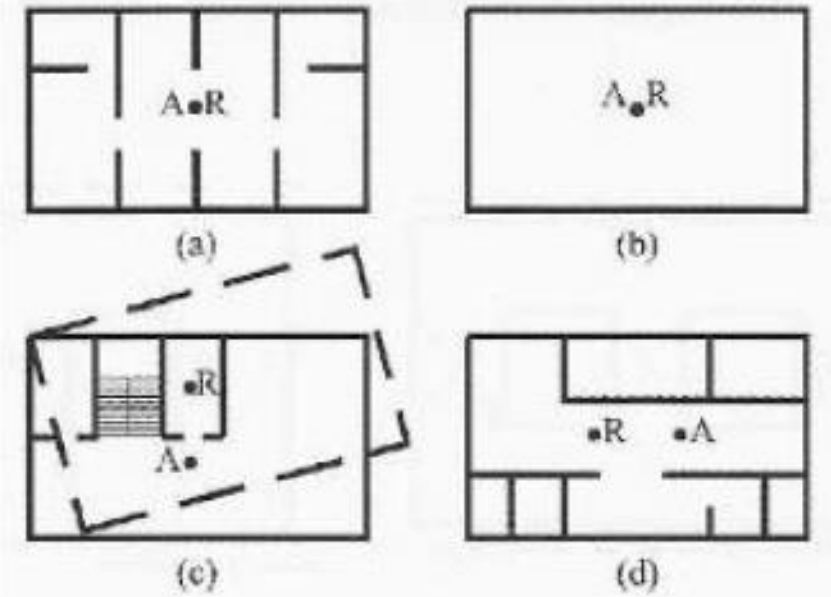
elemanların zarar görmesine neden olur. Farklı temel oturmaları, rijit cisim dönmesini ortaya çıkarabilir. Dönmenin çok oluşu, dengeyi bozar ve devrilmeye yol açar.



Şekil 2.10: Oturmalar sonucu yığma elemanlarda oluşan hasarlar.

2.2.1.3 Ağırlık ve Rijitlik Merkezine Bağlı Hasarlar

Genellikle simetrik planlı olmayan yığma yapılarda rijitlik merkezi ile ağırlık merkezinin birbirlerine yakın olmaması, yatay ve düşey yükler altında yapıda hasarların oluşmasına zemin hazırlar. Şekil 2.11a ve Şekil 2.11b'de yapı planı, ağırlık merkezi rijitlik merkezine çakışacak biçimde tasarlanmıştır. Bu sayede depremden hasar görmesi daha tasarım aşamasında büyük ölçüde önlenmiştir. Şekil 2.11c'de ise rijitlik merkezi ile ağırlık merkezi birbirinden uzak konumda bulunmaktadır. Deprem kuvveti yapı planının ağırlık merkezine etkiyeceğinden dolayı yapı, rijitlik merkezi etrafında dönmeye zorlanır. Dolayısıyla yapıda burulma çatlakları oluşur. Şekil 2.11d'de ise deprem doğrultusuna dik doğrultudaki duvarın bir rijitliği olmadığı için deprem kuvvetleri etkisi ile duvarlar büyük deplasmanlar yapmaya zorlanarak çatlayabilir (Özsaraç, 2008).



Şekil 2.11: Yığma yapı plan örnekleri (Özsaraç, 2008).

2.2.1.4 Deprem Yüklerine Bağlı Hasarları

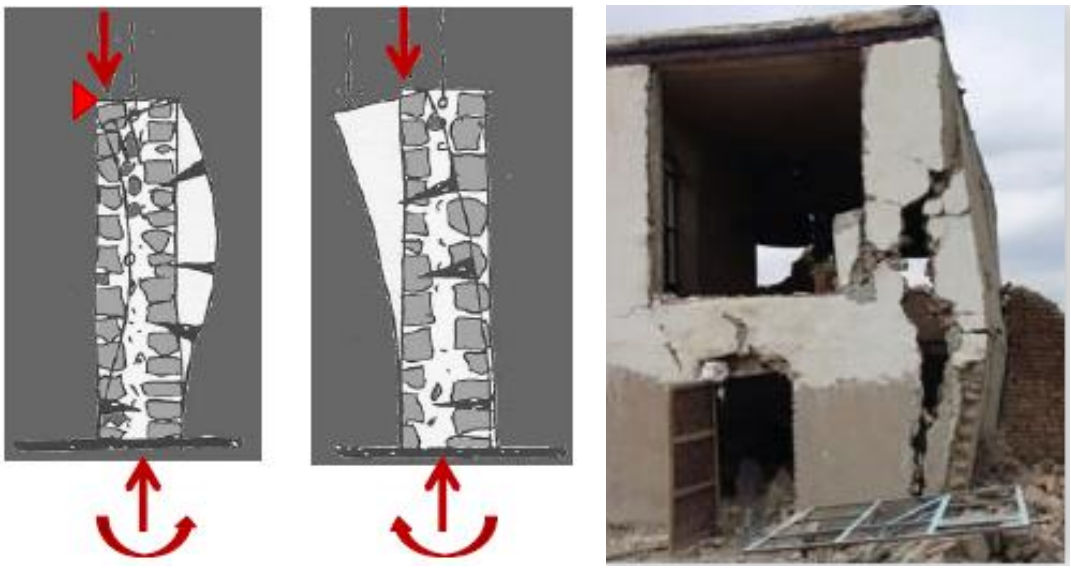
Depremlerden dolayı yapıya etkiyen yatay yükler yapıda eksenel kuvvet, kesme kuvveti, eğilme ve burulma momentleri sebebiyle hasarlar oluşturabilir. Yığma duvarda hasarlar özellikle gerilmelerin yoğunlaştığı noktalarda meydana gelir. Duvar düzlemine dik eğilme ya da duvar düzlemi içindeki kayma gerilmeleri nedeniyle genellikle kapı ve pencere kenarlarında önemli hasarlar oluşmaktadır.

Gelen deprem kuvvetleri altında yapı elemanlarında düzlem içi ve düzlem dışı etkiler oluşur. Duvar düzlemi doğrultusunda meydana gelen gerilmeler eğik kayma çatlaklarını oluşturur. Çatlaklar ortaya çıkarken duvardaki sürtünme, duvar düzlemi içindeki yer değiştirmeleri sınırlar. Çatlaklar oluşurken dinamik karakteristikler değişir; doğal frekans azalır, yer değiştirmeler artar. Rijitliği azalan yapının titreşim periyodu uzar. Tekrar eden yer sarsıntıları sırasında eğik çatlaklar büyür. Duvar yüzeyinde, çatlakların kesişmesiyle X şeklinde eğilme çatlakları ve bağımsız kırık duvar parçaları oluşur (Şekil 2.12). İnce duvarlarda bu kırık duvar parçaları düzlem dışı etkilerle eğik çatlaklar boyunca kayıp düşer. Çatlakların yeri, genişliği ve açısı yığma binanın dış duvardaki pencere ve kapı boşluklarının yerine ve miktarına, duvardaki düşey gerilme ve gelen yatay deprem kuvveti miktarına göre değişir.



Şekil 2.12: Duvar düzlemi doğrultusunda oluşan çatlaklar.

Duvar düzlemine dik kuvvetler, duvarların düzlemi dışında hareketine yol açarak, duvar tabanında yatay; kesişen duvarlar boyunca düşey ya da diyagonal çatlaklar oluşturur (Şekil 2.13). Duvarın düzlemi dışında yer değiştirmesi; iki ya da üç cidarlı duvarların dış yüzlerinde ayrışma, birbirine iyi bağlanmamış dik duvarlarda ayrılma, herhangi bir yatay bağ elemanı olmayan duvarlarda devrilme ile sonuçlanır. Duvarın düzlemi dışında yer değiştirmesi, döşeme ve çatıya, iç ve dış komşu duvarlara iyi bağlanmamış duvarlar için tehlike oluşturur. Düzlem dışı kuvvetlerin neden olduğu çatlaklara genellikle önemli deformasyonlar eşlik eder ve nedeni ortadan kalkmadıkça çatlamanın giderek kötüleşmesi muhtemeldir.

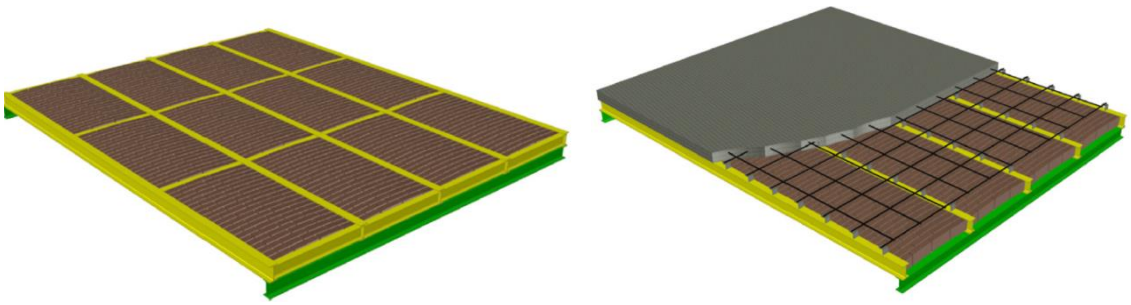


Şekil 2.13: Duvarın düzlem dışı hareketi ve oluşan hasar.

2.2.2 Mevcut Yığma Yapılarla İlgili Yapılan Çalışmalar

Tarihi ve kültürel açıdan değerli olan yığma yapıların durabilitesine katkı sağlamak amacıyla yapıda oluşan hasarların tespiti ve onarımı için pek çok deneysel, nümerik ve analitik çalışmalar yapılmıştır.

Maheri ve diğerleri (2012), volta döşemenin farklı yöntemlerle yapısal onarımı ve güçlendirilmesi konusunda çalışmıştır. Çalışmada, 80 cm açıklıklı 5 ana çelik kirişin bulunduğu 3.2m x 4.0m boyutlarında volta döşeme düzeneği kurulmuştur (Şekil 2.14). Kurulan düzenek üzerindeki harç ve tuğla üzerinden örnekler alınarak laboratuvar testleri ile harç ve tuğlanın mekanik özellikleri belirlenmiştir. Öncelikle döşemede sırasıyla İran Deprem Yönetmeliği'nde tarif edilmiş tie-braced tekniği, steel grid tekniği ve concrete layer tekniği ile güçlendirilerek kuvvet kontrollü itme analizi yapılmış, döşeme üzerine yerleştirilen sayaçlar ile döşeme sehimleri ölçülmüş ve döşemelerin sismik performans parametreleri elde edilmiştir. Deneysel çalışmaların ardından ANSYS yazılımı ile döşemelerin üç boyutlu nümerik modelleri kurularak itme analizleri yapılmıştır. Nümerik analizlerin deneysel çalışmaları desteklediği görülmüştür. Sonuçlar, conrete layer tekniğinin dayanım kapasitesini arttırmada steel grid yöntemine göre daha etkili olmasına rağmen, steel grid yönteminin volta döşeme güçlendirmesinde uygulama kolaylığı, maliyeti, hafifliği sayesinde daha faydalı olduğunu göstermiştir.



Şekil 2.14: Volta döşeme deney düzenekleri (Maheri ve diğ., 2012).

Atımtay ve diğ. (2005), deneysel olarak yığma bir duvarın tersinir yükler altında düzlem dışı kırılmasını incelemişlerdir (Şekil 2.15). Duvarın yük-deplasman eğrilerini elde ederek, 3.33 olarak hesaplanmış deplasman sünekliğinin, Türk Deprem Yönetmeliği'nde verilen $R_a(T)$=2.5 yük azaltma katsayısını sağladığı görülmüştür.

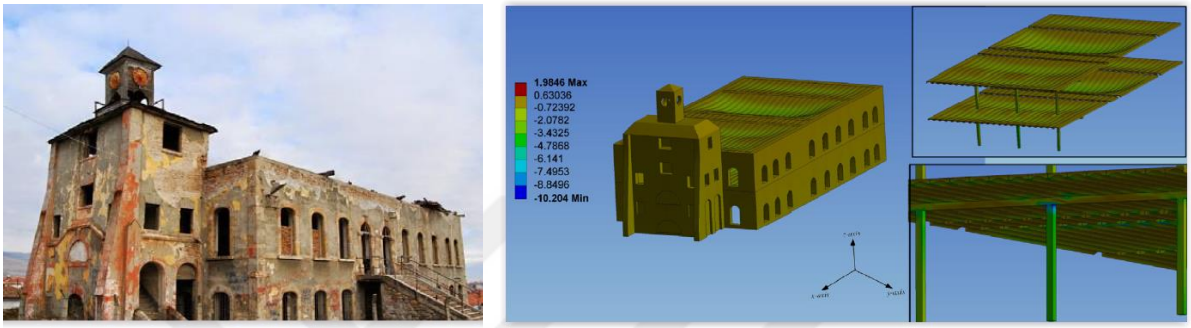


Şekil 2.15: Düzlem dışı yüklenen duvarın kırılma deseni (Atımtay ve diğ., 2005).

Maheri ve Rahmani (2003), geleneksel tek yönlü volta döşemelerin zayıflığını araştırmış, bu zayıflıkları ortadan kaldırmak için iki yönde çalışan bir sistem önermişlerdir. Önerilen sistemin etkinliğini araştırmak amacıyla, tek yönlü ve iki yönlü çalışan tam ölçekli deney düzenekleri hazırlanmıştır. İlk olarak statik testler ile döşeme elemanlarının mekanik ve mukavemet özellikleri belirlenmiştir. Sistemin dinamik özelliklerinin ve sınır koşullarının belirlemesi için deney düzenekleri üzerinde dinamik testler yapılmıştır. Daha sonra tek yönlü döşeme ve önerilen iki yönlü döşeme SAP-90 programı kullanılarak sonlu eleman doğrusal gerilme analizleri yapılmıştır. Sonlu eleman nümerik analizleri aynı zamanda yapısal parametrelerin döşemenin tasarımına etkilerini araştırmak için yapılmıştır. Çalışma sonucunda tek yönlü ve çift yönlü volta döşemelerin tasarımını kolaylaştırmak için uygun tablolar ve şekiller sunulmuş, çalışmada sunulan şekilde tasarlanmış ve inşa edilmiş olan volta döşeme sisteminin sismik bölgelerde diğer döşeme biçimlerine göre düşük maliyetli bir alternatif olduğu sonucuna varılmıştır.

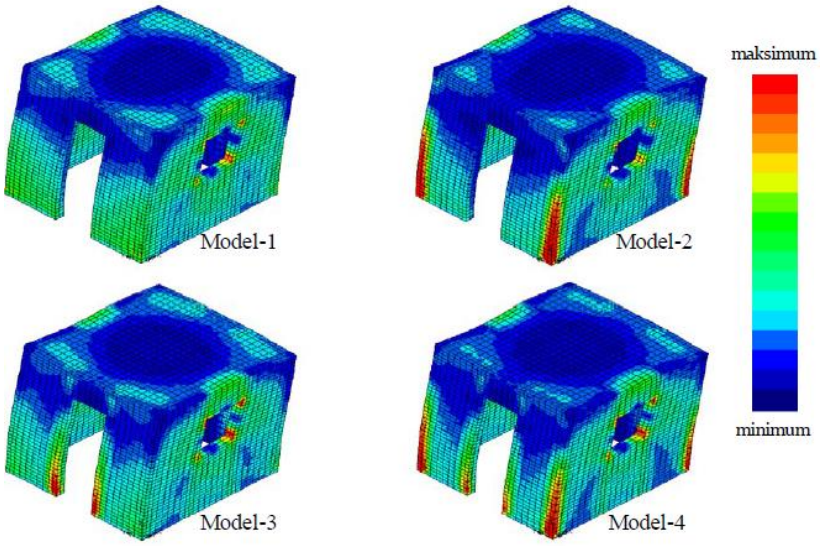
Özdemir ve diğ. (2017), volta döşemenin yapısal zayıflığı ile yapı davranışına olumlu ve olumsuz etkilerini incelemek amacıyla tek doğrultulu volta döşemeye sahip Türkiye-Amasya'da bulunan Amerikan Kız Yatılı Okulu üzerinde çalışmışlardır. Yapının tarihi geçmişi araştırılmış, geometrik özellikleri belirlenmiş, mevcut durumu saha etüdü ile değerlendirilip hasar tespiti yapılmıştır. Yapının taş ve tuğla birimlerinden malzeme örnekleri alınmış, deneysel çalışmalar ile mekanik özellikleri belirlenmiştir. Elde edilen mekanik özellikler

yardımı ile ANSYS Workbench yazılımı kullanılarak üç boyutlu nümerik model oluşturulmuş, oluşturulan model üzerinde statik analiz, modal analiz ve tepki spektrum analizleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.16). Nümerik sonuçlar, yapıdaki en yüksek düşey deplasmanların volta döşeme merkezinde olduğunu, %0.13 göreli kat ötelemesi ile en yüksek yanal deplasmanın yapının en üst kat volta döşemesinde olduğunu ve hakim titreşim periyodunun döşeme moduna ait olduğunu göstermiştir.



Şekil 2.16: Amerikan Kız Yatılı Okulu nümerik modellemesi (Özdemir ve diğ., 2017).

Ural ve Doğangün (2007), basitleştirilmiş mikro modelleme tekniğini kullanarak üçü betonarme düşey hatıllarla desteklenmiş dört adet yığma yapının deprem performansını incelemişlerdir. Yapı modellemeleri LUSAS yazılımı ile yapılmış, her bir yığma yapı için lineer statik analiz, modal analiz ve tepki spektrum analizleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.17). Analizler sonucunda en fazla düşey hatıla sahip modelde en az deplasman meydana gelmiştir. Düşey hatılların yığma yapıların performansında önemli derecede etkili olduğu görülmüştür.



Şekil 2.17: Dört farklı modelde gerilme dağılım şekilleri (Ural ve Doğangün, 2007).

Celep ve arkadaşları (2016), düşey yükler ve deprem yüklerinin etkisinde olan taşıyıcı sistemi yığma olan tarihi binaların deprem performanslarının değerlendirilmesinde sonlu eleman yönteminin kullanılmasını incelemiştir. Çalışmada sonlu eleman yöntemi kapsamlı olarak irdelenmiş, yığma yapıların davranışının belirlenmesinde basit modellemelerin ve malzeme kabullerinin kullanılması tavsiye edilmiştir.

Koç (2016), 1970 ile 2010 yılları arasında Türkiye'de gerçekleşmiş 9 adet depremin yığma yapılar üzerindeki etkisini araştırmış, daha önce yapılmış çalışmaları araştırarak yığma yapı yapımında dikkat edilmesi gereken hususları derlemiş ve konuya ilişkin öneriler getirmeye çalışmıştır. Deprem sonrasında oluşan hasarların çoğunluğunun yapı ağırlığı, duvar hatıllarının yapılmaması ve rijitliği sağlanmamış duvarların düzlem dışı davranışlarının sınırlandırılmamasından kaynaklandığını vurgulamıştır.

Bilgin ve diğ. (2012), Arnavutluk'un yapı stoğunu simgeleyen örnek üç yığma binanın sismik kapasitelerini doğrusal olmayan davranışları göz önünde bulundurarak nümerik olarak değerlendirmiştir. Örnek binaların malzeme özellikleri Arnavutluk devlet arşivlerine ait saha incelemelerinden alınmıştır. Araştırılan binaların üç boyutlu modelleri Sap2000 sonlu eleman yazılımı ile modellenmiş, x ve y yönünde pushover analizleri gerçekleştirilmiştir. Kapasite eğrileri elde edilmiş ve değerlendirmeler FEMA 440 (Federal Emergency Management Agency) kılavuzuna göre yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre bina yüksekliği boyunca duvar kalınlığının ani değişmesi ile göreli kat ötelemeleri fazlaca artmış ve yetersiz kayma mukavemetleri görülmüştür. Yapılacak yeni yığma binalar için duvar kalınlığının kademeli olarak azaltılması tavsiye edilmiştir. Kapı ve pencere açıklıklarının daha yoğun olduğu yönde yer değiştirme kapasitesinin diğer yönün yarısından daha az olduğu görülmüştür. Geçmiş depremlerde yığma binalarda gözlenen hasarlar çalışmada elde edilen sonuçları desteklemiştir. Performans değerlendirmesine göre, modellenen üç örnek binadan biri dışında diğer iki bina beklenen performans seviyelerini karşılamamıştır.

Bağcı ve arkadaşları (2012), zemindeki oturma problemi sebebiyle yığma birimlerinde çatlaklar meydana gelmiş İzmir-Kordon'da bulunan iki katlı tarihi bir yapının muhtemel deprem yükleri altında davranışını incelemişlerdir. Çalışmada SAP2000 sonlu eleman yazılımı ile yapı modellemesi yapılmış, düzlem gerilmesi analizi gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda, bodrum kat yığma elemanlarında Türk Deprem Yönetmeliği 2007'de belirtilen limit

gerilmelerin aşıldığı tespit edilmiş ve söz konusu yığma duvarlar FRP ile güçlendirilmiştir. FRP ile güçlendirilmiş yığma elemanların sismik davranışının TSC-2007'deki talepleri sağladığı görülmüştür.

Salonikios ve diğ. (2003), mevcut yapıların sismik performansının değerlendirilmesine ilişkin FEMA 273 Yönetmeliği'nde önerilen yöntemlere göre yığma birimlerden oluşan düzlem çerçeve sistem üzerinde çalışmışlardır. Yapı modelleri Sap2000 ve Cast3M sonlu eleman yazılımları kullanılarak oluşturulmuş ve pushover analizleri yapılmıştır. Analiz için üç tip modelleme incelenmiştir. İlkinde Sap2000 nonlineer analizi için plastik mafsallı doğrusal elemanlar kullanılmış, diğer ikisinde de Cast3M analizi için homojen malzemeye sahip ve yığma elemanları ile birleşim elemanları ayrı özelliklere sahip modeller incelenmiştir. Analitik analiz sonuçlarından, sismik yanal yüklerin üç farklı dağılımı altında yığma çerçevelerinin dayanım ve elastik olmayan davranışları üzerine yararlı sonuçlar çıkarılmıştır.

Çarhoğlu ve Korkmaz (2013), sonlu eleman yöntemini kullanarak yığma bir binanın deprem altındaki davranışlarını incelemiştir. Yapı modellemeleri Sap2000 yazılımı ile yapılmış, 20 adet deprem ivme kaydı kullanılarak zaman tanım alanında dinamik analizler yapılmıştır. Elde edilen analiz sonuçlarına göre gerilme dağılımları incelendiğinde en büyük gerilmelerin en büyük yer değiştirmenin elde edildiği depremde olduğu, gerilmelerin genellikle kapı ve pencere boşluklarında yoğunlaştığı ve kapı ile pencere bulunmayan kısımlarda ise daha çok diyagonal çatlakların oluştuğu görülmüştür.

Güneş ve arkadaşları (2017), doğrusal ve doğrusal olmayan malzeme modelleri kullanarak mevcut bir yığma yapının değerlendirilmesi üzerinde çalışma yürütmüştür. Bu kapsamda, betonarme elemanlara sahip yığma bir bina üzerinde malzemenin doğrusal ve doğrusal olmayan olarak değerlendirildiği iki farklı analiz yapılmıştır. Her iki analizde Midas Gen yazılımı ile modellenmiştir. Sonuçlara göre, her iki modelde de bina göçme seviyesi performans düzeyindedir. Yapı rijitliğinin düşük olduğu doğrultuda doğrusal olmayan modelden elde edilen çatı yer değiştirmeleri, eksenel ve kayma gerilmeleri daha yüksek olduğu görülmüştür. Doğrusal olmayan malzeme modelinde çekme gerilmelerinden göçen duvar sayısı doğrusal malzeme modeline göre daha fazladır. Yazarlar sonuçları büyük ölçüde değiştirmese de yapı

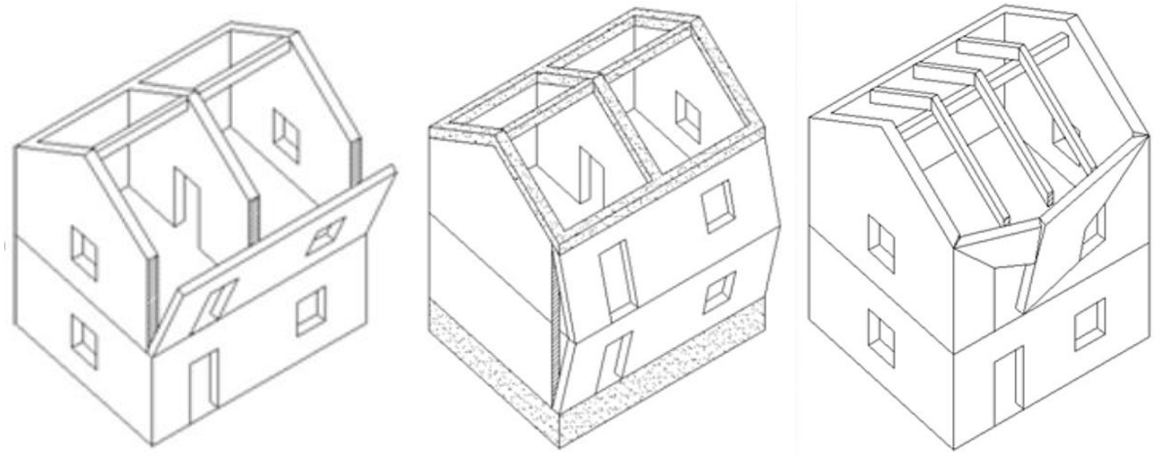
davranışını daha doğru yansıttığını düşündüklerinden analizlerde doğrusal olmayan malzeme modelinin kullanılmasının daha faydalı olduğunu düşünmektedir.

2.2.3 Lokal Göçme Davranışı (Kinematik Limit Analiz)

Doğrusal veya doğrusal olmayan kinematik analiz yığma yapıların deprem güvenliğini değerlendirme için son yıllarda sıkça kullanılan yöntemlerdendir. Kinematik analiz yöntemi kısaca;

- Muhtemel göçme mekanizması durumlarının tanımlanması,
- Her bir mekanizma durumunu harekete geçirecek yatay kuvvetin ve bu yatay kuvveti oluşturmak için gerekli olan yatay deprem ivmesinin belirlenmesi,
- Deprem yatay ivme talebinin belirlenmesi ve kapasite ile karşılaştırılması ve ortaya çıkabilecek mekanizma durumunun belirlenmesi olarak tanımlanabilir.

Düşey ve yatay yükler altındaki bir yığma yapının tümünün veya bir bölümünün güvenliğinin belirlenmesi için Şekil 2.18'de görüldüğü gibi çok sayıda mekanizma durumunun incelenmesi gerekebilir (TYDRYK, 2017).



Şekil 2.18: Çeşitli mekanizma durumları.

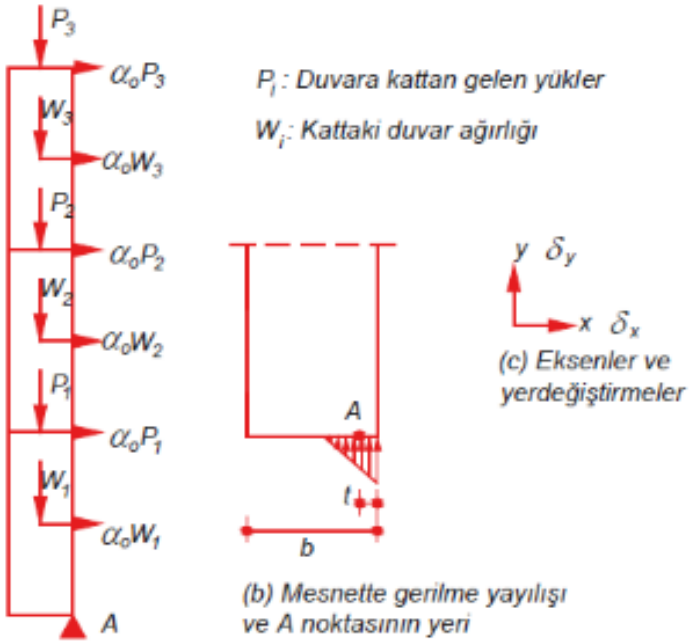
Hesaplamalarda ilk olarak herhangi bir mekanizma durumu kabul edilir, sisteme etkiyen yatay ve düşey yükler belirlenir ve göçme durumu ile uyumlu virtüel yer değiştirmeler göz önüne alınır. Virtüel iş ilkesi kullanılarak duvarı harekete geçirmesi beklenen yatay kuvvet hesap edilir. Duvar birleşim bölgelerinin dikkate alınması ve yapıya etkiyen yüklerin doğru tespit edilmesi göçme mekanizmasının belirlenmesinde oldukça önemlidir. Ancak yapı geometrisinin

karmaşık olduğu durumlarda göçme mekanizmasının belirlenmesi zorlaşabilir veya mekanizma sayısını artabilir Örneğin, birbiri ile birleşen iki yığma duvar veya yığma duvarla döşeme arasındaki bağlantıda ortaya çıkacak kuvvetlerin hesaplanıp karşılanması ile bölgesel göçme önlenirken, yapıda daha büyük atalet kuvveti gerektiren toptan göçmenin ortaya çıkması sağlanır. İncelenen bölgedeki duvar ve döşemede ek elemanların ve boşlukların bulunması, göçme türünü değiştirebilir ve sayısını arttırabilir.

Göçme mekanizması yaklaşımında genel olarak:

- Duvarın rijit blok davranış gösterdiği,
- Duvarı oluşturan yığma elemanların çekme dayanımının olmadığı kabul edilir.

Her bir göçme mekanizması için bulunacak yatay kuvvet, duvarın hareket eden kısmının ağırlığına oranlanarak yatay etki çarpanı (yatay yük/ağırlık) hesap edilerek değerlendirme yapılır. Düzlem içi oluşan göçme mekanizması düzlem dışı oluşan göçme mekanizmasına göre daha karmaşık olduğundan mekanizmayı belirlemek genellikle zordur. Ancak, yapıdaki mevcut hasar biçiminden ve daha önceki depremlerde görülen göçme şekillerinden düzlem dışı göçme mekanizmaları kolay bir şekilde belirlenebilir. (TYDRYK, 2017).



Şekil 2.19: Çok katlı bir binanın dış duvarında göçme mekanizması kuvvetleri (TYDRYK, 2017).

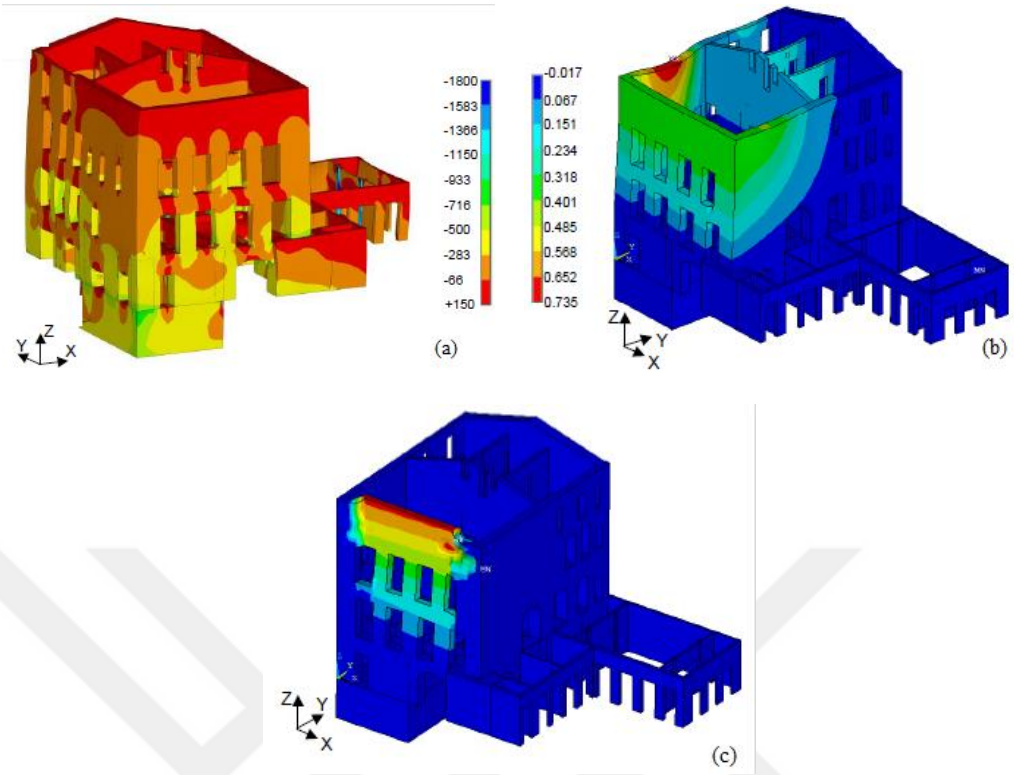
Kinematik limit analizde duvarın rijit davrandığı kabul edildiği için, duvarın mekanik özelliklerine ihtiyaç gerekli değildir. Düzlem dışı devrilme mekanizması hesaplarında duvarın basınç dayanımına erişmediği varsayılarak duvarın en dış nokta etrafında döndüğü (devrildiği, göçtüğü) kabul edilir (TYDRYK, 2017).

2.2.4 Kinematik Limit Analiz İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Son yıllarda, yığma yapıların deprem güvenliğini değerlendirmek için kullanılan kinematik limit analiz yöntemi hakkında pek çok deneysel ve nümerik çalışmalar yapılmıştır.

Milani ve Valente (2015), deprem sırasında zarar görmüş yedi adet yığma kilisesinin sismik yükler altındaki davranışını araştırmak için üç farklı yaklaşımın artılarını ve eksilerini sunmuş ve tartışmıştır. Göçme mekanizmalarına dayanan analitik kinematik limit analiz, sonlu eleman pushover analiz ve sonlu eleman kinematik limit analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda sonlu eleman limit analiz yönteminin en uygun yöntem olduğu ve göçme mekanizmalarını belirlemede daha avantajlı olduğu anlaşılmıştır.

Betti ve Galano (2012), yığma bir tarihi yapı olan Vicarious Sarayı'nın sismik performansını incelemişlerdir. 3D sonlu eleman modeli kullanılarak ANSYS yazılımı ile yapı modellenmiş, İtalyan Tenik Şartnamesi'ne uygun olarak statik analiz ve pushover analiz yapılmıştır. Pushover analiz sonuçları, kinematik limit analiz ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Statik analiz sonuçları sarayın düşey yüklere karşı yeterli dayanıma sahip olduğunu göstermiştir. Dinamik analiz sonuçlarında, yapı zayıflığının çoğunlukla duvarlar arasındaki yetersiz bağlantı detaylarından ve ahşap döşeme kirişlerinden kaynaklandığı görülmüştür. Yapısal bileşenler arasında etkili bağlantıların bulunmaması, sismik yükleme altında duvarların devrilmesine sebep olmaktadır. Pushover analiz ve kinematik analiz sonuçlarına göre yapının en zayıf kısımlarının güney ve batı cephelerinde bulunan duvarlar olduğu sonucuna varılmıştır (Şekil 2.20).

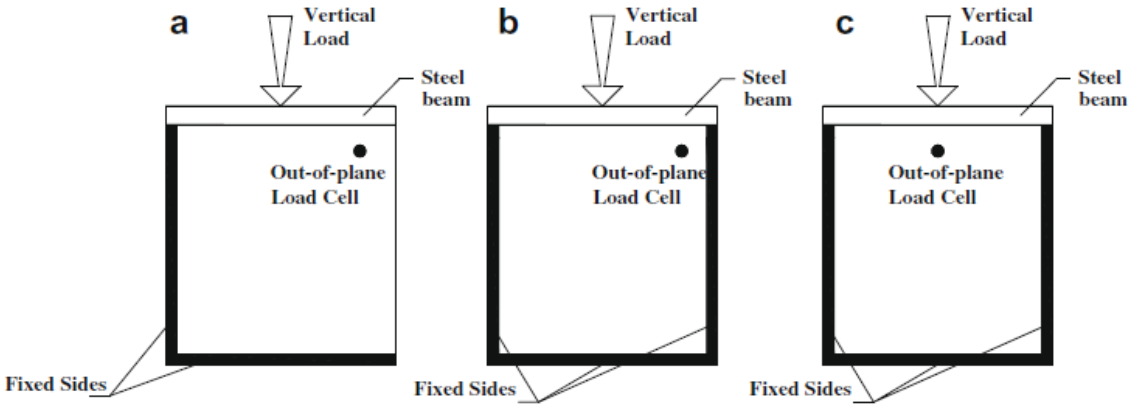


Şekil 2.20: a)Statik analizde yapıda oluşan düşey gerilmeler b) Pushover analizde (+X) yönünde deplasman c) Pushover analizde (+Y) yönünde (Betti ve Galano, 2012).

Milani ve Venturini (2011), mevcut yığma kiliselerin kırılganlık eğrilerinin değerlendirilmesi için sonlu eleman analiz yazılımı önermişleridir. İlk aşamada yığma blokların sonsuz rijit ve dayanıma sahip olduğu, bloklar arasındaki harç derzlerinin kalınlığının sıfır kabul edildiği bir yığma hacim üzerinde basitleştirilmiş kinematik analiz yöntemleri kullanılarak homojenize edilmiş yığma duvar kuvvetleri elde edilmiştir. İkinci aşamada bu kuvvetler düzlemsel bir alan ve hacim üzerinde kinematik sonlu eleman yazılımı ile yapısal bir seviyede uygulanmıştır. Önerilen iki aşamalı yaklaşım yığma birimlerden oluşan iki adet kilisede test edilmiş ve geleneksel bir elastik yaklaşımla elde edilmiş sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Göçme davranışı ve binaların dayanımı Monte Carlo simülasyonları ile değerlendirilmiştir.

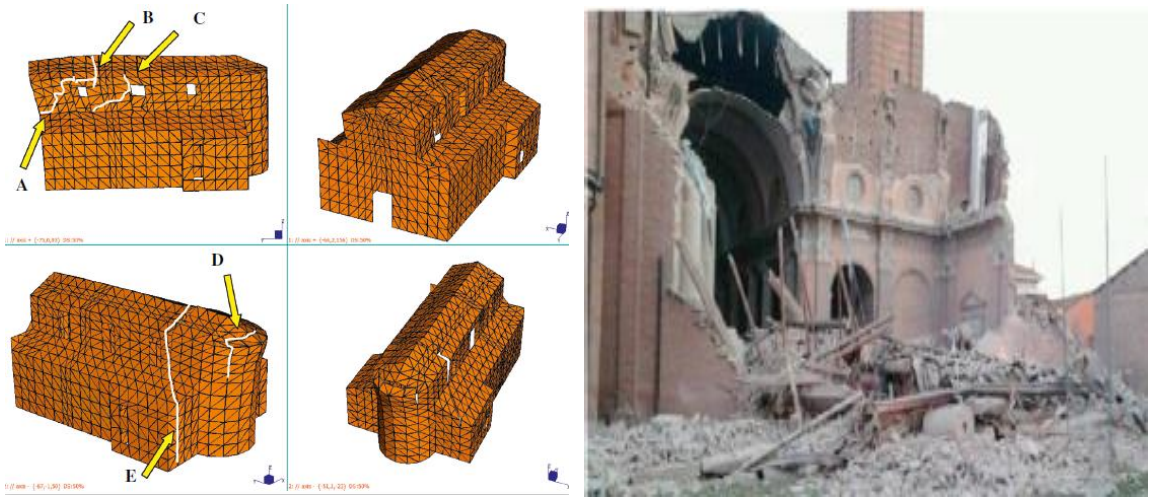
Zuccarello ve arkadaşları (2009), düzlem dışı yükleme yapılan yığma duvarların nümerik ve deneysel analizlerini sunmuşlardır. Deneysel analizler için yığma birimler arasında harç kullanılmadan oluşturulmuş, 300x300x12 cm boyutlarında, düzlem içi düşey kuvvete ve düzlem dışı konsantre yüke maruz kalan üç adet yığma deney düzeneği (A,B ve C) üzerinde çalışmışlardır. Her üç örnek düşey yüke maruz bırakılmış; A duvarının birbirine dik iki yüzeyi mesnetlenmiş ve duvar eksantirik düzlem dışı yüklenmiş, B duvarının üç kenarı mesnetlenmiş

ve duvar eksantirik düzlem dışı yüklenmiş, C duvarının ise üç kenarı mesnetlenmiş ve duvar merkezi düzlem dışı yüklenmiştir (Şekil 2.21). Düzlem dışı yüklenen duvar örneklerinin mekanik davranışını görebilmek için heterojen limit analiz ve homojen limit analiz yaklaşımına dayanan iki farklı sayısal model oluşturulmuştur. Deneysel analizlerden elde edilen göçme mekanizmaları sonlu eleman limit analiz sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Heterojen limit analiz yaklaşımının göçme yükünün değerlendirmesi ve yığma birimlerin düzlem dışı kaymasını detaylı göstermesi açısından daha güvenilir olduğu vurgulanmış, homojen limit analizin nispeten küçük boyutlu duvarlarda etkili sonuçlar verdiği ve duvar ebatları büyüdükçe güvenilir sonuçlardan uzaklaştığı görülmüştür.



Şekil 2.21: Mesnetlenme ve yükleme durumları a) A duvarı, b) B duvarı, c) C duvarı (Zuccarello ve diğ., 2009).

Milani ve diğ. (2018), İtalya'da gerçekleşen Emilia-Romagne depremleri sonucunda bir kısmı çökmüş veya büyük hasar almış üç yığma kilisenin göçme mekanizmalarını ve yapıların göçmesine neden olan yatay ivmeyi değerlendirme amacıyla kinematik limit analizler gerçekleştirmiştir. İlk aktif göçme mekanizmasına ait olan yatay ivme, Emilia-Romagne deprem ivmeleri ve İtalyan Yönetmeliği ile karşılaştırılmıştır. Limit analizlerden elde edilen göçme mekanizmaları, sismik olaylardan sonra gözlemlenenlerle uyumlu olduğu görülmüştür (Şekil 2.22). Ek olarak, limit analiz göçme mekanizması ivmelerinin gerçekte yapıya etkiyen ivmelere göre daha düşük olduğu saptanmıştır.



Şekil 2.22: Limit göçme mekanizması ve deprem sonrası gerçekleşen göçme (Milani ve diğ., 2018).

2.3 YIĞMA YAPILARDA GÜÇLENDİRME YÖNTEMLERİ

Ülkemizin; konumu, topraklarında yaşam sürmüş medeniyetleri ve zengin tarihsel geçmişi nedeni ile sahip olduğu çok sayıdaki tarihi yapı, geçen zaman süresince çeşitli sebeplerle kısmen veya belirgin düzeyde hasar görmüştür. Zaman içerisinde yıpranan, meydana gelen depremlerden zarar gören, kullanımı sırasında fonksiyon değiştiren, kullanıcı tarafından bazı yapısal elemanların kaldırıldığı veya eklendiği, hatalı iyileştirme uygulamaları gören bu yığma binaların mevcut durumlarının sorgulanması ve gerekli görüldüğü takdirde güçlendirilmesi gerekmektedir. Güçlendirme için yapının doğru tanımlanması, seçilen güçlendirme yönteminin optimum ve uygun maliyetli bir şekilde yapılması çok önemlidir. Ülkemizin deprem kuşağı üzerinde bulunması nedeniyle, sağlıklı güçlendirilmiş bir binanın aşağıdaki davranışları göstermesi beklenir:

- Düşük şiddetli depremlerde zarar görmemelidir.
- Deprem sırasında enerjinin bir kısmını sönümleyerek yapısal olmayan bazı hasarlar almalıdır.
- Şiddetli depremlerde yapısal veya yapısal olmayan hasarlar almalı ancak kesinlikle göçmemelidir.

Tarihi yığma yapılarda güçlendirme müdahaleleri yapının orijinal durumu olabildiğince korunarak yapılmalıdır. Bu kapsamda yapılan müdahaleler ile hem yapının öngörülen performans düzeyinin sağlaması hem de tarihi yığma yapının yapısal sistemine ve mimari

özelliklerine saygılı şekilde değerinin korunması amaçlanmaktadır. Yapılan güçlendirme uygulamaları yapı dayanım ve rijitliğin arttırılmasını, deprem enerjisi sönümleme kapasitesinin arttırılması veya sismik talebin azaltılmasını, taşıyıcı sistemdeki olası hasar ve kusurların onarımını içerir. Uygulanacak güçlendirme müdahalesinin seçiminde öncelikli ölçüt, yapısal güvenlik açısından taşıyıcı elemanlarda oluşacak hasarları sınırlandırmaktır (TYDRYK, 2017).

Son dönemlerde gerçekleştirilen güçlendirme uygulamalarında, teknik yöntemlerin ve malzemelerin etkin kullanımları açısından bazı eksikliklerin olduğu görülmektedir. Bu eksikliklerden dolayı hatalar içeren güçlendirme uygulamalarında yapı mevcut durumdan daha olumsuz bir seviyeye getirilebilir, tarihi dokuya zarar verilebilir ve büyük ekonomik kayıplar meydana gelebilir.

2.3.1 Ferrocement İle Güçlendirme

Ferrocement genel anlamda donatılı bir harç çeşididir. Belirli aralıklarla çok katlı kümes tellerinin bağlanması ve tüm donatının yüksek mukavemetli çimento harç tabakası kaplanmasıyla elde edilir (Şekil 2.23). Kullanılan çelik donatı oranı %3-8 arasında değişebilir (Topçu ve diğ., 2005). Alternatif olarak, püskürtme beton da duvar yüzeyine uygulanabilir. Bu yöntem Ferro-beton olarak da adlandırılır. Ferrocement uygulaması ucuzdur ve deneyimli el işçiliği gerektirmez. Yapı elemanının hem düzlem içi hem de düzlem dışı davranışını geliştirir. Duvar çatladıktan sonra deformasyonunu kısıtlar ve böylece düzlem içi elastik olmayan deformasyon kapasitesini geliştirir (ElGawady ve diğ., 2004).



Şekil 2.23: Ferrocement donatı örneği (ElGawady ve diğ., 2004).

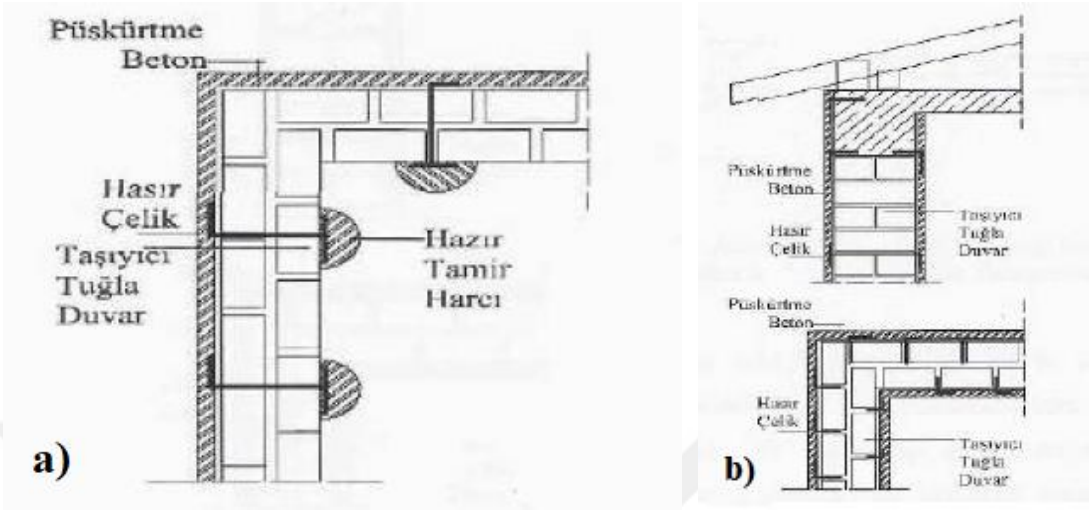
2.3.2 Çelik Hasır, Donatı ve Püskürtme Betonla Güçlendirme

Bu yöntem genellikle duvarda ileri düzeyde hasar olması durumlarında kullanılır. İleri düzeyde hasara örnek olarak deprem sırasında oluşmuş X-şeklindeki diyagonal çekme çatlakları verilebilir. Özellikle tuğla kullanılarak örülmüş, düzgün yüzeyli duvarlarda efektif bir yöntemdir. Uygulaması kolay ve iyi sonuç alınan bir yöntem olduğu için genellikle yığma yapılarda çok sık kullanılmaktadır.

Bu tür müdahalenin tam anlamıyla etkili olması için duvarın her iki yüzüne de uygulanması tercih edilmelidir (Şekil 2.24). Ancak, üst katlarda kat kesme kuvveti azaldığı için, güçlendirme boyları azaltılabilir ve duvarların bir taraflı güçlendirilmesi de kabul edilebilir. Duvarın iki yüzüne de uygulanması durumunda, oluşturulan sıva tabakalarının enine doğrultuda ankraj elemanları ile duvara bağlanması, eklenen tabakaların mevcut duvarla bütünleşmesi açısından önemlidir. Uygulama aşamalarında, taşıyıcı duvara epoksi ile ankraj çubukları yerleştirilir, hasır çelik donatı bu ankraj çubuklarına sabitlenir. Projesine göre yerleştirilen donatılar aderansı zayıflatacak her türlü kir ve tozdan arındırılmış olmalıdır. Hasır çelik seriminde bindirmeler bir veya bir buçuk göz olmalıdır. Daha sonra belirlenen kalınlıkta püskürtme beton uygulaması yapılır. Püskürtme işlemi uygulanacak yüzeye 1-1.5m mesafeden yapılmalıdır (Şekil 2.25). Yanlış püskürtme işlemi ile donatının etrafı yeterli kalınlıkta betonla kaplanamayabilir ve yüzeyde düzensizlikler oluşturabilir. Bu durum ileriki zamanlarda çatlakların oluşmasına sebep olabilir. Uygulama sırasında beton katmanlar halinde uygulanmalı ve alt tabakanın tamamen sertleşmesini beklemeden ikinci tabakaya geçilmelidir. Yığma yapıların püskürtme beton ile güçlendirilmesinde; binalar arası mesafenin dar olmasından ve uygulanan yüzeyle olan aderansını sağlamadaki zorluklardan dolayı uygulamada sorunlar yaşanabilmektedir (Özsaraç, 2008).

Donatılı püskürtme beton uygulaması yığma duvarların rijitliğini, taşıma kapasitesini ve kesme dayanımını önemli derecede arttırdığından dolayı güçlendirme uygulamalarında sıklıkla tercih edilmektedir. Özellikle düşük malzeme kalitesine sahip duvarlarda kesme dayanımının önemli oranda arttığı gözlenebilir. Yapılan her müdahalenin katkısı olduğu kadar yan etkileri de vardır. Örneğin, duvarın mekanik özellikleri iyileştirilirken, duvarın rijitliğinin artması dolayısıyla deprem esnasında alacağı yük de artabilir. Buna ek olarak, duvarların plandaki dağılımı göz önüne alındığında güçlendirme düzensiz olarak uygulanmışsa müdahale sonrası tarihi yapının

dinamik özellikleri değişebilir, burulma etkileri ve dolayısıyla müdahale yapılmamış duvarlarda yerel hasarlar ortaya çıkabilir (TYDRYK, 2017).



Şekil 2.24: Hasır çelik ve püskürtme beton uygulaması a) Tek taraflı, b) Çift taraflı. (Bayülke,1992), (Özsaraç, 2008).



Şekil 2.25: Püskürtme beton uygulaması (Abrams ve diğ., 2001).

2.3.3 Harç ve Epoksi Enjeksiyonu

Harç enjeksiyonu, mevcut binaların estetik ve mimari özelliklerini değiştirmeyen popüler bir güçlendirme tekniğidir. Maliyeti düşük, teknik titizlik gerektirmeyen, uygulaması kolay ve sürdürülebilir bir yöntemdir. Enjeksiyonların temel amacı, fiziksel ve kimyasal bozulma veya mekanik hareketler nedeniyle duvarda oluşmuş boşluklara ve çatlaklara, bağlayıcılığı yüksek ve özgün malzeme ile uyumlu bir harcı uygun basınç altında enjekte ederek duvarın mekanik özelliklerini geliştirmek ve orijinal bütünlüğünü tekrar sağlamaktır (Şekil 2.26) (Bhattacharya ve diğ., 2014).

Enjeksiyon uygulamasında nispeten küçük çatlaklar için epoksi reçinesi, daha büyük çatlakların, boşlukların ve boş derzlerin doldurulması için ise çimento esaslı harç yaygın olarak kullanılır (Şekil 2.27). Uygulama ile boşluk oranı yüksek olan duvarların hem rijitliklerinde hem de dayanımlarında iyileşmeler gözlenmesi mümkündür. Duvarın mevcut malzeme dayanımı düşükse veya boşluklu bir yapıya sahipse bu müdahalenin olumlu etkileri daha net olarak ortaya çıkmaktadır (Abrams ve diğ., 2001).



Şekil 2.26: Çimento enjeksiyonu uygulaması (Akcay ve diğ.,2016).



Şekil 2.27: Enjeksiyon cihazı ve uygulaması (TYDRYK, 2017).

Uygulamada kullanılacak enjeksiyon malzemesi yapının özgün duvar malzemesi ile uyumlu olması gerekmektedir. Enjeksiyonun duvardaki tüm boşlukları doldurabilmesi için ince ve akıcı bir yapıya sahip olması, ancak fazla akışkanlık sonucu çiçeklenme problemine yol açmaması gerekmektedir. Mevcut yapı birimleri ile enjeksiyon malzemesinin aderansının sağlaması için uygulama başlamadan önce mevcut yapı elemanı içinde zayıf toz şeklindeki maddelerin yıkanması veya ıslatılması gereklidir (TYDRYK, 2017).

2.3.4 FRP (Fibre-Reinforced Polymer/Fiber Takviyeli Polimer) Kullanımı

Yapısal güçlendirme ve onarım uygulamalarında FRP kompozit malzemelerinin kullanımı son yıllarda dünya çapında artış göstermektedir. Yüksek mukavemeti ve düşük özgül ağırlığı ile birleştirilen dayanıklılığı, FRP malzemesini geleneksel güçlendirme yöntemlerine alternatif bir rakip haline getirmiştir. Kolon, kiriş, döşeme ve taşıyıcı duvarların dış yüzeyine kaplanan FRP'nin mukavemet, yük taşıma kapasitesi ve süneklik gibi yapısal özelliklere etkisi deneysel ve analitik çalışmalarla gösterilmiştir.

FRP kompozit malzemeler karbon, cam, aramid fiberleriyle takviye edilmiş reçine karışımından oluşurlar. İçerisindeki reçine karışımı fiberlerin arasına yükün dağılması sağlar ve ayrıca fiberleri çevresel etkenlerden korur. Karbon lifleri, dünyada bilinen en sağlam malzemelerden biri olması kapsamında; gerilmeye karşı çelikten on dört kat daha mukavim ve

çeliğin beşte biri ağırlığa sahiptir (Sayın ve diğ., 2011). Fiber takviyeli polimerler; düşük yoğunluklu, uyumlu mekanik özellikte olup, paslanmaya ve kimyasal maddelere karşı dayanıklıdır. Günümüzde inşaat mühendisliği alanında binaların, köprülerin ve diğer alt yapı sistemlerinin sismik güçlendirmesinde söz konusu malzemelerin kullanımları yaygınlaşmaktadır (Bastianini ve diğ., 2005). Sismik güçlendirmenin asıl amacı, yapıyı gelecek yatay kuvvetlere yani çekme gerilmelerine karşı kuvvetlendirmektir. Fiber takviyeli polimer uygulamalarında, yapı elemanlarının çekme bölgelerine FRP malzemeleri yerleştirilerek bu bölgelerde deprem sırasında oluşabilecek yatay kuvvetlere karşı çekme elemanları oluşturulmaktadır (Sayın ve diğ., 2011). Şekil 2.28'de yığma taşıyıcı duvarda FRP uygulamasına dair bir örnek sunulmuştur.



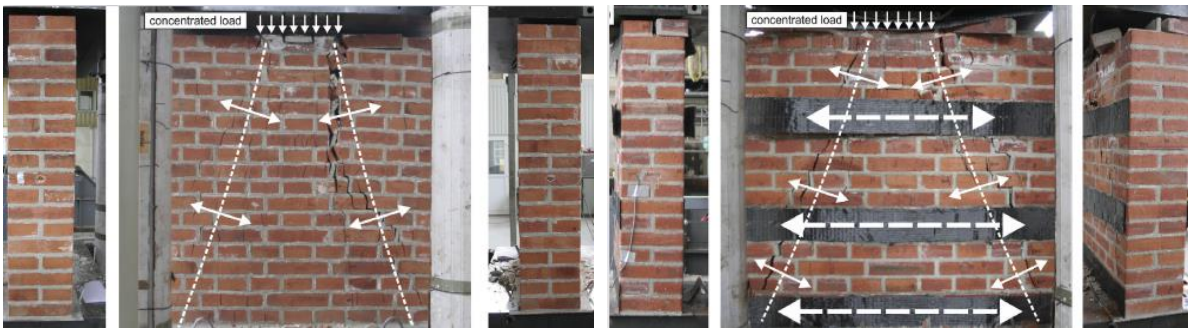
Şekil 2.28: Yığma taşıyıcı duvarda FRP uygulaması (Sayın ve diğ., 2011).

Ayrıca esnek ve hızlı uygulanabilmektedir. Levha ve dokuma şeklinde üretilen FRP'ler duvar yüzeyine epoksi esaslı yapıştırıcıyla uygulanır. Epoksi esaslı yapıştırıcı sürülmeden önce astar uygulanarak FRP ve duvar yüzeyi ile olan aderans arttırılmış olur.

2.3.5 Güçlendirme İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Güçlendirme yöntemlerinin yapı elemanlarına etkisi ve çalışma prensipleri ile ilgili litreatürde pek çok çalışma mevcuttur.

Witzany ve diğ. (2016), deneysel ve nümerik çalışmalarla, yığma duvarın CFRP (karbon fiber takviyeli polimer) şeritleri ile güçlendirmesi ve duvarın performansı arasındaki ilişkiyi araştırmışladır. ANSYS yazılımı ile yığma duvarların kompozit şeritlerle güçlendirilmiş modelleri oluşturularak nümerik analizleri gerçekleştirilmiştir. Deneysel ve nümerik analizlerde epoksi reçinelerle beraber CFRP şeritlerini duvar etrafında sarma (EBR) ve CFRP şeritlerini yığma duvarda harç içerisinde kullanma (NSM) olarak iki farklı güçlendirme detayı kullanılmıştır. Duvar kesiti boyunca ve kesitin üçte biri kadar bölümde olmak üzere iki farklı üniform basınç yüklemesi yapılmıştır (Şekil 2.29). Deneysel ve teorik analizler, yığma duvarların rehabilitasyonu ve stabilitesi için uygulanabilir veriler sağlamıştır. Ancak yığma duvarın tamamı kompozit şeritlerle çevrilmediğinden, güçlendirmenin kolonlardaki kadar etkili olmadığı görülmüştür. Ayrıca bozunma fazında (degradation phase) duvarın mekanik özellikleri hakkında hala birçok açık uçlu sorunun olduğunu belirtmişlerdir.



Şekil 2.29: Test yığma duvarın yükleme sonucu kırılma şekli (Witzany ve diğ., 2016).

Saghafi ve arkadaşları (2014), CFRP ile farklı biçimlerde güçlendirilmiş yığma duvarların düzlem içi davranışlarını incelemek amacıyla duvarları ANSYS yazılımı ile modelleyerek düşey ve yatay yükler altında pushover analizi gerçekleştirmişlerdir. Güçlendirilmemiş yığma duvar üzerinde yapılan deneysel ve nümerik analizler ile yanal yük-deplasman eğrilerinin uyumluluğu kontrol edilmiştir. Duvarlar, 2 ve 4 cm kalınlıklarında farklı CFRP şeritleri kullanılarak yatay-düşeyde uygulama ve sadece düşeyde uygulama ile güçlendirilmiştir. Elde edilen analiz sonuçlarına göre CFRP şeritleri ile güçlendirilmiş yığma elemanların yanal taşıma kapasitesi ve sünekliği artmıştır. Yatay-düşey CFRP şeritleri ile güçlendirme yönteminin

sadece düşeyde CFRP ile güçlendirmeye göre daha etkili olduğu görülmüştür. CFRP şeritlerinin kalınlığının artması ile güçlendirilmiş yığma elemanın yanal yükler altında daha iyi performans sergilediği tespit edilmiştir.

Akcay ve diğ. (2016), çalışmalarında, yığma birim taşıyıcı sisteme sahip bir yapının deprem performansını arttırmak amacıyla konvansiyonel olmayan restorasyon uygulaması sunmuşlardır. Bu kapsamda, ilk aşamada yapıdan yığma birimlerinin mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla örnekler alınmış, laboratuvar çalışmaları kapsamında malzeme analizleri ve mekanik testler gerçekleştirilmiştir. İkinci aşamada, nümerik analiz kapsamında yapının 3D modeli kurulmuş, malzeme ve mukavemet açısından yetersiz olan elemanlar belirlenmiştir. Üçüncü aşamada, laboratuvar ve nümerik analiz sonuçları kullanılarak oluşturulan restorasyon uygulamaları yer almaktadır. Restorasyon uygulamaları kapsamında duvarlardaki yapısal çatlaklar enjeksiyon yöntemi ile doldurulmuş, volta döşemeler donatılı beton kaplama yöntemi ile iyileştirilmiş, pencere ve kapı boşlukları çelik plakalarla güçlendirilmiş, dış cephe duvarları karbon fiber polimerle sarılmış, iç duvarlar da çelik ankraj ve hasır çelik içeren beton ile desteklenmiştir (Şekil 2.30).



Şekil 2.30: İlgili yapıdan güçlendirme uygulamaları (Akcay ve diğ., 2016).

Sayın ve arkadaşları (2011), yığma yapının deprem etkisi altında davranışını dikkate alarak gerçekleştirilmiş güçlendirme teknikleri ile restorasyon ve yapısal emniyet parametreleri arasındaki ilişkileri sunmuşlardır. Bu kapsamda, yapı cephesindeki pencere aralarında bulunan X çatlaklarında ve yapı kat hizalarında, karbon fiber plaka ve plaka üzerine uygulanan karbon fiber dokuma ile yapının yatay yüklere karşı kapasitesinin ve sünek davranışının arttırılması öngörülmüş; volta döşemelerde mevcut beton ve cüruf dolgu kaldırılıp IPN çelik profiller

üzerine kayma donatısı montajı yapılarak, döşemenin düşey yüklere karşı güçlendirilmesi yanında yatay yüklere karşı da yapının sismik direncinin artması sağlanmıştır (Şekil 2.31).



Şekil 2.31: İlgili yapıda volta döşeme güçlendirmesi (Sayın ve diğ., 2011).

Bui ve arkadaşları (2015), kompozit malzemelerle güçlendirilmiş boşluklu tuğla duvarların düzlem içi yükleme koşullarında davranışını araştırmışlardır. Laboratuvar ortamında aynı sınır ve yükleme koşulları altında 6 farklı duvar numunesi üzerinde kesme ve basınç testleri yapmışlardır. Sonuçlarda TRC kullanılarak güçlendirilen duvarların, yanal kuvvet kapasitesi bakımından FRP ile kaplananlara göre daha düşük performans gösterdiği görülmüş, yine de duvarın süneklik kapasitesinin önemli ölçüde arttığı anlaşılmıştır. Ayrıca yapılan deneylerde, duvarların düzlem içi davranışının gelişmesinde ankraj sistemlerinin önemi görülmüştür.

3. MALZEME VE YÖNTEM

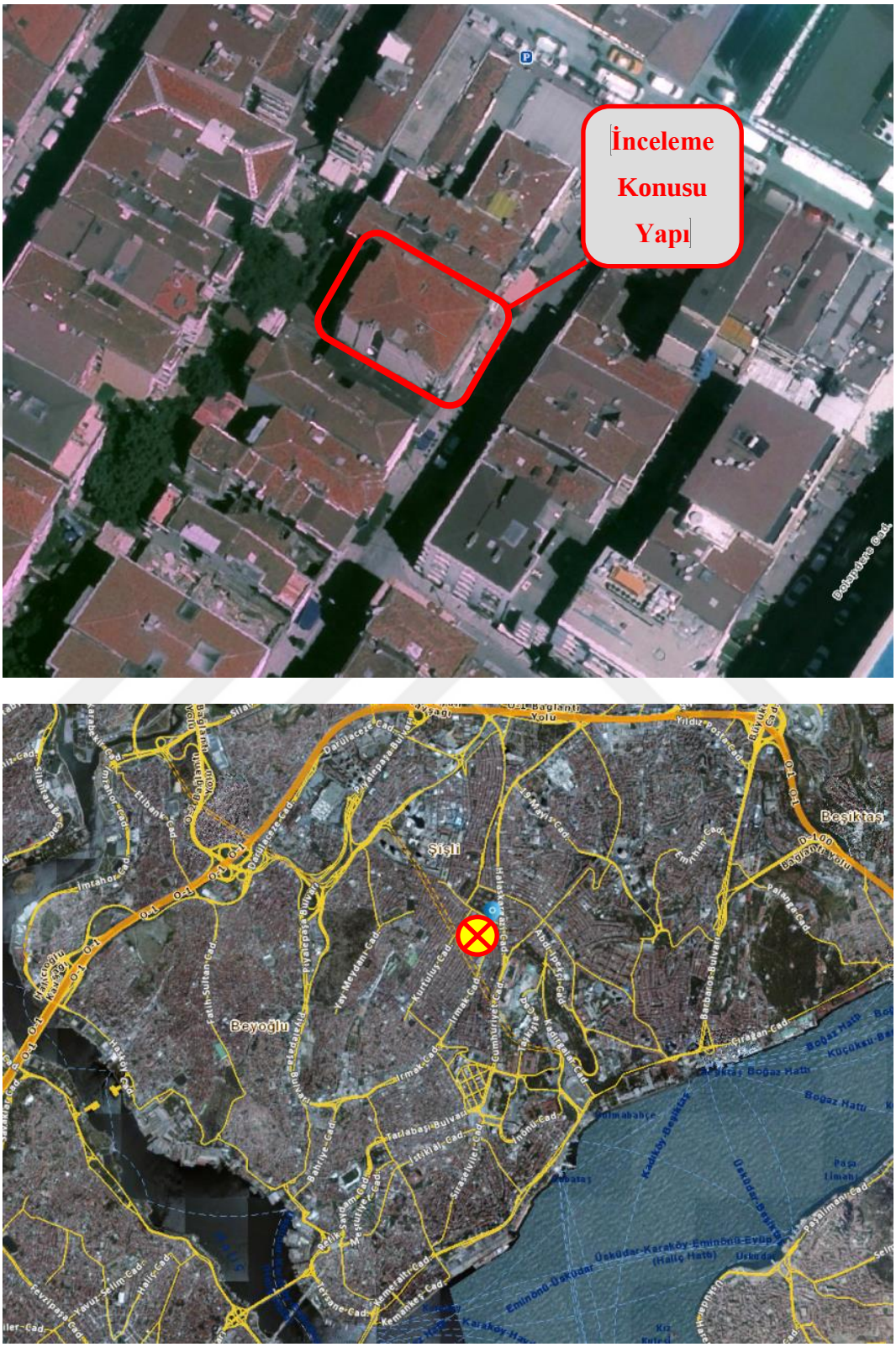
3.1 TEZ KONUSU YAPININ TANIMLANMASI

Rölöve projesi ile yerinde yapılan gözlemsel incelemeler sonucu elde edilen veriler ışığında İstanbul İli, Şişli İlçesi, Bozkurt Mahallesi, 216 Pafta, 1294 Ada, 13 Parsel adresinde bulunan, bodrum kat + zemin kat + 5 normal kattan oluşan bina teze konu edilmiştir. Yerinde yapılan incelemeler sonucunda yapının yığma ana taşıyıcı sisteme sahip olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 3.1'de binanın genel görünüşü verilmiştir.



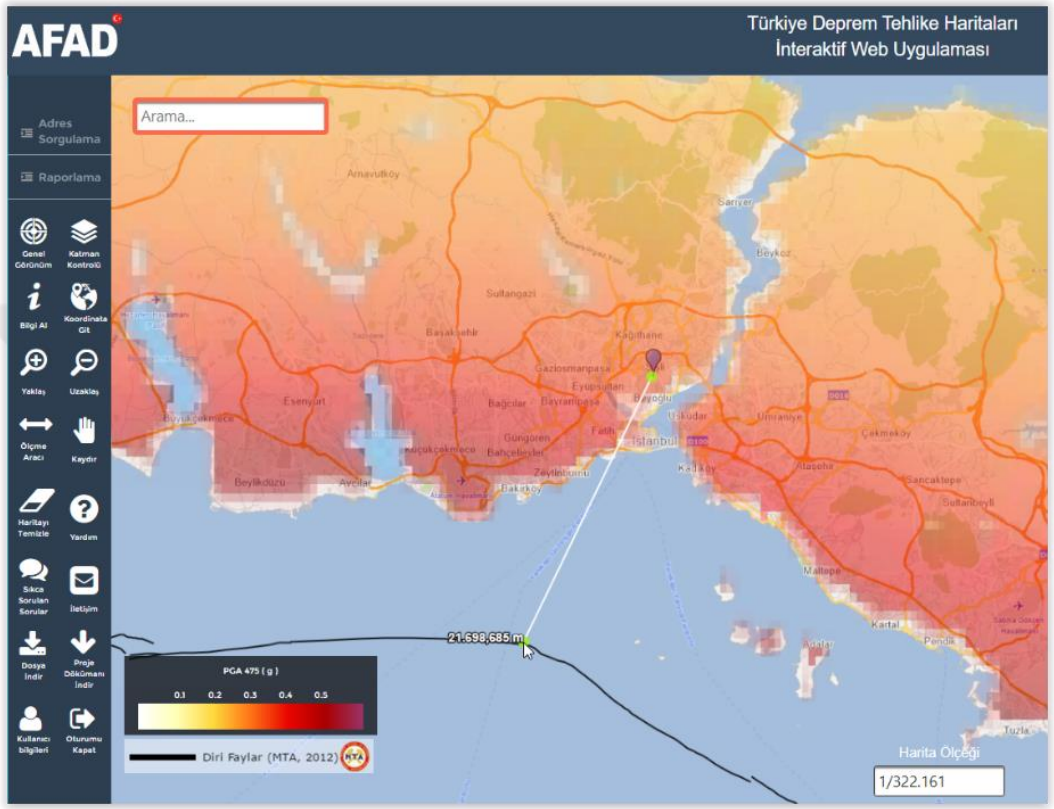
Şekil 3.1: İncelenen binanın genel görünümü.

Şekil 3.2'de yapının ve bulunduğu bölgenin uydu görünüşleri verilmiştir.



Şekil 3.2: İnceleme konusu binanın konumu ve uydu görünümü.

Yapının en yakın aktif fay hattına olan uzaklığı AFAD'ın hazırlamış olduğu Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması ile belirlenmiştir (AFAD, 2019). İlgili haritada yapının konumu işaretlenmiş olup, en yakın fay hattına uzaklık 21.698 m olarak belirlenmiştir. (Şekil 3.3)



Şekil 3.3: İncelenen yapının en yakın aktif faya uzaklığı (AFAD, 2019).

Şekil 3.4’de yapının vaziyet planı, Şekil 3.5‘de ise yapının bulunduğu sokağın mimari silueti verilmiştir.



Şekil 3.4: Vaziyet planı.



Şekil 3.5: Yapının bulunduğu sokağın silueti.

Söz konusu mevcut yapının taşıyıcı sistemi yığma duvarlar ile teşkil edilmiştir. Rölöve projesi ve yerinde yapılan incelemelere göre yığma duvarların yapının dış akslarında genellikle düşey sürekliliğe sahip olduğu fakat iç kısımlarda yer yer süreksizliklerin mevcut olduğu tespit edilmiştir. Yığma duvarlara binanın kullanım süreci boyunca farklı zamanlarda kısmi müdahalelerde bulunulduğu düşünülmektedir.

Kat yükseklikleri bodrum katta 2.77, zemin katta 2.58, 1. normal katta 3.57, 2. normal katta 3.52, 3. normal katta 3.53, 4. normal katta 3.44, 5. normal katta ise 2.88 m'dir. Yapının x yönünde 9.85 ve 9.87 m, y yönünde ise 19.97 ve 20.15 m uzunluğunda olduğu görülmüştür. Yapının döşemeleri genellikle volta döşeme olarak belirlenmiş olup bazılarının da tipi asma tavandan dolayı tespit edilememiştir. Yapının temel sistemi hakkında bilgi bulunmamaktadır.

3.1.1 Bodrum Kat

Bu katta yığma kolon ve duvarlar ile betonarme kolon ve yatay hatıllar bulunmaktadır. Bodrum kat tavanı genel olarak kaplanmış durumda olduğu için döşeme sistemi hakkında bilgi edinilememiştir.

Yapının x yönünde 9.85 ve 9.87 m, y yönünde ise 19.97 ve 20.15 m uzunluğunda olduğu görülmüştür. Bu katta yapının arka cephesinde bir ek kısım bulunmaktadır. Bodrum kat taban alanı söz konusu ek kısım dahil yaklaşık 197 m^2, ek kısım hariç durumda ise yaklaşık 135 m^2'dir. Bu katın taşıyıcı sistemi 15, 25, 35, 40, 43, 45, 50, 55, 60, 65 ve 70 cm kalınlıklarında yığma duvarlar ile teşkil edilmiştir. Ayrıca bu katta yapının iç kısmında 30x40 cm ebatlarında betonarme kolonlar ve 85x90 cm ebatlarında yığma kolon bulunmaktadır. Kat yüksekliği 2.77m'dir. Şekil 3.6'da yapının bodrum katından görünüşler verilmiştir.

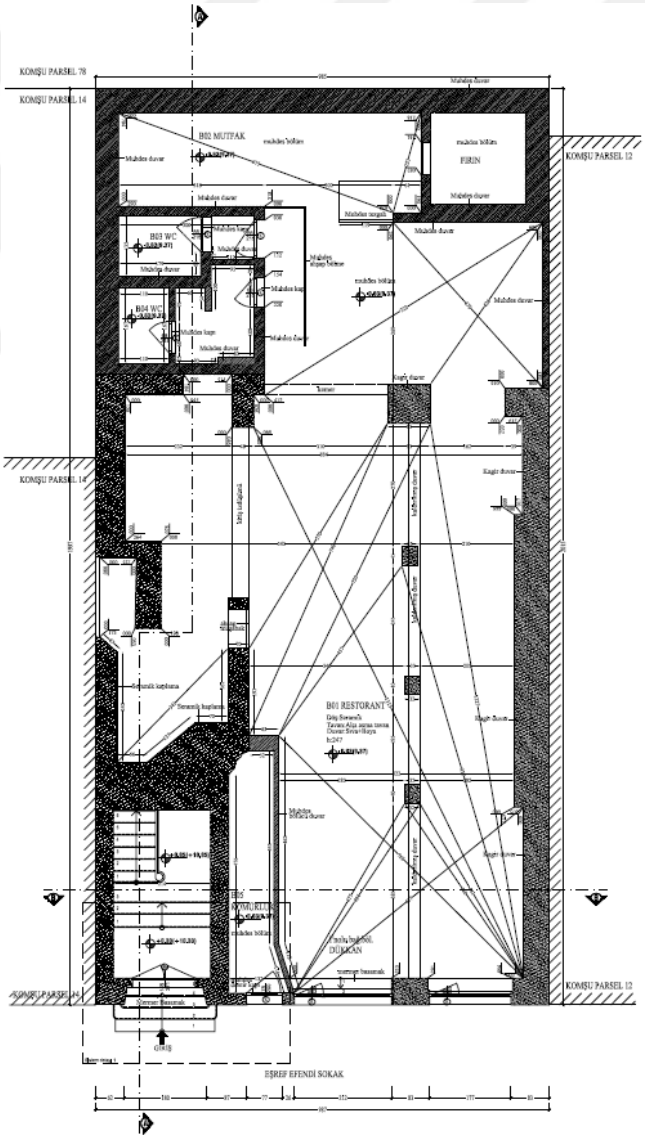


Şekil 3.6: Yapının bodrum katından görünüşler.



Şekil 3.6 (devam): Yapının bodrum katından görünüşler.

Şekil 3.7'de yapının bodrum kat mimari rölöve planı verilmiştir.



Şekil 3.7: Bodrum kat mimari rölöve planı.

3.1.2 Zemin Kat

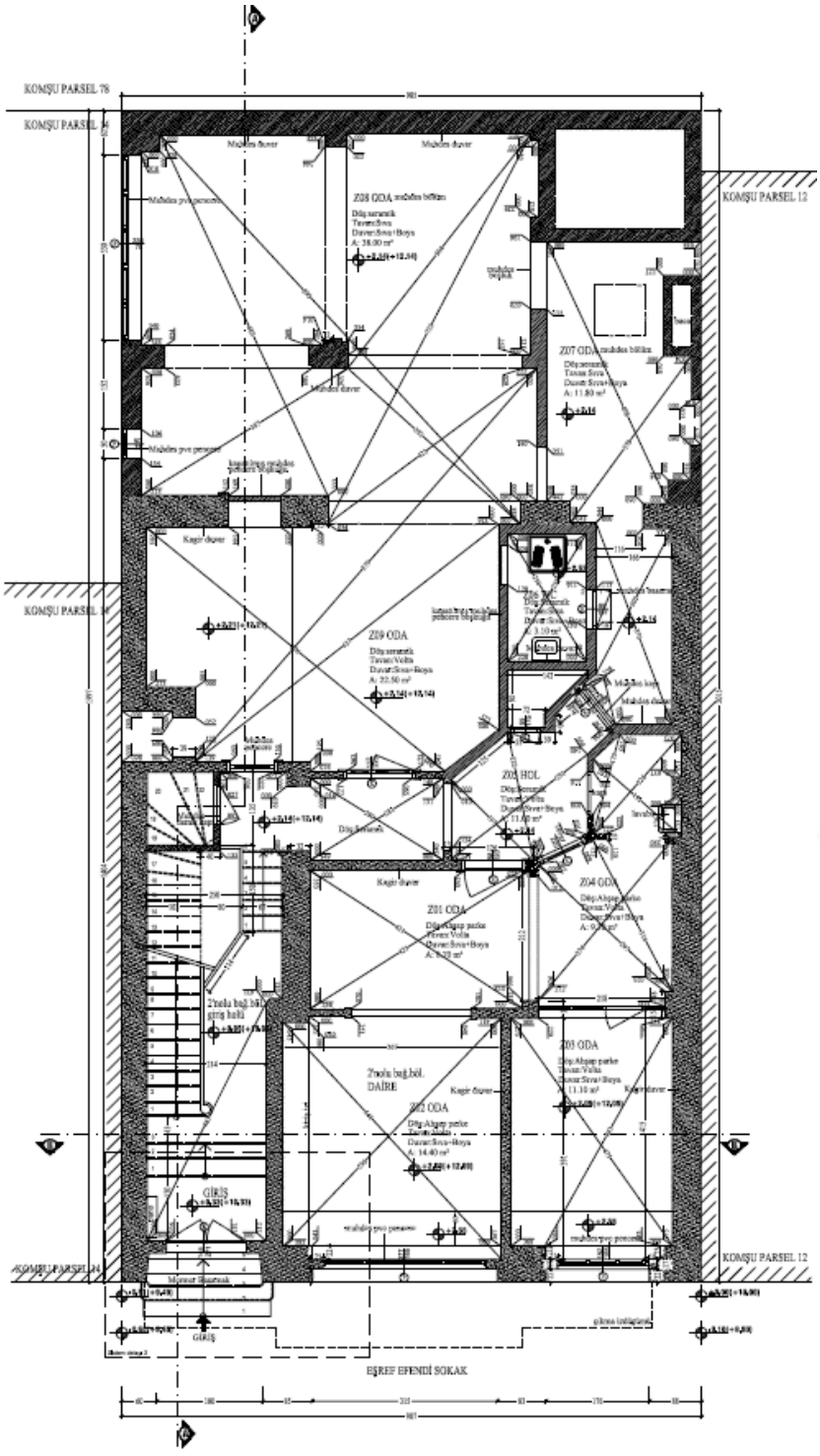
Bu katta yığma duvarlar ve betonarme yatay hatıllar bulunmaktadır. Zemin kat tavanı genel olarak ahşap ve volta döşeme sistemine sahiptir.

Yapının x yönünde 9.85 ve 9.87 m, y yönünde ise 19.97 ve 20.15 m uzunluğunda olduğu görülmüştür. Bu katta yapının arka cephesinde bir ek kısım bulunmaktadır. Zemin kat taban alanı söz konusu ek kısım dahil yaklaşık 197 m^2, ek kısım hariç durumda ise yaklaşık 132 m^2'dir. Bu katın taşıyıcı sistemi 10, 12, 15, 18, 27, 30, 40, 45, 50, 60, 65 ve 70 cm kalınlıklarında duvarlar ile teşkil edilmiştir. Kat yüksekliği 2.58 m'dir. Şekil 3.8'de yapının zemin katından görünüşler verilmiştir.



Şekil 3.8: Yapının zemin katından görünüşler.

Şekil 3.9'da yapının zemin kat mimari rölöve planı verilmiştir.



Şekil 3.9: Zemin kat mimari rölöve planı.

3.1.3 1.Normal Kat

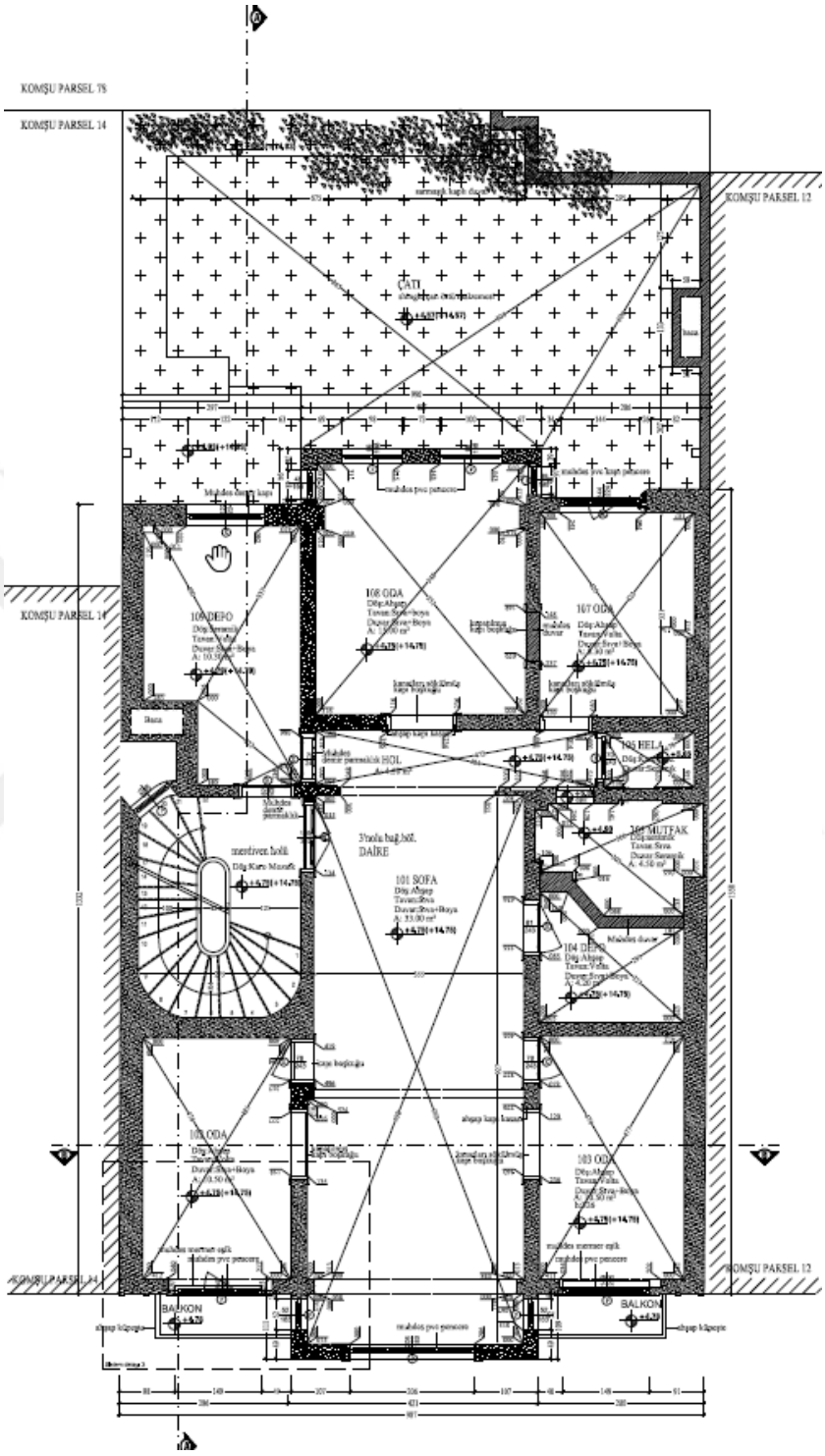
Bu katta yığma duvarlar ve betonarme yatay hatıllar bulunmaktadır. Mimari rölöve projesinde belirtildiği şekilde ön cephede cumba ve balkonlar mevcuttur. 1. normal kat tavanı ahşap ve volta döşeme sistemine sahiptir.

Yapının x yönünde 9.87 ve 9.90 m, y yönünde ise 13.32 ve 13.58 m uzunluğunda olduğu görülmüştür. Bu katta yapının ön cephesinde 111 cm uzunluğunda 420 cm genişliğinde bir cumba ile 76 cm uzunluğunda, 216 ve 227 cm genişliğinde 2 adet balkon bulunmaktadır. Ayrıca yapının arka cephesinde de 94 cm uzunluğunda 377 cm genişliğinde cumba bulunmaktadır. Bu katta yapının arka cephesinde bir ek kısım bulunmaktadır. 1. Normal kat taban alanı söz konusu ek kısım dahil yaklaşık 202 m^2, ek kısım hariç durumda ise yaklaşık 144 m^2'dir. Bu katın taşıyıcı sistemi 10, 14, 15, 18, 20, 25, 30, 33, 35, 40 ve 50 cm kalınlıklarında duvarlar ile teşkil edilmiştir. Kat yüksekliği 3.57 m'dir. Şekil 3.10'da yapının 1. normal katından görünüşler verilmiştir.



Şekil 3.10: Yapının 1. normal katından görünüşler.

Şekil 3.11'de yapının 1. normal kat mimari rölöve planı verilmiştir.



Şekil 3.11: 1. Normal kat mimari rölöve planı.

3.1.4 2.Normal Kat

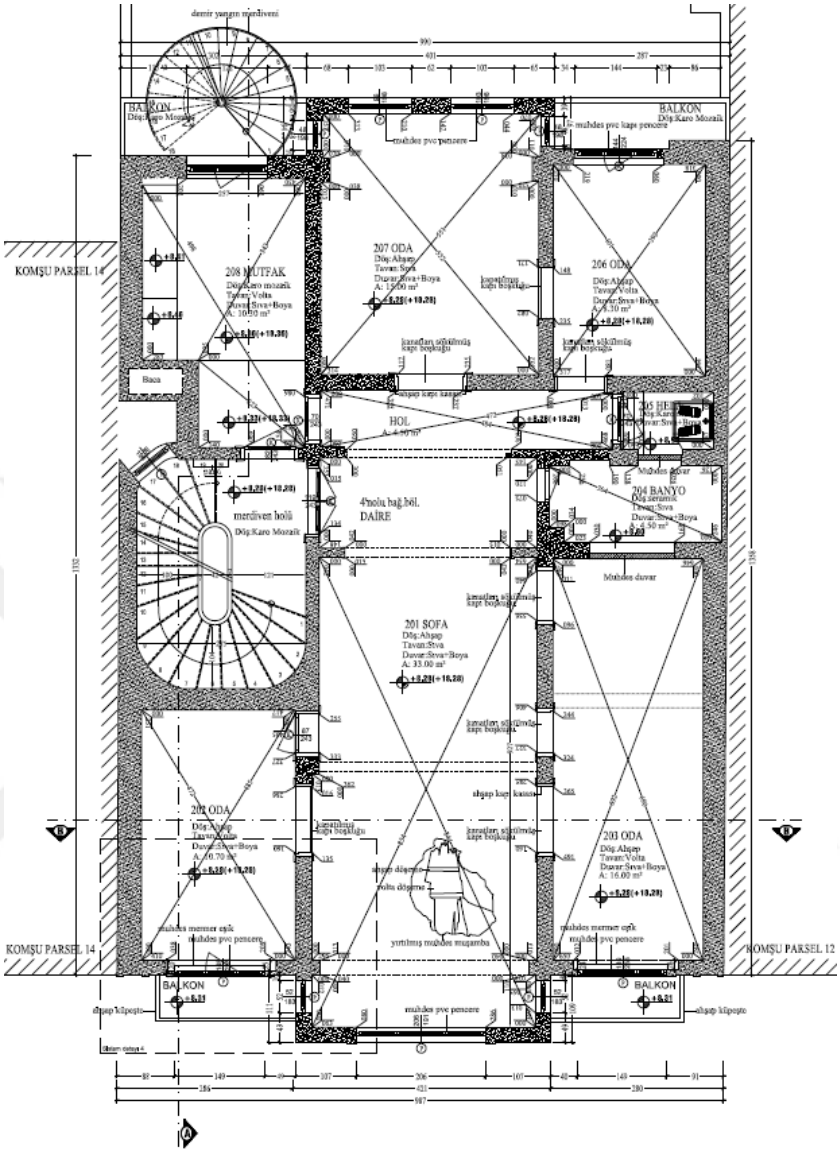
Bu katta yığma duvarlar ve betonarme yatay hatıllar bulunmaktadır. mimari rölöve projesinde belirtildiği şekilde yapının ön ve arka cephelerinde cumba ve balkonlar mevcuttur. 2. normal kat tavanı ahşap ve volta döşeme sistemine sahiptir.

Yapının x yönünde 9.87 ve 9.90 m, y yönünde ise 15.37 ve 14.64 m uzunluğunda olduğu görülmüştür. Bu katta yapının ön cephesinde 111 cm uzunluğunda 420 cm genişliğinde bir cumba ile 76 cm uzunluğunda, 216 ve 227 cm genişliğinde 2 adet balkon bulunmaktadır. Yapının arka cephesinde ise 94 cm uzunluğunda 401 m genişliğinde bir cumba ile 94 cm uzunluğunda ve 302 ve 287 cm genişliğinde 2 adet balkon bulunmaktadır. 2. Normal kat taban alanı yaklaşık 149 m^2'dir. Bu katın taşıyıcı sistemi 10, 14, 15, 18, 20, 25, 30, 35, 37, 40 ve 50 cm kalınlıklarında duvarlar ile teşkil edilmiştir. Kat yüksekliği 3.52 m'dir. Şekil 3.12'de yapının 2. normal katından görünüşler verilmiştir.



Şekil 3.12: Yapının 2. normal katından görünüşler.

Şekil 3.13'de yapının 2. normal kat mimari rölöve planı verilmiştir.



Şekil 3.13: 2. Normal kat mimari rölöve planı.

3.1.5 3.Normal Kat

Bu katta yığma duvarlar ve betonarme yatay hatıllar bulunmaktadır. Mimari rölöve projesinde belirtildiği şekilde yapının ön ve arka cephelerinde cumba ve balkonlar mevcuttur. 3. normal kat tavanı ahşap ve volta döşeme sistemine sahiptir.

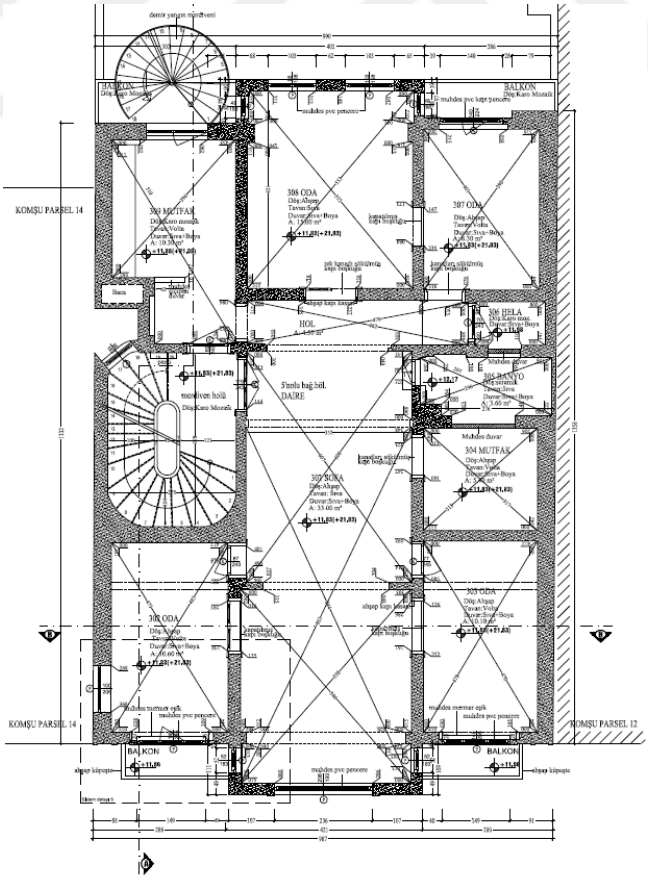
Yapının x yönünde 9.87 ve 9.90 m, y yönünde ise 15.37 ve 14.64 m uzunluğunda olduğu görülmüştür. Bu katta yapının ön cephesinde 111 cm uzunluğunda 420 cm genişliğinde bir cumba ile 76 cm uzunluğunda, 216 ve 227 cm genişliğinde 2 adet balkon bulunmaktadır. Yapının arka cephesinde ise 94 cm uzunluğunda 402 m genişliğinde bir cumba ile 94 cm

uzunluğunda ve 302 ve 286 cm genişliğinde 2 adet balkon bulunmaktadır. 3. Normal kat taban alanı yaklaşık 149 m^2'dir. Bu katın taşıyıcı sistemi 15, 18, 20, 25, 27, 30, 35, 40 ve 50 cm kalınlıklarında duvarlar ile teşkil edilmiştir. Kat yüksekliği 3.53 m'dir. Şekil 3.14'de yapının 3. normal katından görünüşler verilmiştir.



Şekil 3.14: Yapının 3. normal katından görünüşler.

Şekil 3.15'de yapının 3. normal kat mimari rölöve planı verilmiştir.



Şekil 3.15: 3. Normal kat mimari rölöve planı.

3.1.6 4.Normal Kat

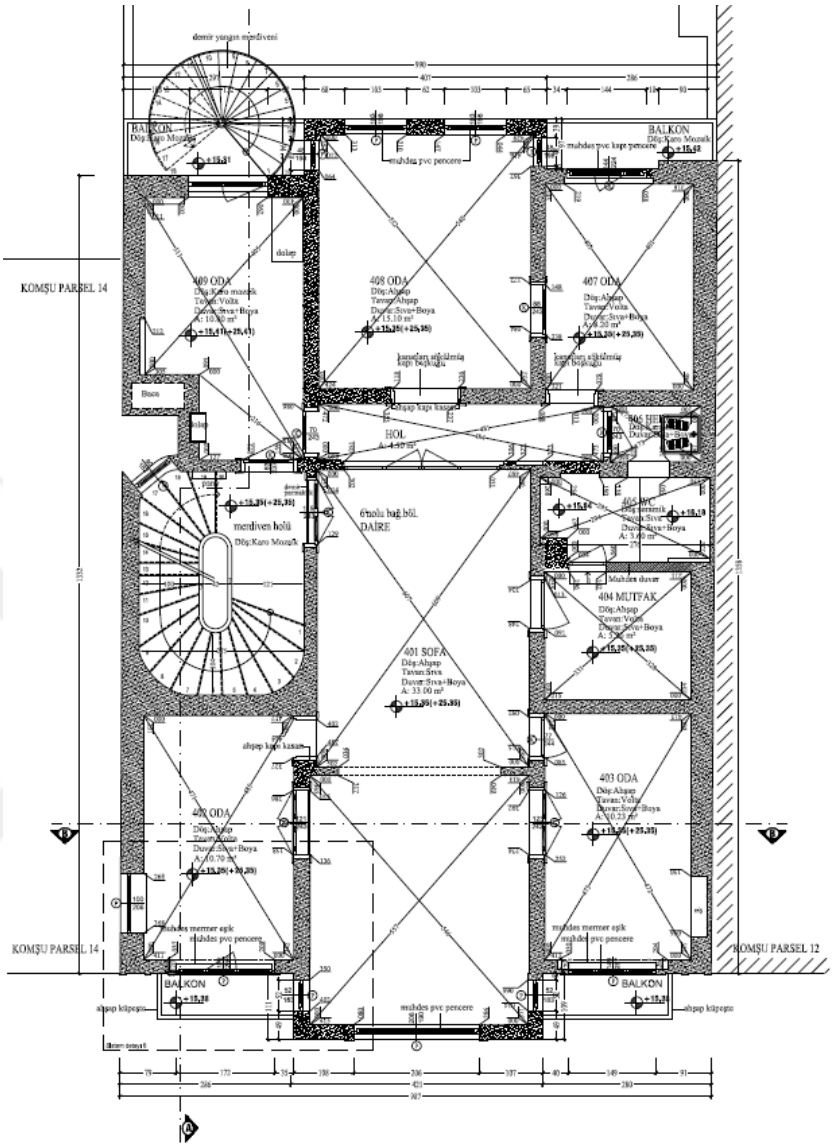
Bu katta yığma duvarlar ve betonarme yatay hatıllar bulunmaktadır. Mimari rölöve projesinde belirtildiği şekilde yapının ön ve arka cephelerinde cumba ve balkonlar mevcuttur. 4. normal kat tavanı ahşap ve volta döşeme sistemine sahiptir.

Yapının x yönünde 9.87 ve 9.90 m, y yönünde ise 15.37 ve 14.64 m uzunluğunda olduğu görülmüştür. Bu katta yapının ön cephesinde 111 cm uzunluğunda 420 cm genişliğinde bir cumba ile 76 cm uzunluğunda, 216 ve 227 cm genişliğinde 2 adet balkon bulunmaktadır. Yapının arka cephesinde ise 94 cm uzunluğunda 407 m genişliğinde bir cumba ile 94 cm uzunluğunda ve 297 ve 287 cm genişliğinde 2 adet balkon bulunmaktadır. 4. Normal kat taban alanı yaklaşık 149 m^2'dir. Bu katın taşıyıcı sistemi 8, 10, 12, 14, 15, 18, 20, 25, 27, 30, 35, 40 ve 50 cm kalınlıklarında duvarlar ile teşkil edilmiştir. Kat yüksekliği 3.44 m'dir. Şekil 3.16'da yapının 4. normal katından görünüşler verilmiştir.



Şekil 3.16: Yapının 4. normal katından görünüşler.

Şekil 3.17'de yapının 4. normal kat mimari rölöve planı verilmiştir.



Şekil 3.17: 4. Normal kat mimari rölöve planı.

3.1.7 5.Normal Kat

Bu katta yığma duvarlar ve betonarme yatay hatıllar bulunmaktadır. Mimari rölöve projesinde belirtildiği şekilde yapının ön ve arka cephelerinde cumba ve balkonlar mevcuttur. 5. normal kat tavanı ahşap ve volta döşeme sistemine sahiptir.

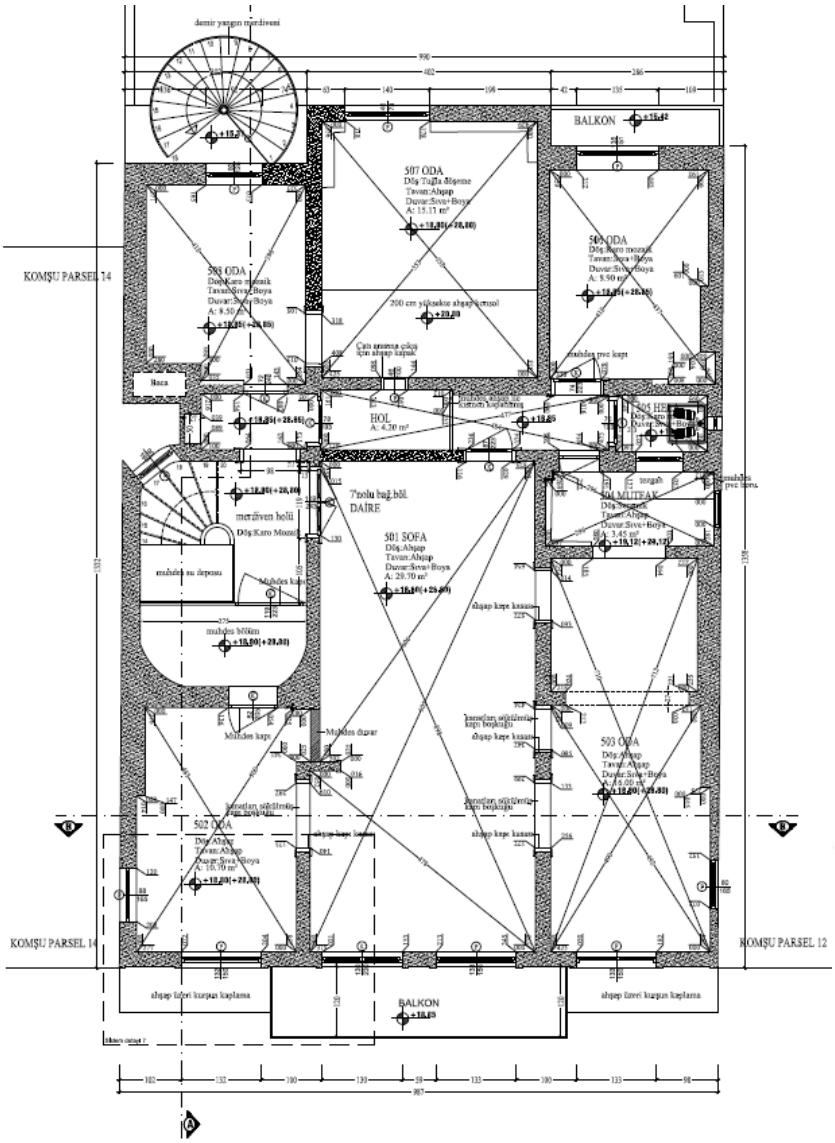
Yapının x yönünde 9.87 ve 9.90 m, y yönünde ise 15.37 ve 14.64 m uzunluğunda olduğu görülmüştür. Bu katta yapının ön cephesinde 120 cm uzunluğunda 491 cm genişliğinde bir balkon ile 76 cm uzunluğunda, 216 ve 227 cm genişliğinde balkonlar bulunmaktadır. Yapının arka cephesinde ise 94 cm uzunluğunda 402 m genişliğinde bir cumba ile 94 cm uzunluğunda

ve 302 ve 286 cm genişliğinde 2 adet balkon bulunmaktadır. 5. Normal kat taban alanı yaklaşık 151 m^2'dir. Bu katın taşıyıcı sistemi 10, 14, 15, 20, 25, 27, 30, 40, 43 ve 45 cm kalınlıklarında duvarlar ile teşkil edilmiştir. Kat yüksekliği 2.88 m'dir. Şekil 3.18'de yapının 5. normal katından görünüşler verilmiştir.



Şekil 3.18: Yapının 5. normal katından görünüşler.

Şekil 3.19'da yapının 5. normal kat mimari rölöve planı verilmiştir.



Şekil 3.19: 5. Normal kat mimari rölöve planı.

3.1.8 Yığma Elemanlarda Malzeme Tespitleri

Yapıdaki yığma taşıyıcı elemanların türü ve uygulama şekli; taşıyıcı duvarlardaki sıva tabakası sıyrılarak ya da gözlemsel olarak yapılan tespitler neticesinde belirlenmiştir. Yığma yapı elemanları için malzeme değerleri, TBDY (2018), Yönetmelik-Tablo 11.2 ve Yönetmelik-Tablo 11.3'den alınmıştır. Şekil 3.20'de katlarda yığma taşıyıcı eleman tespit çalışmalarına yer verilmiştir.



Şekil 3.20: Yığma taşıyıcı eleman tespit çalışmaları.

3.1.9 Hasar Tespitleri

Yerinde yapılan incelemelerde neticesinde taşıyıcı yığma duvarlarda diyagonal çatlaklar ve hasarların mevcut olduğu görülmüştür. Buna ilave olarak yapının pencere ve kapı boşluklarının kenarlarında ve üstünde yapısal çatlaklar bulunmaktadır. Yapıdaki betonarme yatay hatıllarda kesme çatlakları mevcuttur. Döşemelerdeki ahşap elemanlarda çürümeler; volta kirişlerde ise korozyon hasarları gözlenmiştir.

Şekil 3.21’de yapıda mevcut olan bu hasarlardan bazılarına örnekler verilmiştir.



Şekil 3.21: Yapıdaki mevcut hasarlardan örnekler.

3.2 YIĞMA YAPILARLA İLGİLİ YÖNETMELİK VE KILAVUZLAR

3.2.1 Zemin ve Deprem Parametreleri

Statik analizlerde kullanılan zemin ve deprem parametreleri, TBDY (2018)'ndeki kriterler dikkate alınarak, Tablo 3.1'deki gibi tanımlanmıştır.

Tablo 3.1: Zemin ve deprem parametreleri.

Yerel Zemin Sınıfı	ZD
Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DD-2
Deprem Haritası Spektral İvme Katsayıları (g)	S_s = 0.833, S_1 = 0.235

3.2.1.1 Yerel Zemin Sınıfları

Analizlerde kullanılacak zemin parametreleri, yapının zemin etüd raporu dikkate alınarak belirlenmiştir. İlgili raporda $V_{s(30)}$ Ortalama Kayma Dalgası Hızı 278 m/sn olarak verilmiş olup bu değer TBDY (2018)'de yerel zemin sınıfları tablosunda "ZD" zemin sınıfına tekabul etmektedir. Tablo 3.2'de yerel zemin sınıfları tablosu gösterilmiştir.

Tablo 3.2: Yerel zemin sınıfları (TBDY, 2018).

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Cinsi	Üst 30 metrede ortalama		
		$(V_s)_{30}$ [m/s]	$(N_{60})_{30}$ [darbe /30 cm]	$(c_u)_{30}$ [kPa]
ZA	Sağlam, sert kayalar	> 1500	–	–
ZB	Az ayrışmış, orta sağlam kayalar	760 – 1500	–	–
ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrışmış, çok çatlaklı zayıf kayalar	360 – 760	> 50	> 250
ZD	Orta sıkı – sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları	180 – 360	15 – 50	70 – 250
ZE	Gevşek kum, çakıl veya yumuşak – katı kil tabakaları veya $PI > 20$ ve $w > \%40$ koşullarını sağlayan toplamda 3 metreden daha kalın yumuşak kil tabakası $(c_u < 25$ kPa$)$ içeren profiller	< 180	< 15	< 70
ZF	Sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler: 1) Deprem etkisi altında çökme ve potansiyel göçme riskine sahip zeminler (sıvılaşabilir zeminler, yüksek derecede hassas killer, göçebilir zayıf çimentolu zeminler vb.), 2) Toplam kalınlığı 3 metreden fazla turba ve/veya organik içeriği yüksek killer, 3) Toplam kalınlığı 8 metreden fazla olan yüksek plastisiteli (PI >50) killer, 4) Çok kalın (> 35 m) yumuşak veya orta katı killer.			

3.2.1.2 Deprem Yer Hareketi Düzeyleri

TBDY (2018) kapsamında, Şekil 3.22'de belirtilen dört farklı deprem yer hareketi düzeyi tanımlanmıştır. Analizlerde, performans hedefi için "Deprem Yer Hareketi Düzeyi-2 (DD-2)" kullanılmıştır.

2.2.1. Deprem Yer Hareketi Düzeyi-1 (DD-1)

DD-1 *Deprem Yer Hareketi*, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %2 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 2475 yıl olduğu *çok seyrek* deprem yer hareketini nitelemektedir. Bu deprem yer hareketi, *gözönüne alınan en büyük deprem yer hareketi* olarak da adlandırılmaktadır.

2.2.2. Deprem Yer Hareketi Düzeyi-2 (DD-2)

DD-2 *Deprem Yer Hareketi*, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %10 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 475 yıl olduğu *seyrek* deprem yer hareketini nitelemektedir. Bu deprem yer hareketi, *standart tasarım deprem yer hareketi* olarak da adlandırılmaktadır.

2.2.3. Deprem Yer Hareketi Düzeyi-3 (DD-3)

DD-3 *Deprem Yer Hareketi*, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %50 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 72 yıl olduğu *sık* deprem yer hareketini nitelemektedir.

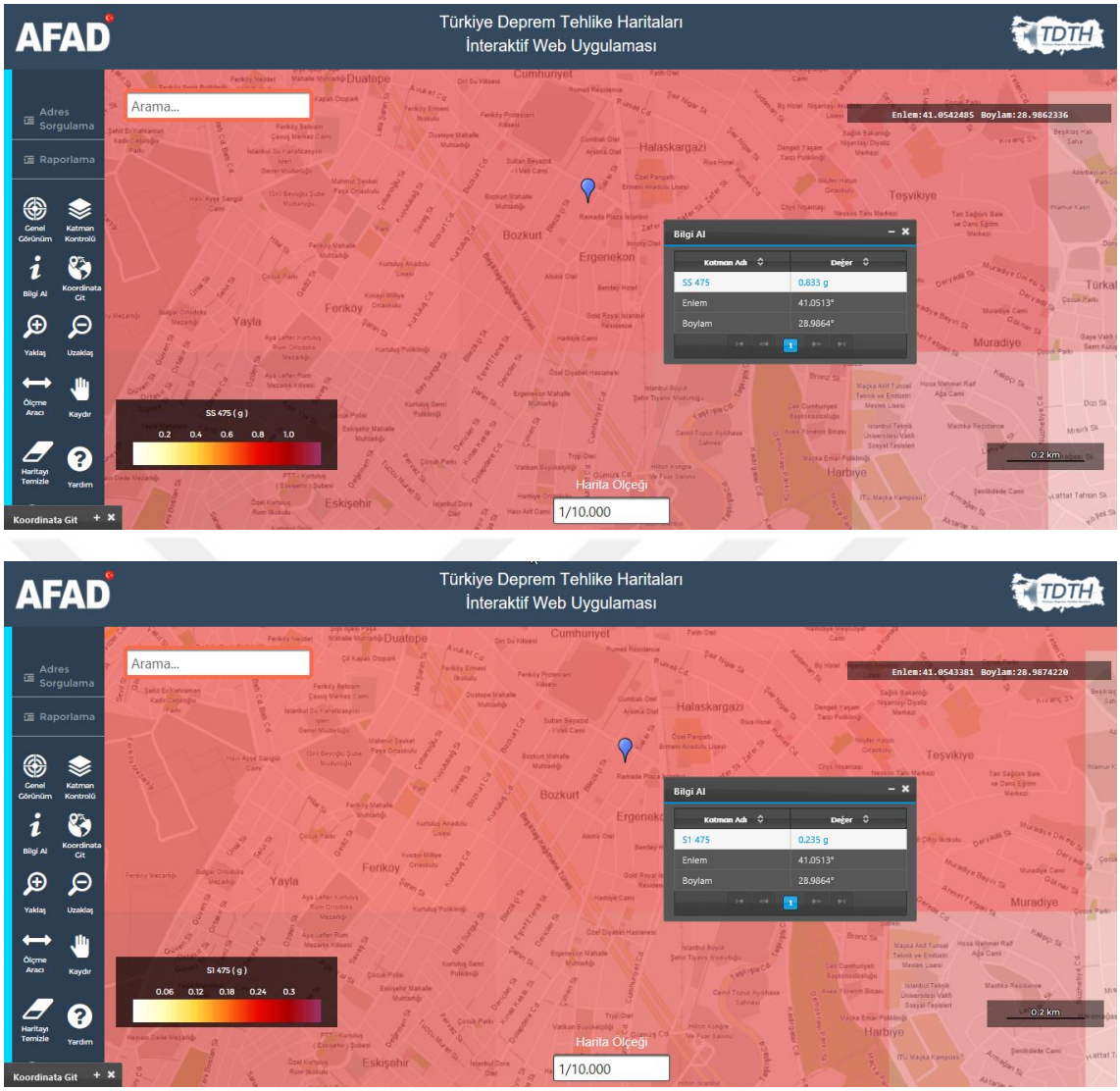
2.2.4. Deprem Yer Hareketi Düzeyi-4 (DD-4)

DD-4 *Deprem Yer Hareketi*, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %68 (30 yılda aşılma olasılığı %50) ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 43 yıl olduğu *çok sık* deprem yer hareketini nitelemektedir. Bu deprem yer hareketi, *servis deprem yer hareketi* olarak da adlandırılmaktadır.

Şekil 3.22: Deprem yer hareketi düzeyleri (TBDY, 2018).

3.2.1.3 Yerel Zemin Etki Katsayıları (F_s ve F_1)

Elastik ivme spektrumu karakteristik değerleri zemin sınıfına göre seçilmiştir. Bu değerlere göre spektrum grafiği TBDY (2018)'nde verilen yerel zemin etki katsayılarına bağlı olarak şekillenecektir (Tablo 3.3). Deprem haritası spektral ivme katsayıları (S_s ve S_1), AFAD'ın hazırlamış olduğu Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması ile belirlenmiştir (AFAD, 2019). İlgili haritada yapının konumu işaretlenmiş olup, 475 yıl dönüş periyodu olan deprem için; S_s = 0.833g ve S_1 = 0.235g olarak belirlenmiştir (Şekil 3.23). Yerel zemin etki katsayıları (F_s ve F_1), belirlenen spektral ivme katsayıları ve yerel zemin sınıfının "ZD" oluşu bilgileri doğrultusunda, Tablo 3.3'de verilen değerler arasında enterpolasyon yapılarak; F_s = 1.16, F_1 = 2.13 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.23: Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması (AFAD, 2019).

Tablo 3.3: Yerel zemin etki katsayıları (TBDY, 2018).

Tablo 2.1 – Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayıları

Yerel Zemin Sınıfı	Kısa periyot bölgesi için *Yerel Zemin Etki Katsayısı* F_S					
	$S_S \le 0.25$	$S_S = 0.50$	$S_S = 0.75$	$S_S = 1.00$	$S_S = 1.25$	$S_S \ge 1.50$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
ZC	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
ZD	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
ZE	2.4	1.7	1.3	1.1	0.9	0.8
ZF	*Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır* (**Bkz.16.5**).					

Tablo 2.2 – 1.0 saniye periyot için Yerel Zemin Etki Katsayıları

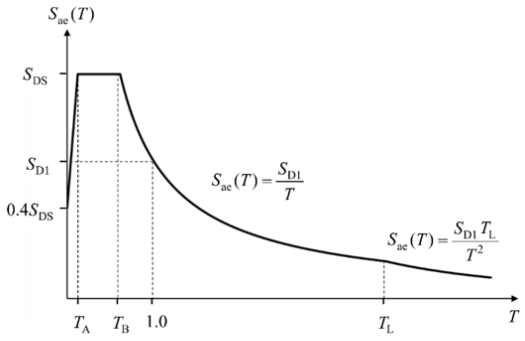
Yerel Zemin Sınıfı	1.0 saniye periyot için *Yerel Zemin Etki Katsayısı* F_1					
	$S_1 \le 0.10$	$S_1 = 0.20$	$S_1 = 0.30$	$S_1 = 0.40$	$S_1 = 0.50$	$S_1 \ge 0.60$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZC	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
ZD	2.4	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7
ZE	4.2	3.3	2.8	2.4	2.2	2.0
ZF	*Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır* (**Bkz.16.5**).					

3.2.1.4 Spektral İvme Katsayıları ve Yatay Elastik İvme Spektrumu

Spektral ivme katsayıları, TBDY (2018)'nde tarif edildiği üzere, harita spektral ivme katsayılarının yerel zemin etki katsayıları ile çarpılması ile denklem (3.1)'deki gibi elde edilmiştir;

$$S_{DS} = S_S\, F_S = 0.833 \text{ x } 1.16 = 0.966$$
$$S_{D1} = S_1\, F_1 = 0.235 \text{ x } 2.13 = 0.500 \qquad (3.1)$$

Buna göre, yatay elastik spektral ivme değerleri S_{ae} (T) ve yatay elastik ivme spektrumu köşe periyotları (T_A ve T_B), yukarıda hesaplanan değerlere ve yönetmelikte verilen kriterlere (Şekil 3.24) bağlı olarak hesaplanmıştır ve yatay elastik ivme spektrumu oluşturulmuştur.



$$S_{ae}(T) = \left(0.4 + 0.6\frac{T}{T_A}\right) S_{DS} \qquad (0 \le T \le T_A)$$
$$S_{ae}(T) = S_{DS} \qquad (T_A \le T \le T_B)$$
$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}}{T} \qquad (T_B \le T \le T_L)$$
$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}T_L}{T^2} \qquad (T_L \le T)$$
$$T_A = 0.2\frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad ; \quad T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

Sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu T_L = 6 s alınacaktır.

Şekil 3.24: Spektral ivme katsayıları ve yatay elastik ivme spektrumu.

3.2.2 Yapısal Parametreler

Statik analizlerde kullanılan parametreler, TBDY (2018)'ndeki kriterler dikkate alınarak, Tablo 3.4'deki gibi tanımlanmıştır. İlgili değerlere ait detaylar, bu bölümde sunulmuştur.

Tablo 3.4: Analiz parametreleri.

Bina Kullanım Sınıfı (BKS) ve Bina Önem Katsayısı (I)	3, 1.0
Hareketli Yük Katılım Katsayısı (n)	0.30
Deprem Tasarım Sınıfı (DTS)	1
Bina Yükseklik Sınıfı (BYS)	5

3.2.2.1 Bina Kullanım Sınıfı ve Bina Önem Katsayıları (BKS ve I)

Mevcut bina, konut-işyeri amaçlı kullanıldığından dolayı, TBDY (2018)'nde "Diğer binalar" olarak belirtilen sınıfta değerlendirilmiş olup, bina kullanım sınıfı (BKS) = 3, bina önem katsayısı (I) = 1 olarak belirlenmiştir (Tablo 3.5).

Tablo 3.5: Bina kullanım sınıfları ve bina önem katsayıları (TBDY, 2018).

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

3.2.2.2 Hareketli Yük Katılım Katsayısı (n)

Mevcut bina, konut-işyeri amaçlı kullanıldığından dolayı, hareketli yük kütle katılım katsayısı (n) = 0.30 olarak belirlenmiştir (Tablo 3.6).

Tablo 3.6: Hareketli yük kütle katılım katsayısı (TBDY, 2018).

Binanın Kullanım Amacı	*n*
Depo, antrepo, vb.	0.80
Okul, öğrenci yurdu, spor tesisi, sinema, tiyatro, konser salonu, ibadethane, lokanta, mağaza, vb.	0.60
Konut, işyeri, otel, hastane, otopark, vb.	0.30

3.2.2.3 Deprem Tasarım Sınıfı (DTS)

TBDY (2018)'nde verilen kriterler ile mevcut binanın, hesaplanan kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı (SDS) ve bina kullanım sınıfı (BKS) dikkate alınarak, deprem tasarım sınıfı (DTS)=1 olarak belirlenmiştir (Tablo 3.7).

Tablo 3.7: Deprem tasarım sınıfları (DTS) (TBDY, 2018).

DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyinde Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı (S_{DS})	Bina Kullanım Sınıfı	
	BKS = 1	BKS = 2, 3
$S_{DS} < 0.33$	DTS = 4a	DTS = 4
$0.33 \le S_{DS} < 0.50$	DTS = 3a	DTS = 3
$0.50 \le S_{DS} < 0.75$	DTS = 2a	DTS = 2
$0.75 \le S_{DS}$	DTS = 1a	DTS = 1

3.2.2.4 Bina Yükseklik Sınıfı (BYS)

TBDY (2018)'nde verilen kriterler ile mevcut binanın, deprem tasarım sınıfı ve yönetmeliğin E21. Maddesi dikkate alındığında, bina yükseklik sınıfının (BYS)=8 olması gerektiği anlaşılmaktadır. Ancak, binanın mevcut yüksekliği göz önüne alındığında, BYS=5 olmakta olup, bina yükseklik sınıfı açısından gereken şartlar sağlanmamaktadır (Tablo 3.8). Ancak, mevcut yapılarda bu şart aranmamaktadır.

Tablo 3.8: Bina yükseklik sınıfları ve deprem tasarım sınıflarına göre tanımlanan bina yükseklik aralıkları (TBDY, 2018).

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

İnceleme konusu bina sonradan eklendiği düşünülen birkaç betonarme eleman bulundursa da ana taşıyıcı sistemini yığma duvarlar oluşturmaktadır. Yığma malzemesi dolu blok tuğladır. Bu nedenle mevcut yapı TBDY (2018)'de yığma yapılar için belirtilen performans kriterlerine göre analiz edilerek gerekli performans kriterlerini sağlayıp sağlamadığı araştırılmıştır.

3.2.3 Malzeme Parametreleri

3.2.3.1 Malzeme Uygunluğu ve Gruplandırılması

TBDY (2018)'nde, kargir birimler malzeme tipi ve delik oranına göre iki gruba ayrılmıştır. İnceleme konusu yapıda, yığma duvar malzemesi olarak dolu blok tuğla veya harman tuğlası (çimento takviyeli kireç harcı ile) kullanılmış olup, kullanılan bu malzeme yönetmeliğe uygundur. Yerinde yapılan gözlemsel tespitler doğrultusunda, yığma duvar malzemesi olarak; kargir birim cinsi, "Tuğla" ve delik oranlarına göre gruplandırma tablosundan malzeme grubu, "Grup I (α<%35)" olarak seçilmiştir (Tablo 3.9).

Tablo 3.9: Kargir birimlerin delik oranlarına göre gruplandırılması (TBDY, 2018).

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

3.2.3.2 Duvarların Karakteristik Basınç Dayanımı

TBDY (2018)'e göre kargir birimler için kullanılacak minimum basınç dayanımları Madde 11.2.3 ve Madde 11.2.6'da verilmiştir. İnceleme konusu binanın yığma duvar malzeme dayanım değerleri için yönetmelikteki en düşük dayanım değerleri esas alınmıştır. Analizlerde esas alınan değerler, Tablo 3.10'da işaretlenmiş olup, harç basınç dayanımı f_m = M1(1.0 MPa), kargir birim basınç dayanımı f_b = 5.0 MPa, duvar karakteristik basınç dayanımı ise f_k = 1.7 MPa alınmıştır.

Tablo 3.10: Yığma taşıyıcı duvarların karakteristik basınç dayanımı, f_k (MPa) (TBDY, 2018).

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

(*) *Harçlar M harfini takip eden rakam MPa cinsinden karakteristik basınç dayanımlarını gösterecek şekilde isimlendirilmiştir.*
(**) *İnce tabakalı harç, birimler arası harç tabakası 0.5 mm ile 3.0 mm olan harç.*

İtalyan NTC-08 (2008) Yönetmeliği'nde de belirtildiği üzere malzemelerin ortalama çekme dayanımının, başlangıç kesme dayanımının 1.5 katı olduğu dikkate alınarak çekme dayanımı için dolu blok tuğla duvarda f_t=0.15 N/mm^2 değeri esas alınmıştır.

3.2.3.3 Elastisite Modülü ve Kayma Modülü

TBDY 2018'e göre taşıyıcı duvarların elastisite modülü E_{duv}, 750f_k değeri kadar alınmalıdır. Duvar kayma modülü, G_{duv}, elastisite modülünün %40'ı kadar kabul edilmelidir. Mevcut

yapının statik analizinde elastisite ve kayma modülleri, bu maddedeki kurallar dikkate alınarak tanımlanmıştır. Bu doğrultuda, yapının statik analizinde duvar elastisite modülü (E_{duv}) = 750f_k = 1275 MPa, duvar kayma modülü ise, G_{duv} = %40 (E_{duv}) = 510 MPa şeklinde tanımlanmıştır.

3.2.4 Mevcut Yapının TBDY (2018)'ne Göre Tahkikleri

3.2.4.1 Yığma Duvarların Basınç Tahkikleri, TBDY (2018) - Madde 11.4.1

TBDY 2018 Madde 11.4.1'de yığma duvarların basınç tahkikleri hakkında bilgiler verilmiştir. İlgili maddeye göre; Yığma duvardaki düşey tasarım kuvveti, N_{Ed}, tasarım dayanımı N_{Rd}'den daha büyük olmamalıdır. Madde 15.2.12'ye göre performans analizlerinde bilgi düzeyi katsayısı haricinde malzemeler ile ilgili tasarıma yönelik dayanım azaltma katsayıları kullanılmamaktadır. Bu doğrultuda tasarım basınç dayanımı (f_d) bulunurken karakteristik kesme dayanımı (f_{vk}), dayanım azaltma katsayısına (γ_m) bölünmemiştir. Denklem (3.2) ve denklem (3.3)'de λ kapasite azaltma katsayısını, A ise dolu duvar parçasının yatay en kesit alanını ifade etmektedir.

$$N_{Rd} = \lambda A f_d \tag{3.2}$$

$$f_d = f_k / \gamma_m \tag{3.3}$$

3.2.4.2 Narinlik Oranlarının Hesaplanması, TBDY (2018) - Madde 11.4.2

TBDY (2018) Madde 11.4.2'de narinliğe bağlı olarak kullanılacak kapasite azaltma katsayısının değerleri verilmiştir. Ancak, TBDY (2018) Madde 15.2.12'ye göre performans analizlerinde bilgi düzeyi katsayısı haricinde malzemeler ile ilgili tasarıma yönelik dayanım azaltma katsayıları kullanılmamaktadır.

3.2.4.3 Kesme Kuvvetleri Etkisindeki Yığma Duvarlarda Uygulanacak Geometrik Şartlar, TBDY (2018) - Madde 11.5.1

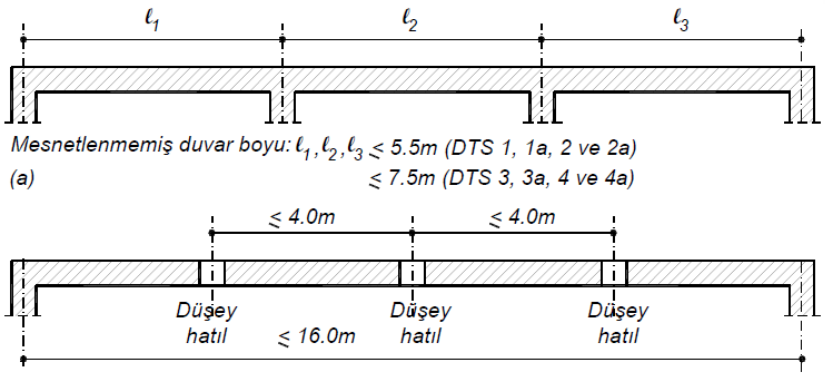
Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018)'ne göre, taşıyıcı eleman olarak dikkate alınacak duvarlar Tablo 3.11'de verilen şartları sağlamalıdır. Aksi haldeki duvarlar taşıyıcı eleman olarak dikkate alınmamalıdır. Bu durum incelendiğinde, mevcut yapıda 240 mm'den ince duvarlar ve "(h_{ef}/t_{ef})>15" olan duvarlar bulunmaktadır. Buna göre, söz konusu bina, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018)'ne göre geometrik şartları sağlamamaktadır.

Tablo 3.11: Kesme kuvveti etkisinde yığma duvarlarda uygulanacak geometrik şartlar (TBDY, 2018).

Yığma Tipi	$(t_{ef})_{min}$ *(mm)*	$(h_{ef}/t_{ef})_{max}$
Donatısız yığma, doğal veya yapay kesme taş ile	350	9
Donatısız yığma, diğer kargir birimler ile	240	12
Kuşatılmış yığma	240	15
Donatılı yığma	240	15
Donatılı panel sistemler	200	15

3.2.4.4 Taşıyıcı Duvarların En Büyük Desteklenmemiş Uzunluğu, TBDY (2018) - Madde 11.5.2

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018)'ne göre, donatısız ve kuşatılmış yığma binalarda taşıyıcı duvarların desteklenmemiş en büyük uzunlukları ve düşey hatıllar arası mesafeler Şekil 3.25'de verilen şartlara uymalıdır. Mevcut yapıda, planda kendisine dik olarak saplanan taşıyıcı duvar eksenleri arasında kalan desteklenmemiş uzunluğu 7.5 m'yi aşan duvarlar bulunmaktadır. Ayrıca yapıda düşey betonarme hatıllar bulunmamaktadır. Yönetmeliğin ilgili şartı sağlanmamaktadır.



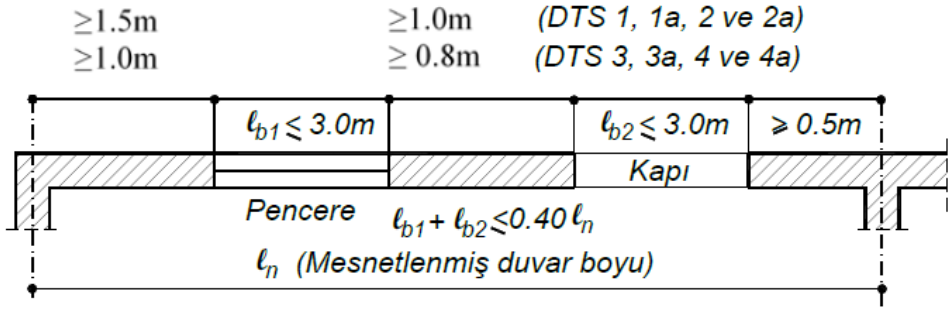
Şekil 3.25: Taşıyıcı duvarlardaki mesnetlenmemiş duvar uzunluğu koşulları (TBDY, 2018).

3.2.4.5 Taşıyıcı Duvar Boşlukları, TBDY (2018) - Madde 11.5.3

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018) Madde 11.5.3'de kapı ve pencere boşlukları ile lentolar kullanımıyla ilgili şartlar verilmiştir. Taşıyıcı duvarlardaki kapı ve pencere boşluklarında Şekil 3.26'daki ifadelerin sağlanması gerekmektedir.

- Mevcut yapıda, bina köşesine en yakın pencere ya da kapı ile bina köşesi arasında bırakılacak dolu duvar parçasının plandaki uzunluğu 1.5 m'den az olan duvarlar bulunmaktadır.
- Mevcut yapıda, bina köşeleri dışında pencere ve kapı boşlukları arasında kalan dolu duvar parçalarının plandaki uzunluğu 1.0 m'den az olan duvarlar bulunmaktadır.
- Mevcut yapıda, plandaki uzunluğu 3.0 m'den daha fazla olan kapı ve pencere boşluğu bulunmaktadır.
- Mevcut yapıda, birbirini dik olarak kesen duvarların arakesitine en yakın pencere ya da kapı boşluğu ile duvarların arakesiti arasında bırakılacak dolu duvar parçasının plandaki uzunluğu 0.50 m'den az olan duvarlar bulunmaktadır.
- Mevcut yapıda, bir duvarda kapı ve pencere boşluklarının plandaki uzunluklarının toplamının desteklenmemiş duvar uzunluğunun %40'ından fazla olduğu duvarlar mevcuttur.

Yönetmeliğin ilgili şartları sağlanmamaktır.



Şekil 3.26: Taşıyıcı duvarlardaki pencere ve kapı boşluğu koşulları (TBDY, 2018).

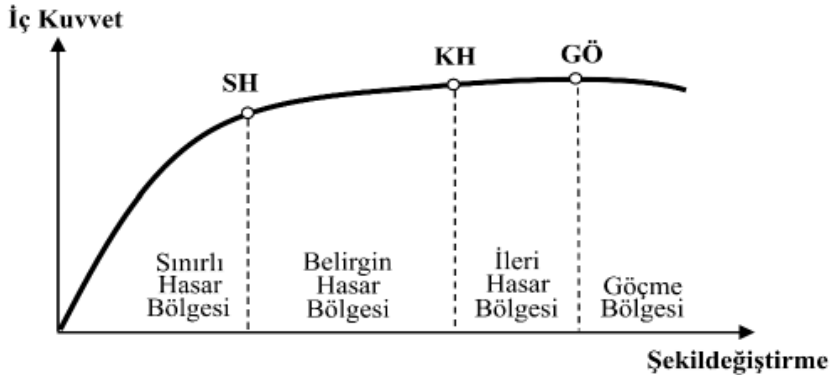
3.2.5 Yapısal Güvenlik ve Performans Düzeyleri

Binaların deprem performansı, uygulanan deprem etkisi altında binada oluşması beklenen hasarların durumu ile ilişkilidir ve mevcut yapıların deprem güvenliğinin belirlenmesi açısından kritiktir. Bu sebeple yığma yapıların deprem performansının belirlenmesi için Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TDBY, 2018) ve Tarihi Yapıların Deprem Risklerinin Yönetimi Kılavuzu'nun (TYDRYK, 2017) belirlediği bazı koşul ve hususlar bulunmaktadır.

Deprem kuvveti etkisi altındaki yapılar için aşağıdaki yapısal performans düzeyleri bulunmaktadır (Gevrek olarak hasar gören elemanlarda bu sınıflandırmalar geçerli değildir).

- Sınırlı Hasar (SH) Performans Düzeyi: Yapının taşıyıcı sistem elemanlarında sınırlı düzeyde hasarın meydana geldiği (elastik ötesi davranışın sınırlı kaldığı) hasar düzeyine karşı gelir.
- Kontrollü Hasar (KH) Performans Düzeyi: Yapının taşıyıcı sistem elemanlarında çoğunlukla onarılması mümkün olan (kesit dayanımının güvenli olarak sağlanabildiği elastik ötesi davranış) kontrollü hasar düzeyine karşı gelir.
- Göçmenin Önlenmesi (GÖ) Performans Düzeyi: Yapı taşıyıcı sistem elemanlarında ileri düzeyde ağır hasarın meydana geldiği (ileri düzeyde elastik ötesi davranışın olduğu), yapının kısmen veya tamamen göçmeye yaklaştığı, ancak göçmenin önlendiği duruma karşı gelir.

TDBY 2018, depreme dayanıklı yapı tasarımında "hafif şiddetteki depremlerde binalardaki yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarının herhangi bir hasar görmemesi; orta şiddetteki depremlerde yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda oluşabilecek hasarın sınırlı ve onarılabilir düzeyde kalması; şiddetli depremlerde ise, kontrollü hasarın sağlanması amacı ile kalıcı yapısal hasar oluşumunun sınırlanmasını" öngörmektedir. TDBY 2018 Madde 3.5.1.2'de yığma, ahşap ve hafif çelik binalar için, DD-2 deprem yer hareketinin etkisi altında Kontrollü Hasar (KH) performans hedefinin sağlanması gerektiği belirtilmektedir (Şekil 3.27).



Şekil 3.27: Kesit hasar bölgeleri (TDBY, 2018).

TBDY 2018 Madde 15.8.8'e göre yığma binaların performans düzeyinin tespiti için "Eğer yığma binanın her iki doğrultudaki tüm duvarlarının kesme kuvveti dayanımı uygulanan deprem etkileri altında oluşan kesme kuvvetlerini karşılamaya yeterli ise, binanın "Sınırlı Hasar

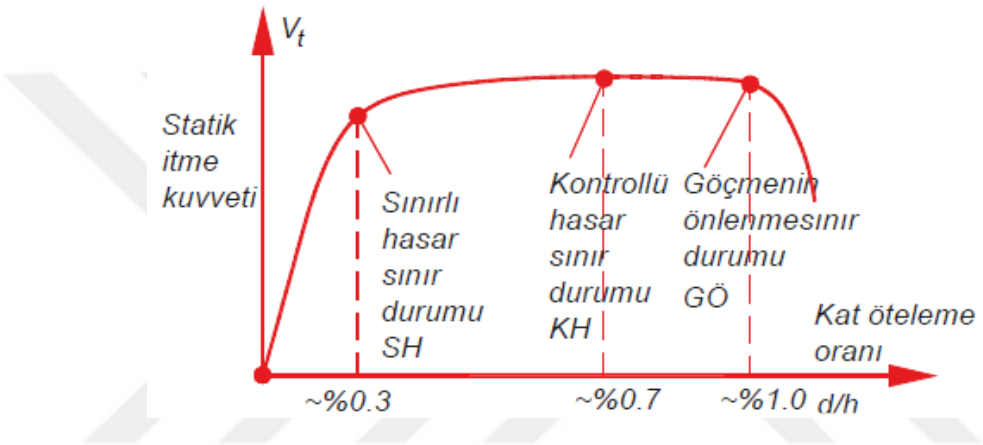
Performans Düzeyi"ni sağladığı sonucuna varılır. Herhangi bir katta uygulanan deprem doğrultusunda bu koşulu sağlamayan duvarların kat kesme kuvvetine katkısı %40'ın altında ise binanın "Kontrollü Hasar Performans Düzeyi"ni sağladığı kabul edilecektir. Bu oranın %40'ı aşması durumunda binanın "Göçme Durumu"nda olduğu kabul edilir." ibaresi bulunmaktadır.

TYDRYK 2017'de önerilen hedef performans düzeyleri Tablo 3.12'de, gerilme-şekil değiştirme sınırları Şekil 3.28'de görülmektedir. Performans düzeyleri ile ilgili hesap yöntemleri ve aşağıda sunulmuştur:

- Sınırlı hasar sınır durumu (SH) için; doğrusal hesap yöntemi kullanılmalı, düşey yükler ve öngörülen azaltılmamış deprem yükü etkisinde malzeme dayanımları aşılmamalı ve azaltılmamış deprem etkisinde öteleme oranı %3'ü aşmamalıdır.
- Kontrollü hasar sınır durumu (KH) için; doğrusal olmayan hesap yöntemi tercih ediliyorsa düşey yükler ve Ra≤ 3 ile azaltılmış öngörülen deprem yükü etkisinde hesap malzeme dayanımlarını aşmamalı ve azaltılmamış deprem etkisinde öteleme oranı %0.7 sınırını aşmamalıdır.
- Göçme öncesi sınır durumu (GÖ) için; doğrusal hesap yöntemi tercih ediliyorsa düşey yükler ve Ra≤ 3 ile azaltılmış öngörülen deprem yükü etkisinde bulunan hesap dayanımları belirli bir oranla (~1.5 kat) aşabilir. Doğrusal olmayan hesap yöntemi tercih ediliyor ise öteleme oranı %1 sınırını aşmamalı ve malzemelerin şekil değiştirme kapasiteleri sınırlı oranda (~1.2 kat) aşılabilir.

Tablo 3.12: Önerilen performans düzeyleri (TYDRYK, 2017).

Önemine Göre Seçilebilecek Performans Düzeyleri	Ulusal Öneme Sahip Tarihi Yapı Grup I	Evrensel Öneme Sahip Tarihi Yapı	
	DD-3 (50/%50, 72 yıl) Sınırlı Hasar Düzeyi (SH)	DD-2 (50/%10, 475 yıl) Sınırlı Hasar Düzeyi (SH)	DD-1 (50/%2, 2475 yıl) Sınırlı Hasar Düzeyi (SH)
Yerel Öneme Sahip Tarihi Yapı Grup II	DD-3 (50/%50, 72 yıl) Kontrollü Hasar Düzeyi (KH)	DD-2 (50/%10, 475 yıl) Kontrollü Hasar Düzeyi (KH)	DD-1 (50/%2, 2475 yıl) Kontrollü Hasar Düzeyi (KH)
	DD-3 (50/%50, 72 yıl) Göçmenin Önlenmesi Düzeyi (GÖ)	DD-2 (50/%10, 475 yıl) Göçmenin Önlenmesi Düzeyi (GÖ)	DD-1 (50/%2, 2475 yıl) Göçmenin Önlenmesi Düzeyi (GÖ)



Şekil 3.28: Statik itme eğrisi ve sınır durumları (TYDRYK, 2017).

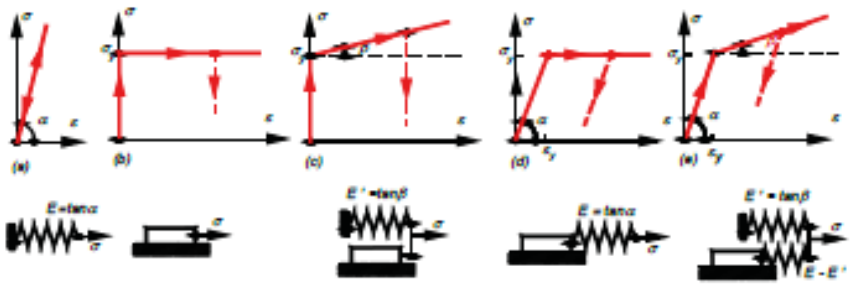
3.3 YAPININ MEVCUT DURUMUNUN ANALİZLERİ

Teze konu olan yapının mevcut durumunun tespiti için sonlu eleman analizleri yapılmıştır. Yerinde yapılan incelemelerde elde edilen bulgular da dikkate alınarak bir sonlu elemanlar programı olan MidasGen ile mimari rölöve projesindeki mevcut durumu yaklaşık olarak temsil edecek şekilde 3 boyutlu olarak modellenmiştir. Bu kapsamda yapının mevcut durumunda doğrusal analiz (lineer analiz) ve doğrusal olmayan analiz (nonlineer analiz) yapılmıştır. Kinematik limit analizleri için ProCİNEM yazılımı kullanılmıştır.

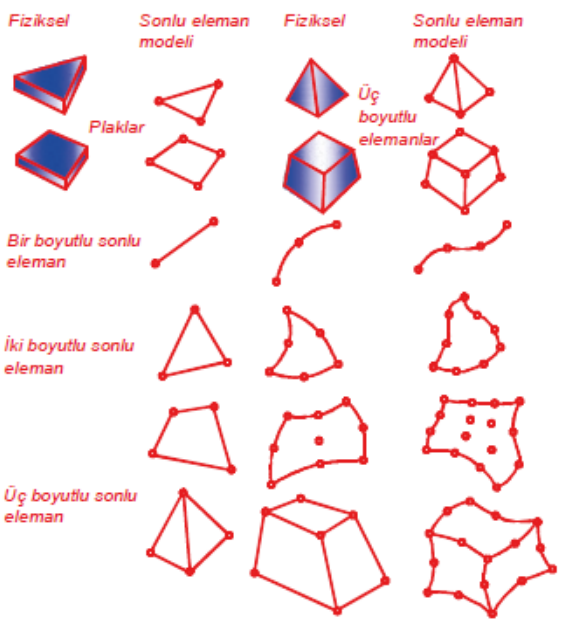
3.3.1 Sonlu Eleman Modeli

Yapıların deprem etkisi altındaki davranışı gibi, dinamik problemlerde yapısal davranışın karmaşık analizi için, gerilme ve şekil değiştirme arasındaki bağıntıyı (bünye denklemi) ve mesnet (sınır) şartlarını ve başlangıç şartlarını ile denge denklemlerini kullanan sonlu eleman yöntemleri genellikle tercih edilir (Şekil 3.29). Sayısal yöntemlerdeki gelişmeler ve yapısal analizdeki yazılımlar yüksek doğruluk seviyesinde karmaşık analizlerin yapılmasını sağlar.

Yöntem ayrıntılı yapısal analiz yapmak için kullanılabilse de, faydalı sonuçlar elde etmek için etkin modelleme önem taşır (Celep, 2016). Sonlu eleman analizinde, geometri Şekil 3.30'da gösterildiği gibi, doğrusal elemanlar (doğrusal çubuk veya eğrisel elemanlar, kiriş ve kolonlar), iki boyutlu elemanlar (yüzeysel duvarlar), kabuk elemanlar (eğrilikli yüzeyler) veya üç boyutlu katı elemanlar (kalın yapısal elemanlar) kullanılarak yapı modellenebilir.

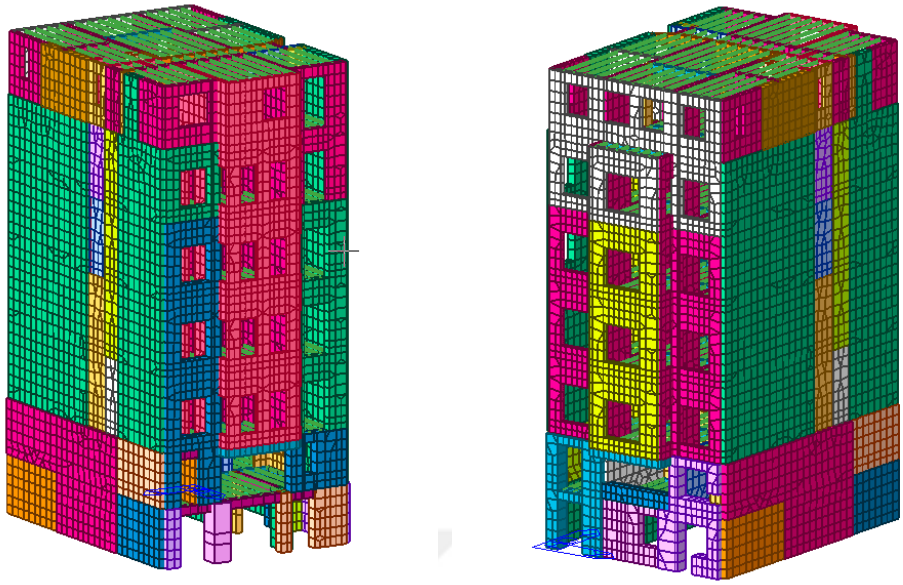


Şekil 3.29: Farklı malzeme türleri (Celep, 2016).



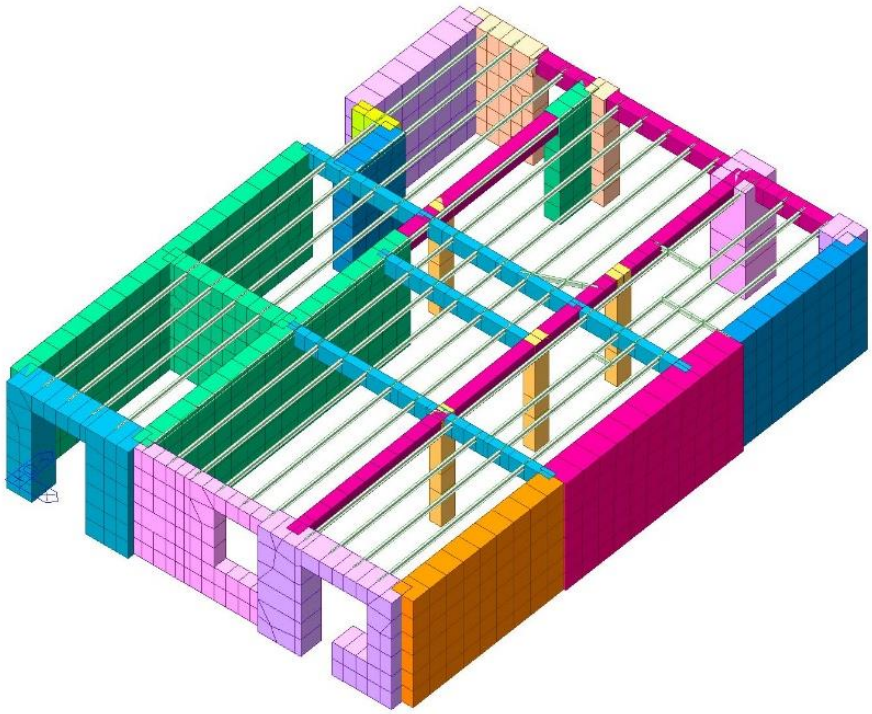
Şekil 3.30: Sonlu eleman türleri (Celep, 2016).

Teze konu olan mevcut yapının taşıyıcı sistemi yığma duvarlar ile teşkil edilmiştir. Binanın statik ve deprem yükleri altında davranışının en doğru şekilde saptanması amacıyla yığma duvarlar, bodrum katta bulunan mevcut betonarme kolonlar ve bir adet yığma kolon plate eleman olarak modellenmiştir (Şekil 3.31).



Şekil 3.31: Yapının 3 boyutlu sonlu elemanlar modeli.

Yapının mevcut döşeme sistemi volta döşeme olduğundan oluşturulan sonlu eleman modelinde volta döşemenin çelik kirişleri bir boyutlu elemanlar olarak modellenmiş olup, çelik kirişler arasındaki tuğla tonozlar ihmal edilmiştir (Şekil 3.32).



Şekil 3.32: Bodrum katta taşıyıcı yığma duvarlar ve volta döşeme görünüşü.

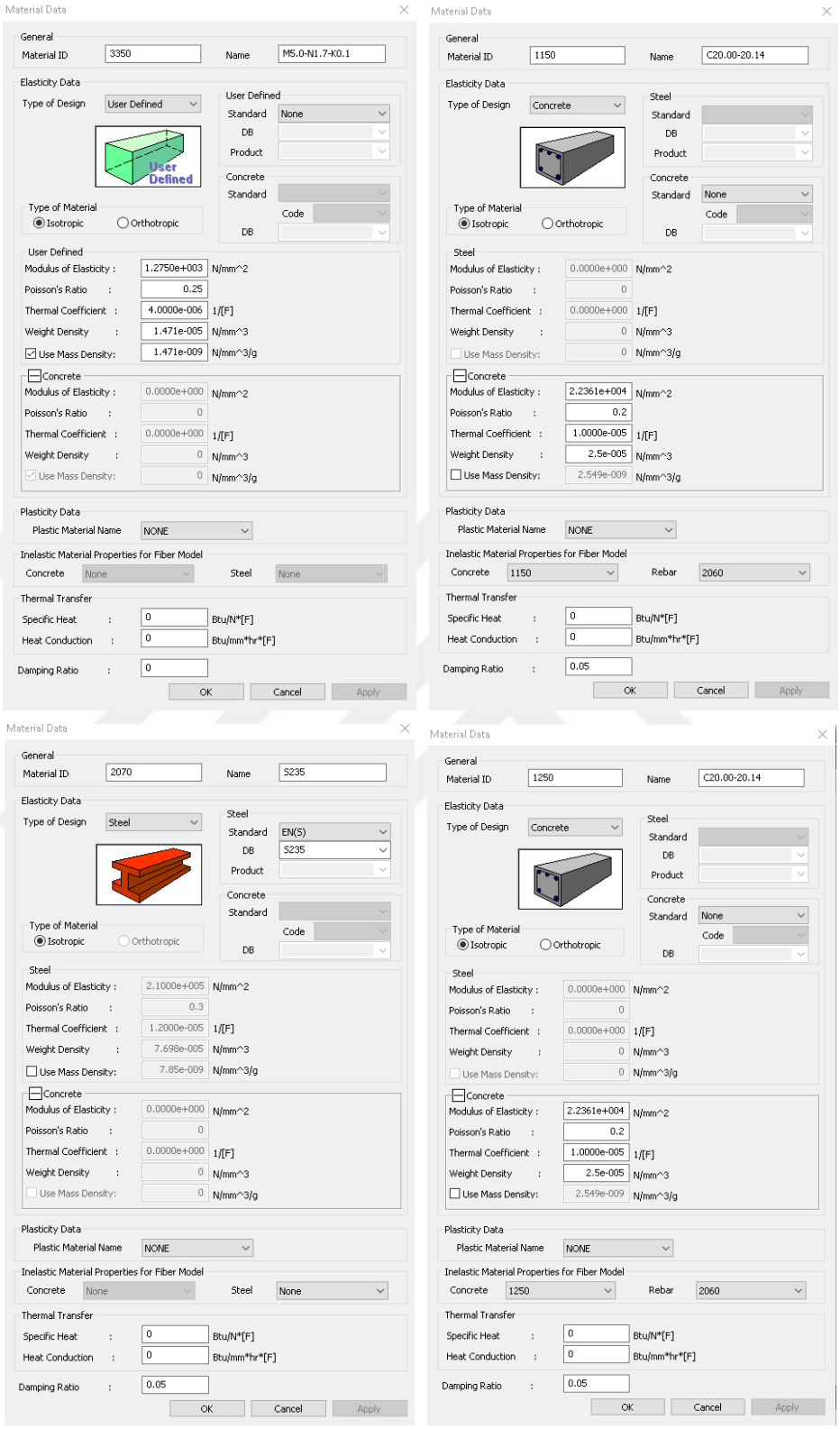
Yığma yapılarda döşemelerin taşıyıcı yığma duvarlarla bağlantısı yapı davranışı açısından önem arz etmektedir. Mevcut volta döşemelerin taşıyıcı duvarlar üzerine oturduğu tespit edilmiş, duvarı düzlem dışında tutacak herhangi bir bağlantı detayı bulunmadığı görülmüştür. Bu durum sonlu eleman modeline yansıtılmıştır. Ek olarak 3 boyutlu modellemede mevcut kat döşemelerinin rijit diyafram olarak çalışmadığı kabul edilmiştir.

Tez konusu yapı, sonradan eklendiği düşünülen birkaç betonarme eleman bulundursa da ana taşıyıcı sistemini yığma duvarlar oluşturmaktadır. Yığma malzemesi dolu blok tuğladır. Mevcut yığma yapı elemanları için malzeme değerleri, TBDY 2018, Yönetmelik-Tablo 11.2 ve Yönetmelik-Tablo 11.3'den alınmıştır. Buna göre yapının; tüm katlarında bulunan yığma dolu blok tuğla duvarlar için yönetmelikteki minimum dayanım değerleri kabul edilmiş olup; harç basınç dayanımı için (f_m) = M1(1.0 N/mm^2), kargir birim basınç dayanımı için (f_b) = 5.00 N/mm^2, karakteristik basınç dayanımı için (f_k) = 1.70 N/mm^2, başlangıç kesme dayanımı için (f_{vko}) = 0.10 N/mm^2 değerleri esas alınmıştır (Tablo 3.13). Malzeme dayanımları için tarihi yapıların değerlendirilmesinde kullanılan İtalyan NTC-08 (2008) Yönetmeliği'nde de belirtildiği üzere malzemelerin ortalama çekme dayanımının, başlangıç kesme dayanımının 1.5 katı olduğu dikkate alınarak çekme dayanımı için dolu blok tuğla duvarda 0.15 N/mm^2 değeri esas alınmıştır. Lineer analiz ve tahkiklerde yığma duvarlar için kullanılan malzeme dayanım değerleri Tablo 3.13'de özetlenmiştir.

Tablo 3.13: Yığma duvarların lineer analizde kullanılan malzeme dayanım değerleri.

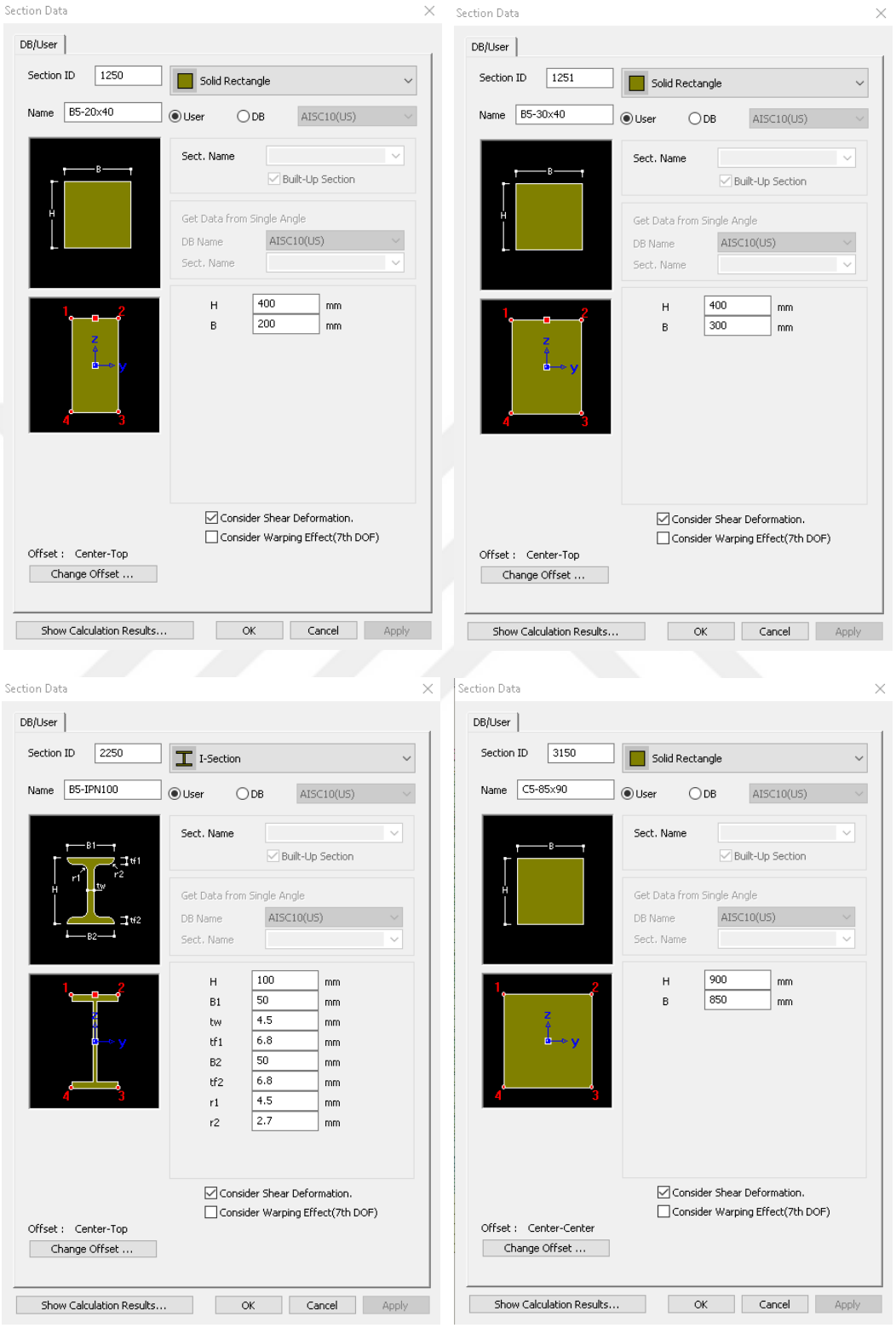
Tanım	**Kısaltma**	**Değer**	**Birim**
Kargir birim cinsi	-	Tuğla (Grup I)	-
Kargir birim basınç dayanımı	f_b	5.0	N/mm^2 (MPa)
Harç basınç dayanımı	f_m	1.0 (M1)	N/mm^2 (MPa)
Duvar karakteristik basınç dayanımı	f_k	1.70	N/mm^2 (MPa)
Duvar başlangıç kesme dayanımı	f_{vk0}	0.10	N/mm^2 (MPa)
Duvar çekme dayanımı	f_t	0.15 ($1.5f_{vk0}$)	N/mm^2 (MPa)
Duvar elastisite modülü	E_{duv}	1275 ($750f_k$)	N/mm^2 (MPa)
Duvar kayma modülü	G_{duv}	510 ($0.40E_{duv}$)	N/mm^2 (MPa)

Mevcut yapı lineer analizinde tanımlanan betonarme kiriş ve kolonların beton sınıfı C8/10 olarak kabul edilmiş, volta döşeme çelik kirişleri S235 olarak tanımlanmıştır (Şekil 3.33).



Şekil 3.33: Malzeme parametreleri a) Yığma birim, b) Betonarme kiriş, c) Çelik volta kirişleri, d) Betonarme kolon.

Modellenen mevcut yapı elemanlarının kesit özellikleri Şekil 3.34‘de sunulmuştur.



Şekil 3.34: Mevcut taşıyıcı elemanların kesit özelliklerinin tanımlanması.

3.3.2 Doğrusal Analiz

Yapının performans analizleri, TBDY (2018)'nde verilen kriterlere göre gerçekleştirilmiştir. Malzeme dayanımları, malzeme katsayılarına bölünmemiş olup eleman kapasitelerinin hesabında mevcut malzeme dayanımları kullanılmıştır. Yapı bilgi düzeyi sınırlı bilgi düzeyi olarak kabul edilmiş ve buna uygun olarak bina bilgi düzeyi katsayısı 0.75 alınmıştır. Performans seviyesini belirlemek amacıyla TBDY (2018) Bölüm 4'de belirtilen, doğrusal statik hesap yöntemi olan "Mod Birleştirme Yöntemi" seçilmiştir. Seçilen yöntem doğrultusunda, ivme spektrumuna, taşıyıcı sistem davranış ve dayanım fazlalığı katsayıları (R ve D) dikkate alınarak hesaplanan deprem yükü azaltma katsayısı $R_a(T)$ etkitilmiştir.

İnceleme konusu yapı, donatısız yığma bina taşıyıcı sistemine sahip olduğundan dolayı TBDY (2018)'de verilen kriterler dikkate alınarak; taşıyıcı sistem davranış ve dayanım fazlalığı katsayıları: R=2.5, D=1.5 (E22. Maddesi) olarak belirlenmiştir (Tablo 3.14).

Tablo 3.14: Bina taşıyıcı sistemleri için taşıyıcı sistem davranış katsayısı, dayanım fazlalığı katsayısı ve izin verilen bina yükseklik sınıfları (TBDY, 2018).

Bina Taşıyıcı Sistemi	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı *R*	Dayanım Fazlalığı Katsayısı *D*	İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfları BYS
D. HAFİF ÇELİK BİNA TAŞIYICI SİSTEMLERİ			
D1. Süneklik Düzeyi Yüksek Taşıyıcı Sistemler			
Deprem etkilerinin tamamının vidalı, bulonlu sac, OSB veya kontrplak (plywood) duvar panelleri ile karşılandığı süneklik düzeyi yüksek hafif çelik binalar	4	2	BYS = 8
D2. Süneklik Düzeyi Sınırlı Taşıyıcı Sistemler (Bkz.4.3.4.1)			
Deprem etkilerinin tamamının alçı levhalar içeren kaplamalı veya çaprazlı panellerle karşılandığı süneklik düzeyi sınırlı hafif çelik binalar	3	2	BYS = 8
E. YIĞMA BİNA TAŞIYICI SİSTEMLERİ			
E1. Süneklik Düzeyi Yüksek Taşıyıcı Sistemler			
E11. Donatılı yığma binalar	4	2	BYS ≥ 7
E12. Donatılı gazbeton panel binalar	4	2	BYS ≥ 7
E2. Süneklik Düzeyi Sınırlı Taşıyıcı Sistemler (Bkz.4.3.4.1)			
E21. Kuşatılmış yığma binalar	3	2	BYS = 8
E22. Donatısız yığma binalar	2.5	1.5	BYS = 8

Doğrusal elastik deprem yüklerinin azaltılmasında esas alınan Deprem Yükü Azaltma Katsayısı $R_a(T)$ denklem (3.4) ile hesaplanarak ivme spektrumuna uygulanmıştır:

$$\begin{aligned} Ra(T) &= R/I & T > T_B \\ Ra(T) &= D + [(R/I) - D]T/T_B & T \leq T_B \end{aligned} \tag{3.4}$$

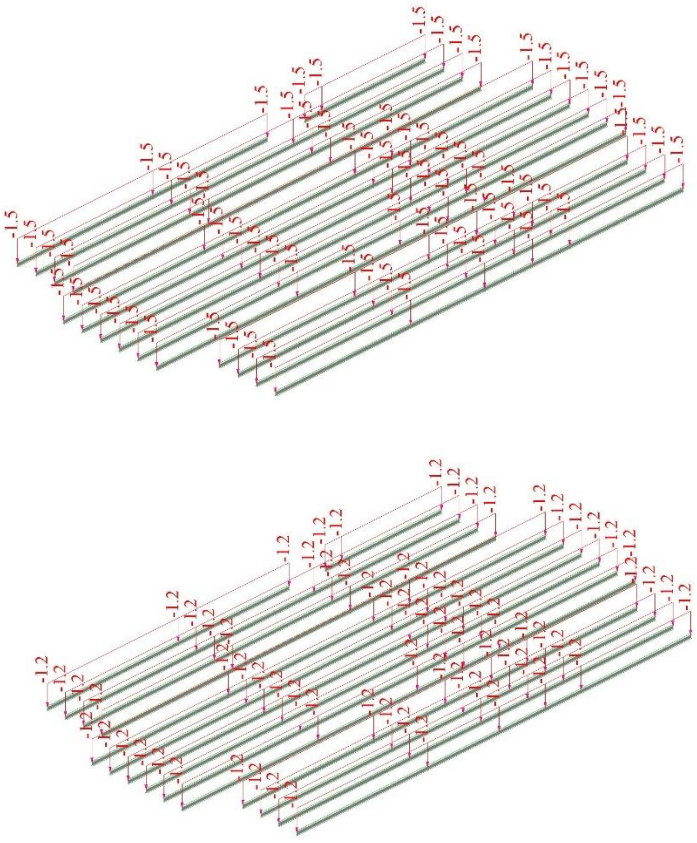
TBDY (2018)'de Madde 4.8.4 doğrultusunda, ilgili yöntemle hesaplanan deprem kuvvetlerinin, eşdeğer deprem yükü yöntemiyle hesaplanan kuvvetlerin %90'ına eşit veya daha büyük olması

koşulu sağlanmıştır. Yapının 50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem (DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyi) için "Kontrollü Hasar Performans Hedefi" koşullarını sağlaması gerekmektedir (Madde 3.5.1.2).

3.3.2.1 Düşey Yükler

Normal kat döşemelerinde sabit yük 1,5 kN/m^2, hareketli yük 2,0 kN/m^2 olarak kabul edilmiştir. Volta döşeme çelik kirişleri arasındaki mesafe 60 cm olduğundan yükler, çelik kirişlere yayılı yük olarak tanımlanmıştır.

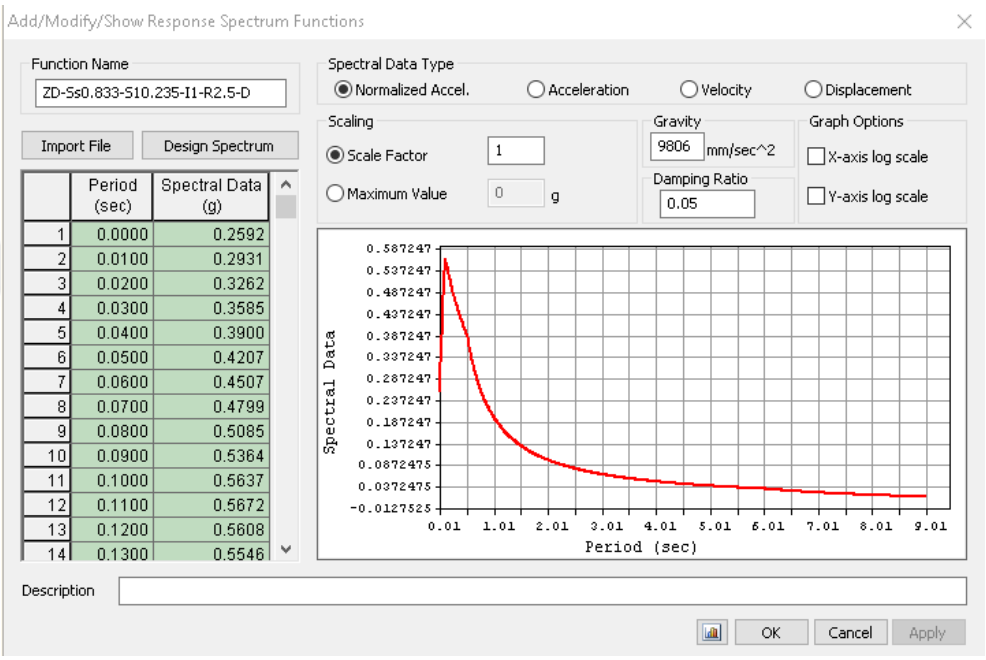
- Çelik volta kirişlerindeki sabit yayılı yükler:
  Normal katlarda: 2,5 kN/m^2 x 0,6 m =1,5 kN/m
  Çatı katında: 1,0 kN/m^2 x 0,6 m =0,6 kN/m
- Çelik volta kirişlerindeki hareketli yayılı yükler:
  Normal katlarda: 2 kN/m^2 x 0,6 m =1,2 kN/m
  Çatı katında: 1,5 kN/m^2 x 0,6 m =0,9 kN/m (Şekil 3.35)



Şekil 3.35: Mevcut model normal katlarında volta kirişlerdeki sabit yük (üst), hareketli yük (alt).

3.3.2.2 Yatay Deprem İvme Spektrumu

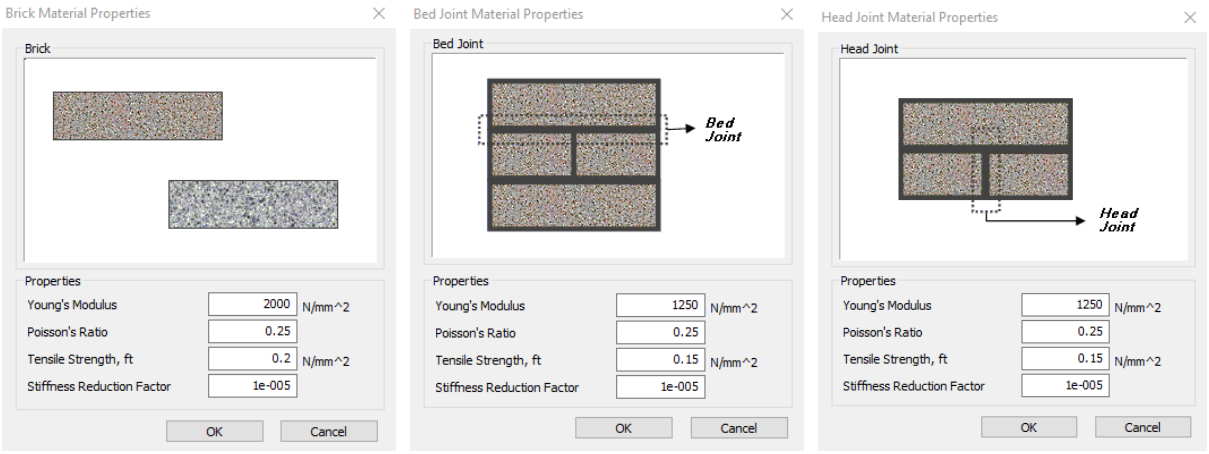
Binaya etkiyen yatay deprem yüklerinin belirlenmesi için esas alınacak olan yatay elastik spektral ivme $S_{ae}(T)$ değerleri MidasGen'e tanımlanarak spektrum eğrisi oluşturulmuş ve 50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem (DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyi) için yatay deprem yükleri tanımlanmıştır (Şekil 3.36).



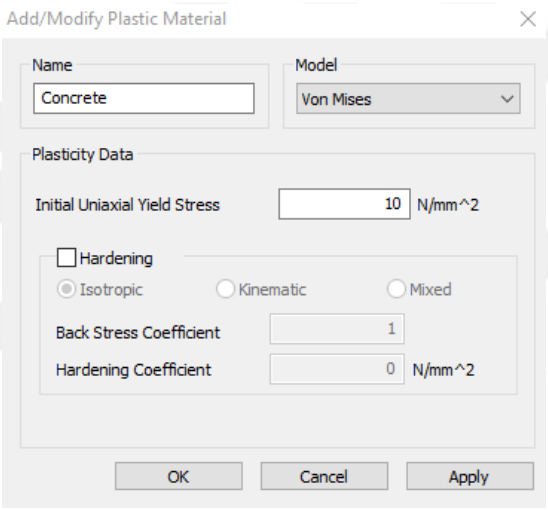
Şekil 3.36: Mevcut yapı için yatay deprem etkisi altında azaltılmış tasarım ivme spektrumu.

3.3.3 Doğrusal Olmayan Analiz

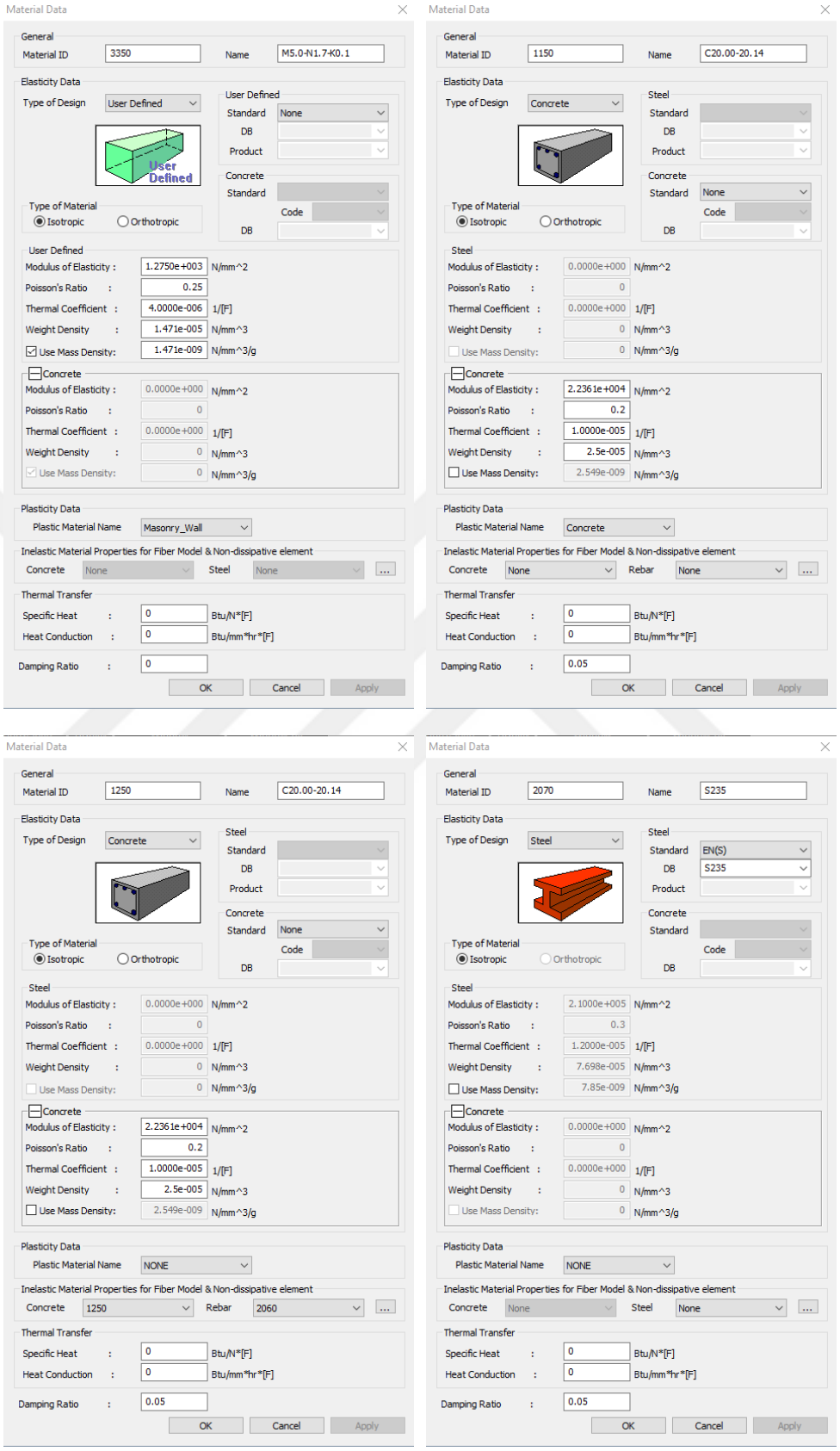
İncelenen yığma yapının mevcut durumu için doğrusal olmayan analiz (pushover analizi) yapılmıştır. Analizde, malzeme özelliklerini değerlendirmek için yığma birimler plastik malzeme olarak tanımlanmıştır. Bodrum katta bulunan betonarme kolonların nonlineer davranışını göz önüne almak için ise Von Mises beton plastik malzeme modeli kullanılmıştır (Şekil 3.37). Betonarme kirişler ve çelik volta kirişlere nonlineer plastik malzeme atanmamıştır. Tanımlanan malzeme özellikleri Şekil 3.37, Şekil 3.38 ve Şekil 3.39'da sunulmuştur.



Şekil 3.37: Yığma eleman plastik malzeme özellikleri.

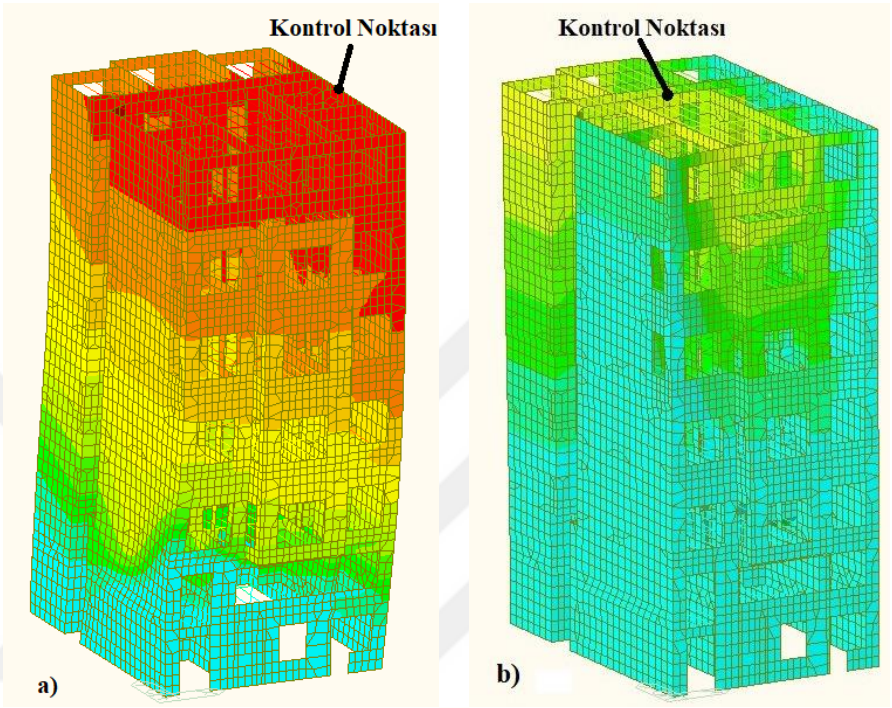


Şekil 3.38: Beton plastik malzeme özellikleri.



Şekil 3.39: Malzeme özellikleri a)Yığma birim b)Betonarme kolon c) Betonarme kiriş d) Çelik volta kirişleri.

Yapıya düşey yüklerle (ölü + hareketli yük) birlikte itme kuvvetleri (Pushover +X, Pushover +Y), seçilen kontrol noktalarına Nodal Body Force olarak her yönde ayrı ayrı tanımlanmıştır (Şekil 3.40). Analizler sonucunda Taban Kesme Kuvveti- Kontrol Noktası Yer Değiştirme grafikleri elde edilmiştir.



Şekil 3.40: Kontrol noktaları a) Pushover+X, b) Pushover +Y.

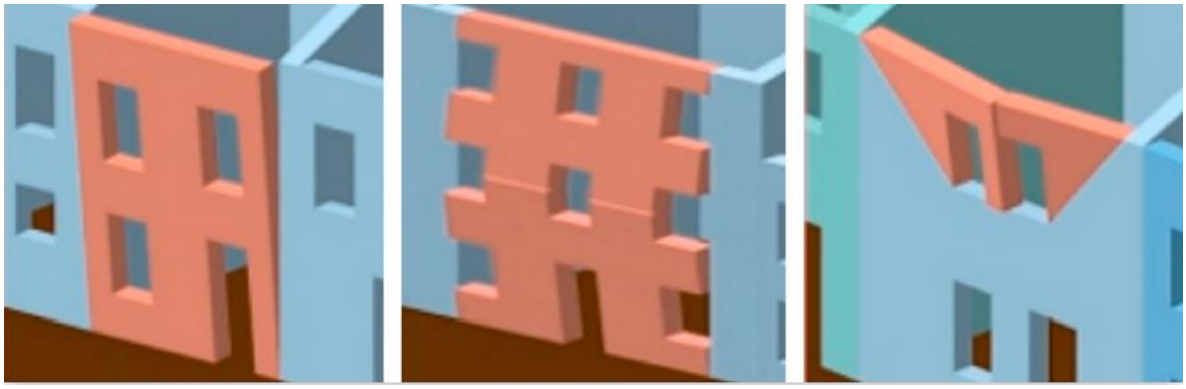
3.3.4 Kinematik Analiz

Yığma yapıların sismik güvenliğini değerlendirmek için doğrusal ve doğrusal olmayan kinematik analiz yöntemleri de kullanılmaktadır. Kinematik limit analizi:

- Olası göçme mekanizmalarının değerlendirilmesi,
- Her bir göçme mekanizmasını harekete geçiren yanal kuvvetin ve bu yanal kuvveti oluşturan deprem ivmesinin belirlenmesi,
- Deprem ivme talebinin belirlenmesi ve olası göçme mekanizmasının kapasitesi ile karşılaştırılması olarak tanımlanabilir.

Göçme mekanizmaları çeşitli nedenlerle aktive olabilir. Özellikle yığma duvarın kalınlığı ve yüksekliği, kat döşemelerinin duvarla bağlantısı ve duvarın kütlesi mekanizmayı etkileyen önemli parametrelerdir (Güneş, 2019). Bir yığma yapının dikey ve yanal yükler altında yapısal güvenliğini değerlendirmek için çeşitli tipte göçme mekanizmaları incelenmelidir. Çalışmada binanın cephesinde yer alan yığma duvarlar için üç farklı göçme mekanizması ele alınmıştır

(Şekil 3.41). Bunlar düzlem dışı devrilme, düşey eğilme ve yanal eğilme göçme mekanizmalarıdır. Kinematik limit analizleri PRO_CINEM yazılımı ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.41: Göçme mekanizmaları a) Devrilme b) Düşey eğilme c) yanal eğilme (Güneş, 2019).

Bu kapsamda teze konu olan yapının ön cephesinde iki faklı yığma duvarın ve yan cephesinde bulunan yığma duvarın olası göçme mekanizmaları değerlendirilmiştir. Bu duvarların analiz için seçilmesinde volta döşeme kirişlerinin duvara bağlantı şekli ile ana taşıyıcı ve nispeten taşıyıcı olmayan yığma duvarların hareketinin değerlendirilmesi etkili olmuştur.

Mevcut yapının durumunu temsilen oluşturulan modellerde döşeme yükleri olarak, ölü yük D1= 3,5 kN/m^2, kaplama yükü D2=2,0 kN/m^2, hareketli yük L1=2,0 kN/m^2 tanımlanmıştır. Malzeme parametreleri olarak elastisite modülü E_{duv}=1275 MPa, kayma modülü G_{duv}=510 MPa olarak tanımlanmıştır.

3.3.4.1 Ön Cephe Duvarı-1

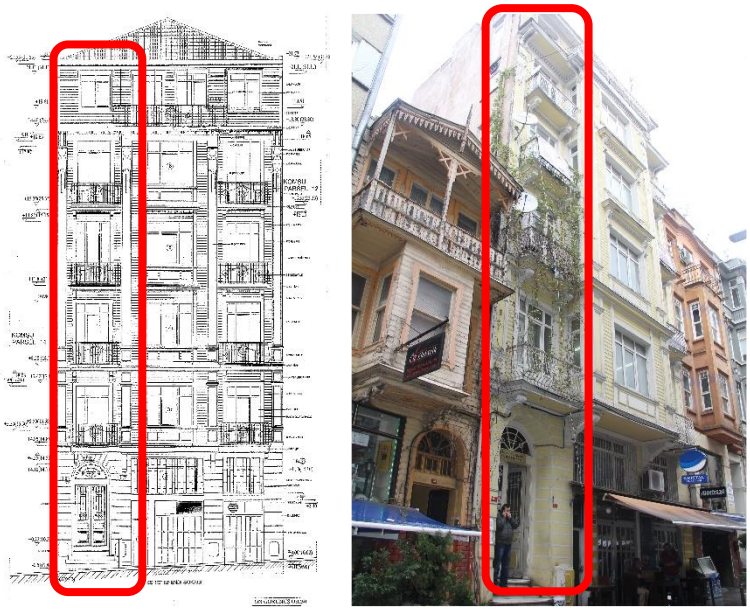
Binanın ön cephesinde bulunan cumba duvarında olası düzlem dışı devrilme, düşey eğilme ve yanal eğilme göçme mekanizmaları değerlendirilmiştir. İncelenen duvar 4.25 m genişliğindedir ve her katta 3.55 m yüksekliğe sahiptir. Duvar kalınlığı 25 cm'dir. 3.0x1.9 m boyutlarında pencere açıklıkları vardır. İlgili duvar Şekil 3.42'de gösterilmiştir.



Şekil 3.42: Binanın ön cephe cumba duvarı.

3.3.4.2 Ön Cephe Duvarı-2

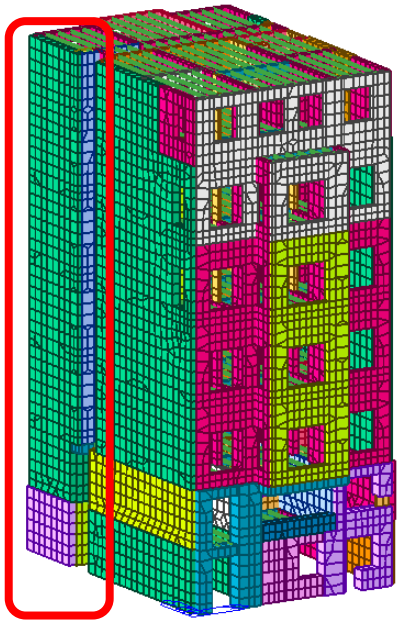
Binanın ön cephesinde bulunan duvarda olası düzlem dışı devrilme, düşey eğilme ve yanal eğilme göçme mekanizmaları değerlendirilmiştir. İncelenen duvar 3.0 m genişliğindedir. Bodrum katta 2.77 m; zemin katta 2.58 m; 1., 2., 3., 4.katta 3.55 m, 5.katta 2.88 m yüksekliğe sahiptir. Duvar kalınlığı bodrum ve zemin katta 70 cm, diğer katlarda 25 cm'dir. 1.8x1.8 m boyutlarında pencere ve 1.35x2.2 m kapı açıklıkları vardır. İlgili duvar Şekil 3.43'de gösterilmiştir.



Şekil 3.43: Binanın ön cephe duvarı.

3.3.4.3 Yan Cephe Duvarı

Binanın yan cephesinde komşu parsele bitişik bulunan duvarda olası düzlem dışı devrilme, düşey eğilme ve yanal eğilme göçme mekanizmaları değerlendirilmiştir. İncelenen duvar 3.33 m genişliğindedir. Bodrum katta 2.77 m; zemin katta 2.58 m; 1., 2., 3., 4.katta 3.55 m, 5.katta 2.88 m yüksekliğe sahiptir. Duvar kalınlığı bodrum katta 60 cm, diğer katlarda 40cm'dir. 1.0x1.8 m boyutlarında pencere açıklıkları vardır. İlgili duvar Şekil 3.44'de gösterilmiştir.



Şekil 3.44: Yan cephe duvarı.

3.4 YAPININ GÜÇLENDİRİLMİŞ DURUMUNUN ANALİZİ

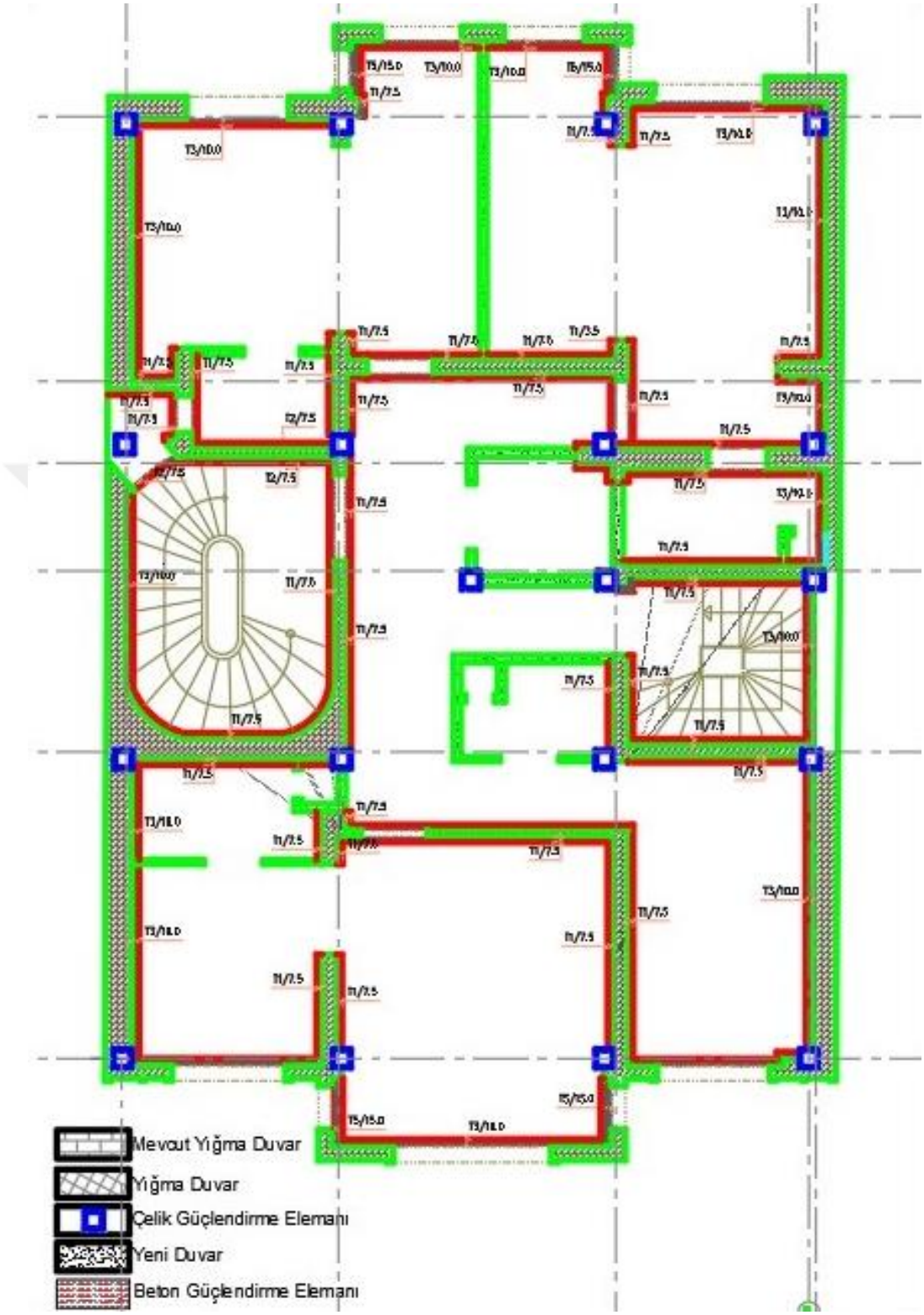
3.4.1 Güçlendirme Projesinin İncelenmesi

Söz konusu mevcut yapının taşıyıcı sistemi yığma duvarlar ile teşkil edilmiştir. Yapı mevcut durumda oldukça düzensiz bir taşıyıcı sistem yerleşimine sahiptir. Yığma duvarların bir bölümü düşey doğrultuda süreklilik göstermemektedir. Yığma duvarlara binanın kullanım süreci boyunca farklı zamanlarda kısmi müdahalelerde bulunulduğu öngörülmektedir. Bu durum yığma elemanların sürekliliğini bozmuş ve dolayısıyla yapı düşey ve yatay yüklere (deprem vb.) karşı daha zayıf bir hale gelmiştir. Yığma duvar taşıyıcı sisteme sahip yapılarda düşey sürekliliğin bozulması oldukça önemli bir nokta olup, yapıyı deprem etkilerine karşı kritik hale getirmektedir. Ayrıca normal katlardaki bazı yığma duvarlar zemin katta devam etmemektedir. Bu durum statik açıdan oldukça sakıncalıdır. Bahsi geçen durumlar göz önünde bulundurularak

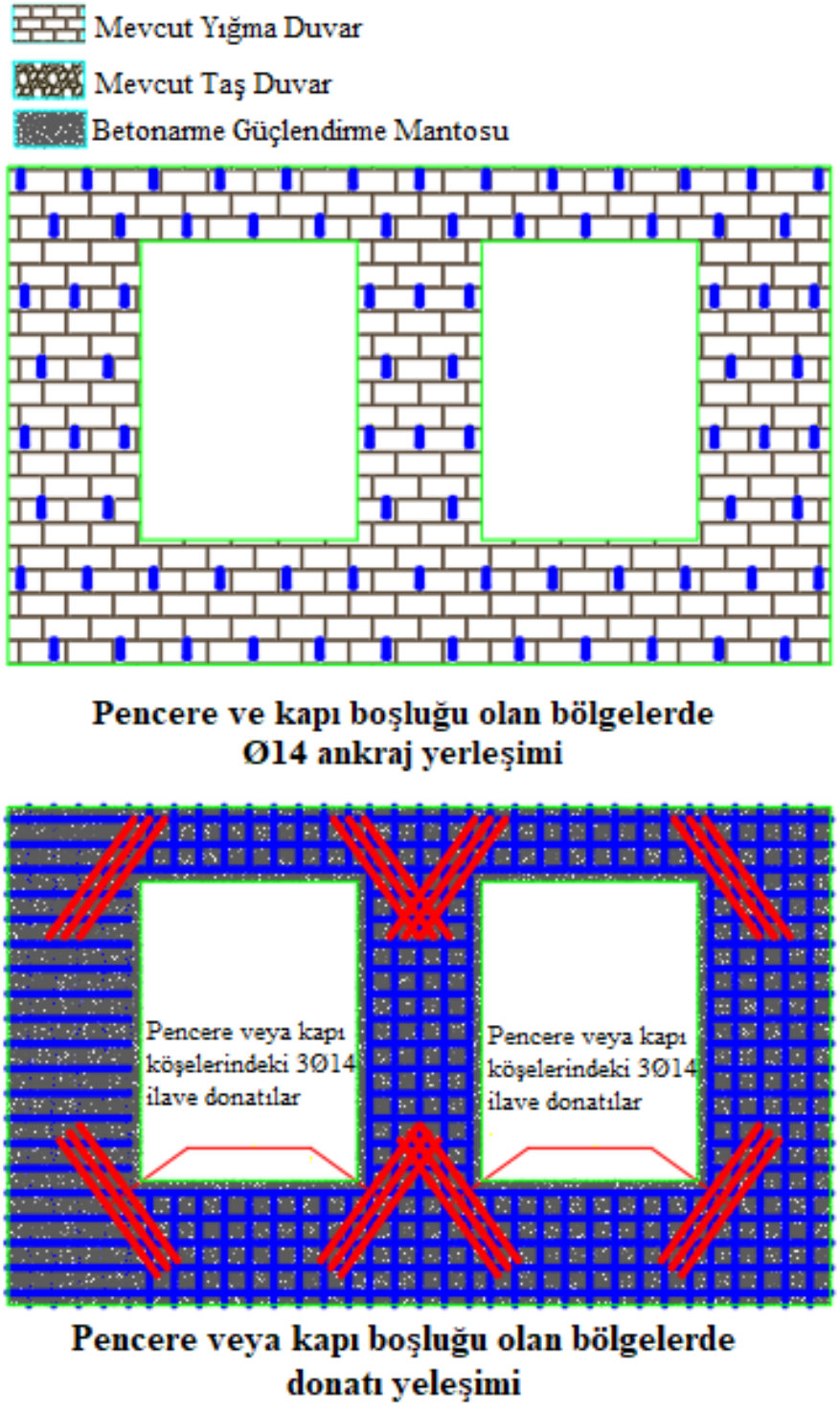
ve mevcut durum performans analizi sonuçları değerlendirilerek yapının uygun tekniklerle güçlendirilmesi kanaatine varılmıştır.

Söz konusu yapıda güçlendirme yöntemi olarak, bazı yığma duvarlar korunmak üzere yapının içten çelik elemanlar ve betonarme püskürtme güçlendirme elemanları ile güçlendirilmesi yöntemi seçilmiştir (Şekil 3.45). Korunacak olan yığma duvarlara harç enjeksiyonu ve betonarme püskürtme güçlendirme elemanları uygulanması ile güçlendirmesi yapılmıştır (Şekil 3.46). Yığma duvarlarda yer yer düşey süreksizliklerin bulunması nedeniyle yığma yapıdan bağımsız yatay ve düşey yükleri aktarabilecek nitelikte yeni bir çelik çerçeve sistem oluşturulmuştur (Şekil 3.47). Mevcut yığma duvarlar ile çelik güçlendirme elemanları ankrajlar ile birbirine bağlanmıştır. Binanın mevcut yığma elemanlarının bir kısmı korunarak yapının dış görünüşü de aslına uygun olarak korunmuştur. Mevcut durumda, yapıdaki yığma duvarların bazılarının ebatları çoğunlukla yeterli değildir, bu elemanlara etkiyen tesirler, narinlik etkileri ve yeni çelik yapısal sistemin teşkili göz önüne alındığında, yığma duvarların bir kısmının kaldırılmasının statik açıdan gerekli olduğu kanaatine varılmıştır. Bu kapsamda uygun olmadığı düşünülen yöntemler de nedenleri ile aşağıda verilmiştir.

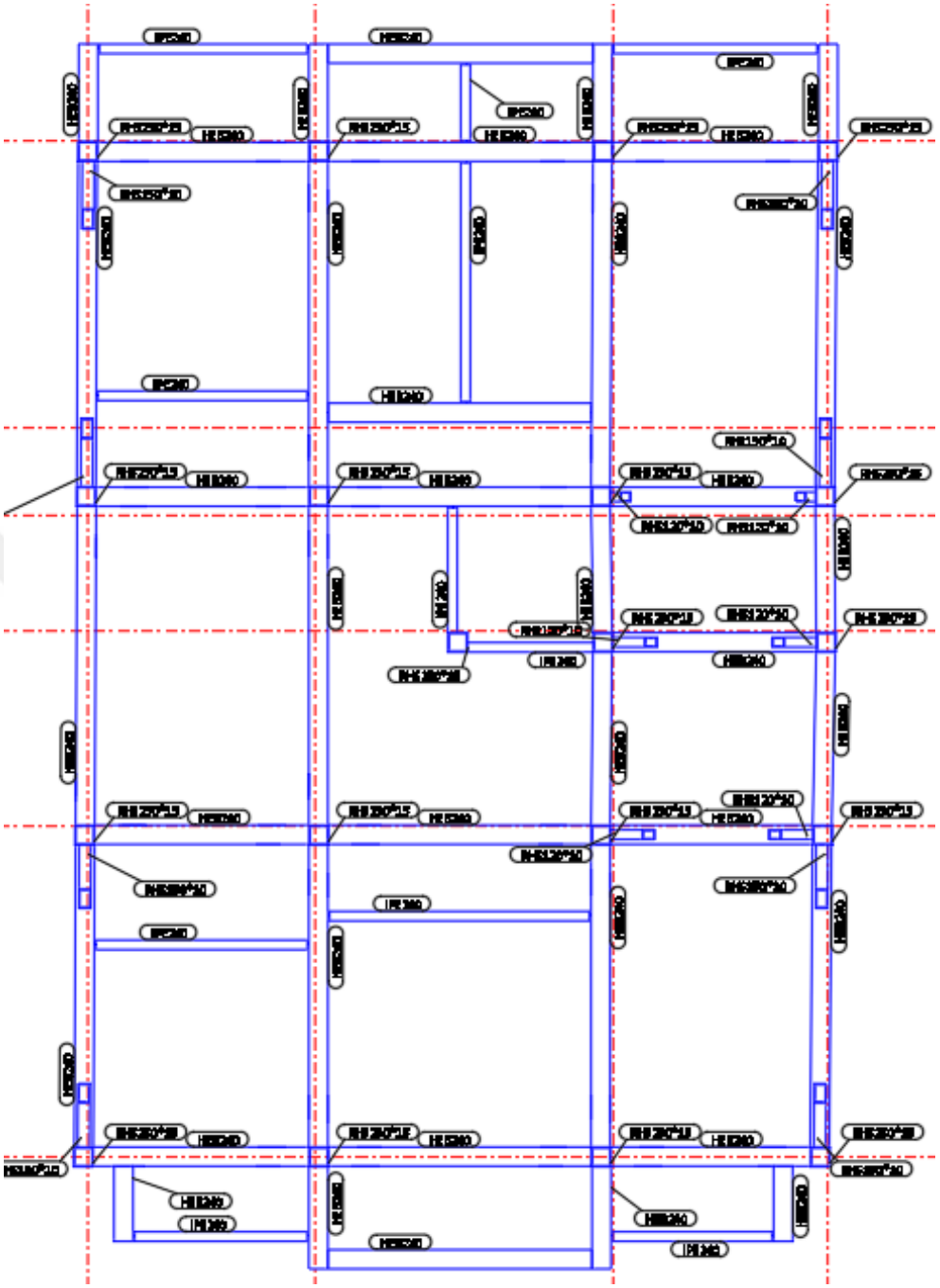
- Söz konusu yapıda, mevcut yapı elemanları ile benzer nitelikte yığma tuğlalar kullanılarak yapıdaki taşıyıcı duvarların kalınlaştırılması, kapı ve pencere boşluğu gibi alanların azaltılması yöntemi; yığma duvarların bir kısmının düşeyde sürekli olmaması ve mevcut nedenlerden dolayı tercih edilmemiştir.
- Söz konusu yapıda, yığma yapının tümü ile dıştan güçlendirilmesi; yapının dış kısmında, yığma yapıdan bağımsız yatay ve düşey yükleri aktarabilecek nitelikte yeni bir çerçeve sistem oluşturulması yöntemi, yapının parsel sınırlarının bu uygulamayı yapmaya uygun olmaması nedeniyle tercih edilmemiştir.



Şekil 3.45: Püskürtme beton uygulama planı.

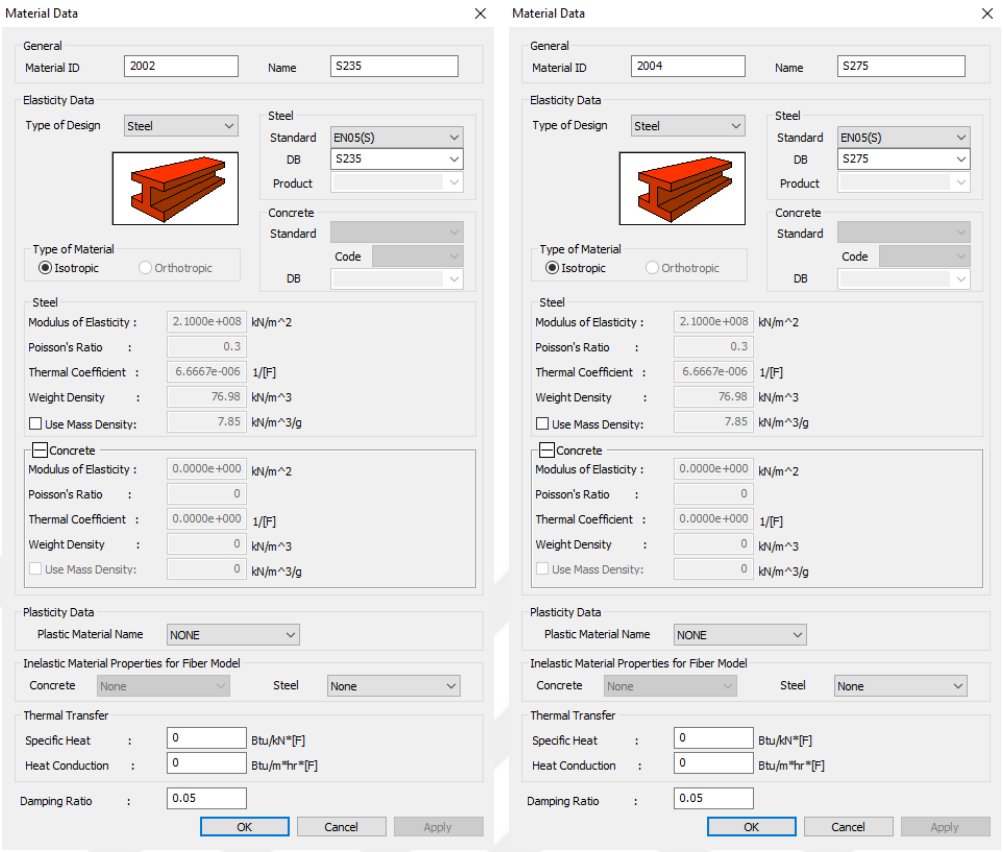


Şekil 3.46: Donatılı püskürtme beton ve ankraj uygulama görünüşü.

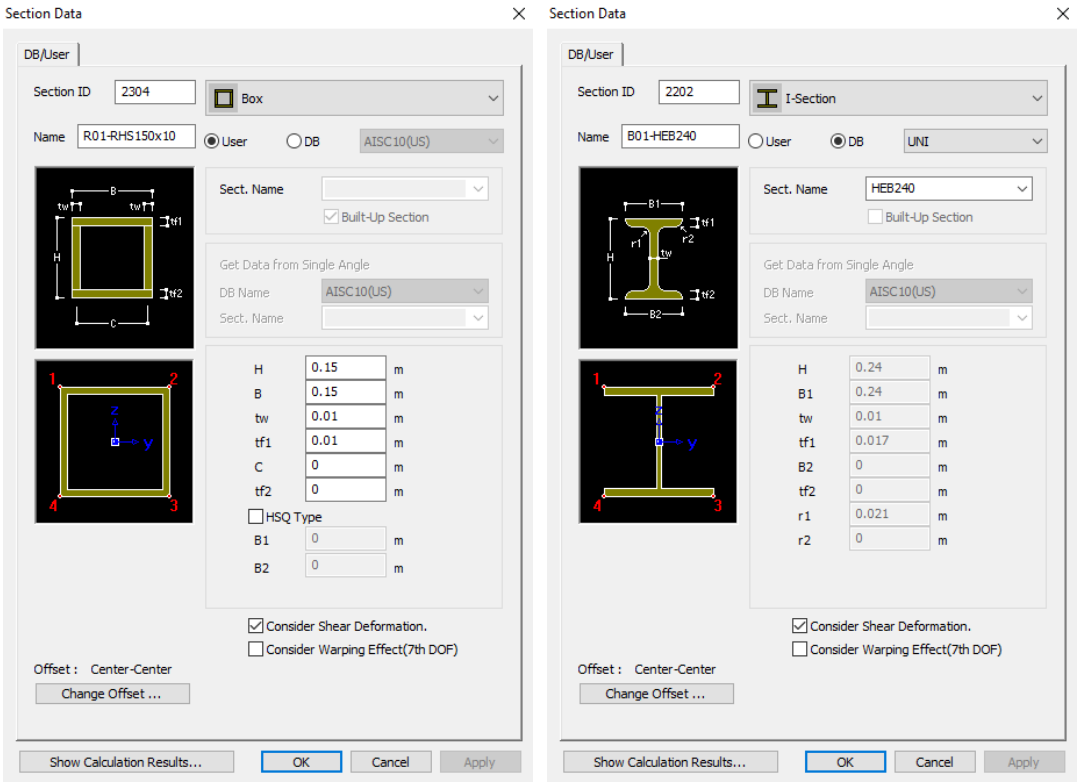


Şekil 3.47: Çelik taşıyıcı sistem uygulama planı.

Yapı güçlendirme analiz modelinde çelik elemanlar için S235 ve S275 malzemeleri tanımlanmıştır. Yapıda kolon elemanları olarak RHS250x15 kutu profiller, çapraz elemanları olarak RHS120x10 ve RHS150x10 kutu profiller kullanıştır. Kat kirişi olarak HEB240 profiller kullanılmış olup tali kiriş olarak yer yer IPE200 ve IPE240 elemanlar kullanılmıştır. Sadece kat kirişlerinin malzeme sınıfı S275JR olup diğer tüm elemanların malzeme sınıfı S235JR'dir. Bu bilgilere ait bazı detaylar Şekil 3.48 ve Şekil 3.49'da örnek olarak verilmiştir.

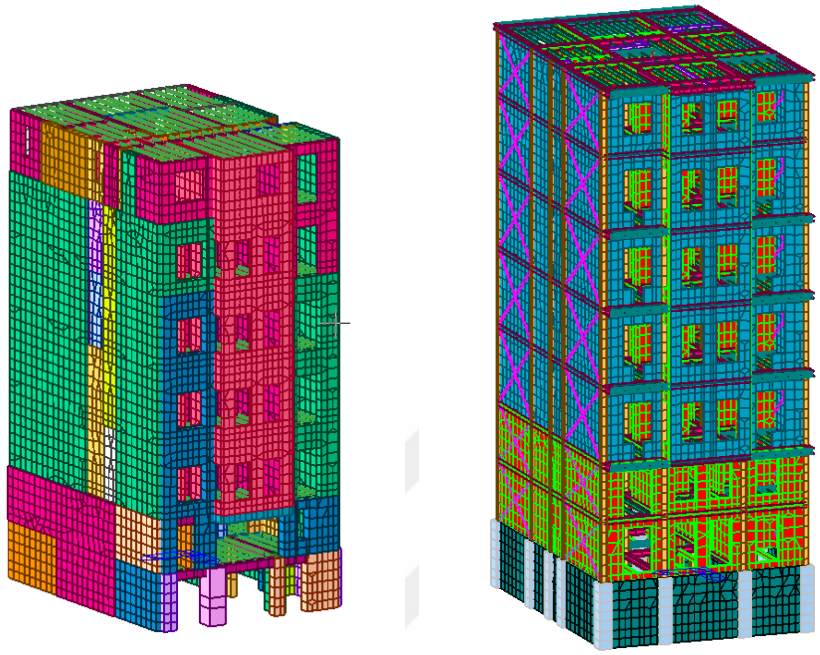


Şekil 3.48: Yapının çelik güçlendirme modelinde malzeme bilgileri.



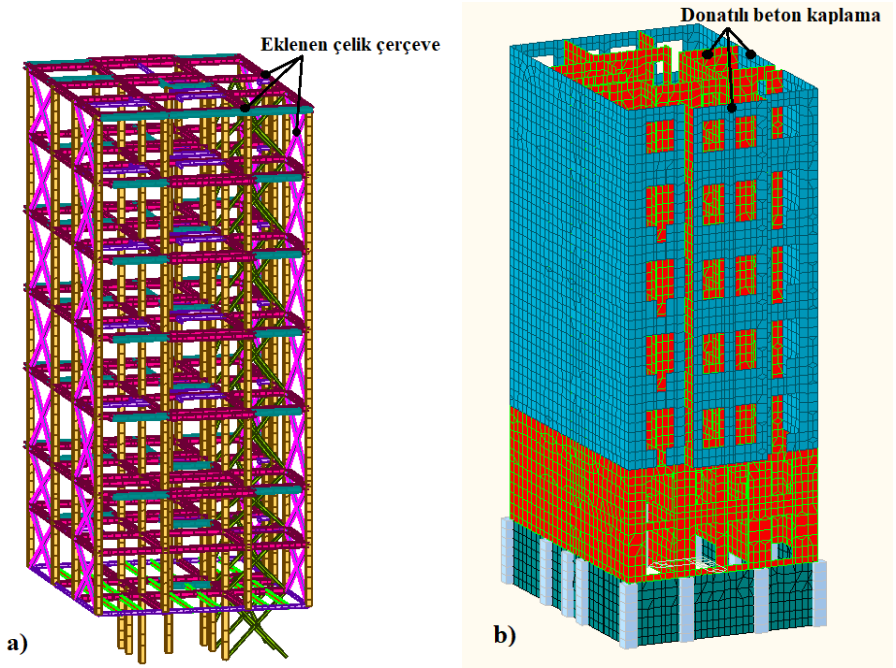
Şekil 3.49: Yapının çelik güçlendirme modelinde kesit bilgileri.

İlgili yapının mevcut ve güçlendirilmiş durumlarının sonlu eleman modelleri Şekil 3.50'de verilmektedir.



Şekil 3.50: İncelenen yapının sonlu eleman modeli a) mevcut durum b) güçlendirilmiş durum.

Yığma duvarların güçlendirilmesinde önerilen çerçeve sistem ve donatılı püskürtme beton kaplama Şekil 3.51'de sunulmaktadır.



Şekil 3.51: a) Eklenen çelik çerçeve sistem b) Donatılı püskürtme beton kaplaması.

3.4.1.1 Güçlendirilmiş Binanın Yapısal Parametreleri

Güçlendirilmiş durum statik analizlerde kullanılan parametreler, TBDY (2018)'ndeki kriterler dikkate alınarak, Tablo 3.15'deki gibi tanımlanmıştır. İlgili değerlere ait detaylar, bu bölümde sunulmuştur.

Tablo 3.15: Analiz parametreleri.

Bina Kullanım Sınıfı (BKS) ve Bina Önem Katsayısı (I)	3, 1.0
Hareketli Yük Katılım Katsayısı (n)	0.30
Deprem Tasarım Sınıfı (DTS)	1
Bina Yükseklik Sınıfı (BYS)	5

Mevcut bina, otel amaçlı kullanılacağından dolayı, TBDY (2018)'nde "Diğer binalar" olarak belirtilen sınıfta değerlendirilmiş olup, bina kullanım sınıfı (BKS) = 3, bina önem katsayısı (I)=1 olarak belirlenmiştir (Tablo 3.16).

Tablo 3.16: Bina kullanım sınıfları ve bina önem katsayıları (TBDY, 2018).

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

Mevcut bina, otel amaçlı kullanılacağından dolayı, hareketli yük kütle katılım katsayısı (n)=0.30 olarak belirlenmiştir (Tablo 3.17).

Tablo 3.17: Hareketli yük kütle katılım katsayısı (TBDY, 2018).

Binanın Kullanım Amacı	*n*
Depo, antrepo, vb.	0.80
Okul, öğrenci yurdu, spor tesisi, sinema, tiyatro, konser salonu, ibadethane, lokanta, mağaza, vb.	0.60
Konut, işyeri, otel, hastane, otopark, vb.	0.30

TBDY (2018)'nde verilen kriterler ile mevcut binanın, hesaplanan kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı (S_{DS}) ve bina kullanım sınıfı (BKS) dikkate alınarak, deprem tasarım sınıfı (DTS)=1 olarak belirlenmiştir (Tablo 3.18).

Tablo 3.18: Deprem tasarım sınıfları (DTS) (TBDY, 2018).

DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyinde Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı (S_{DS})	Bina Kullanım Sınıfı	
	BKS = 1	BKS = 2, 3
$S_{DS} < 0.33$	DTS = 4a	DTS = 4
$0.33 \le S_{DS} < 0.50$	DTS = 3a	DTS = 3
$0.50 \le S_{DS} < 0.75$	DTS = 2a	DTS = 2
$0.75 \le S_{DS}$	DTS = 1a	DTS = 1

TBDY (2018)'nde verilen kriterler ile mevcut binanın, deprem tasarım sınıfı ve yönetmeliğin E21. Maddesi dikkate alındığında, bina yükseklik sınıfının (BYS)=8 olması gerektiği anlaşılmaktadır. Ancak, binanın mevcut yüksekliği göz önüne alındığında, BYS=5 olmakta olup, bina yükseklik sınıfı açısından gereken şartlar sağlanmamaktadır (Tablo 3.19). Ancak, mevcut yapılarda bu şart aranmamaktadır.

Tablo 3.19: Bina yükseklik sınıfları ve deprem tasarım sınıflarına göre tanımlanan bina yükseklik aralıkları (TBDY, 2018).

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

3.4.1.2 Malzeme ve Dayanım Kontrolü

Analiz ve tahkiklerde yığma duvarlar için kullanılan malzeme dayanım değerleri Tablo 3.20'de özetlenmiştir.

Tablo 3.20: Yığma duvarlar için analizde kullanılan malzeme dayanım değerleri.

Tanım	**Kısaltma**	**Değer**	**Birim**
Kargir birim cinsi	-	Tuğla (Grup I)	-
Kargir birim basınç dayanımı	f_b	5.0	N/mm^2 (MPa)
Harç basınç dayanımı	f_m	2.5 (M2.5)	N/mm^2 (MPa)
Duvar karakteristik basınç dayanımı	f_k	1.70	N/mm^2 (MPa)
Duvar başlangıç kesme dayanımı	f_{vk0}	0.20	N/mm^2 (MPa)
Duvar çekme dayanımı	f_t	0.30 ($1.5f_{vk0}$)	N/mm^2 (MPa)
Duvar elastisite modülü	E_{duv}	1650	N/mm^2 (MPa)
Duvar kayma modülü	G_{duv}	660	N/mm^2 (MPa)

TBDY (2018)'nde, kargir birimler kullanılan malzeme tipi ve delik oranına göre iki gruba ayrılmıştır. İnceleme konusu yapıda, yığma duvar malzemesi olarak dolu blok tuğla veya harman tuğlası (çimento takviyeli kireç harcı ile) kullanılmış olup, kullanılan bu malzeme yönetmeliğe uygundur. Yerinde yapılan gözlemsel tespitler doğrultusunda, yığma duvar malzemesi olarak; kargir birim cinsi, "Tuğla" ve delik oranlarına göre gruplandırma tablosundan malzeme grubu, "Grup I (α <%35)" olarak seçilmiştir (Tablo 3.21).

Tablo 3.21: Kargir birimlerin delik oranlarına göre gruplandırılması (TBDY, 2018).

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

İnceleme konusu binanın yığma duvar malzeme dayanım değerleri için yönetmelikteki en düşük dayanım değerleri esas alınmıştır. Ancak, statik güçlendirme projesinde, duvarlara harç enjeksiyonu uygulaması yapılarak, duvarların harç basınç dayanımının (f_m), 2.5 MPa mertebesine yükseltileceği belirtilmiştir. Bu doğrultuda, analizlerde esas alınan değerler, Tablo 3.22'de işaretlenmiş olup, harç basınç dayanımı f_m = M2.5(2.5 MPa), kargir birim basınç dayanımı f_b = 5.0 MPa, duvar karakteristik basınç dayanımı ise f_k = 2.2 MPa alınmıştır.

Tablo 3.22: Yığma taşıyıcı duvarların karakteristik basınç dayanımı, f_k (MPa) (TBDY, 2018).

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

(*) *Harçlar M harfini takip eden rakam MPa cinsinden karakteristik basınç dayanımlarını gösterecek şekilde isimlendirilmiştir.*
(**) *İnce tabakalı harç, birimler arası harç tabakası 0.5 mm ile 3.0 mm olan harç.*

Analizlerde esas alınan karakteristik başlangıç kesme dayanımı değeri, f_{vko}, Tablo 3.23'de işaretlenmiş olup, f_{vko} = 0.20 MPa alınmıştır.

Tablo 3.23: Duvarların başlangıç kesme dayanımları, f_{vko} (MPa) (TBDY, 2018).

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

(*) *Harçlar M harfini takip eden rakam MPa cinsinden karakteristik basınç dayanımlarını gösterecek şekilde isimlendirilmiştir.*

İtalyan NTC-08 (2008) Yönetmeliği'nde de belirtildiği üzere malzemelerin ortalama çekme dayanımının, başlangıç kesme dayanımının 1.5 katı olduğu dikkate alınarak çekme dayanımı için dolu blok tuğla duvarda f_t=0.30 N/mm2 değeri esas alınmıştır.

Yapının statik analizinde duvar elastisite modülü (E_{duv}) = 750f_k = 1650 MPa, duvar kayma modülü ise, G_{duv} = %40 (E_{duv}) = 660 MPa şeklinde tanımlanmıştır.

3.4.2 Doğrusal Analiz

Yapının performans analizleri, TBDY (2018)'nde verilen kriterlere göre gerçekleştirilmiştir. Malzeme dayanımları, malzeme katsayılarına bölünmemiş olup eleman kapasitelerinin hesabında mevcut malzeme dayanımları kullanılmıştır. Yapı bilgi düzeyi kapsamlı bilgi düzeyi olarak kabul edilmiş ve buna uygun olarak bilgi düzeyi katsayısı 1.00 alınmıştır.

Yığma binaların performans düzeyine, TBDY (2018) Bölüm 11'e göre yapılan hesap sonucunda karar verilecektir. Performans seviyesini belirlemek amacıyla TBDY (2018) Bölüm 4'de belirtilen, doğrusal statik hesap yöntemi olan "Mod Birleştirme Yöntemi" seçilmiştir. Seçilen yöntem doğrultusunda, ivme spektrumuna, taşıyıcı sistem davranış ve dayanım fazlalığı katsayıları (R ve D) dikkate alınarak hesaplanan deprem yükü azaltma katsayısı [R_a(T)] etkitilmiştir. Madde 4.8.4 doğrultusunda, ilgili yöntemle hesaplanan deprem kuvvetlerinin, eşdeğer deprem yükü yöntemiyle hesaplanan kuvvetlerin %90'ına eşit veya daha büyük olması koşulu sağlanmıştır.

Yapının 50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem (DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyi) için "Kontrollü Hasar Performans Hedefi" koşullarını sağlaması gerekmektedir. Yığma binaların performans düzeyine, Madde 15.8.8'de belirtilen ve aşağıda sunulan kriterler ile karar verilmiştir.

İnceleme konusu yapının güçlendirilmiş durumunda deprem yüklerinin büyük kısmının çelik ve betonarme güçlendirme elemanları ile karşılanması sebebiyle, taşıyıcı sistem davranış ve dayanım fazlalığı katsayıları: R=4, D=2 (C33. Maddesi) olarak belirlenmiştir (Tablo 3.24).

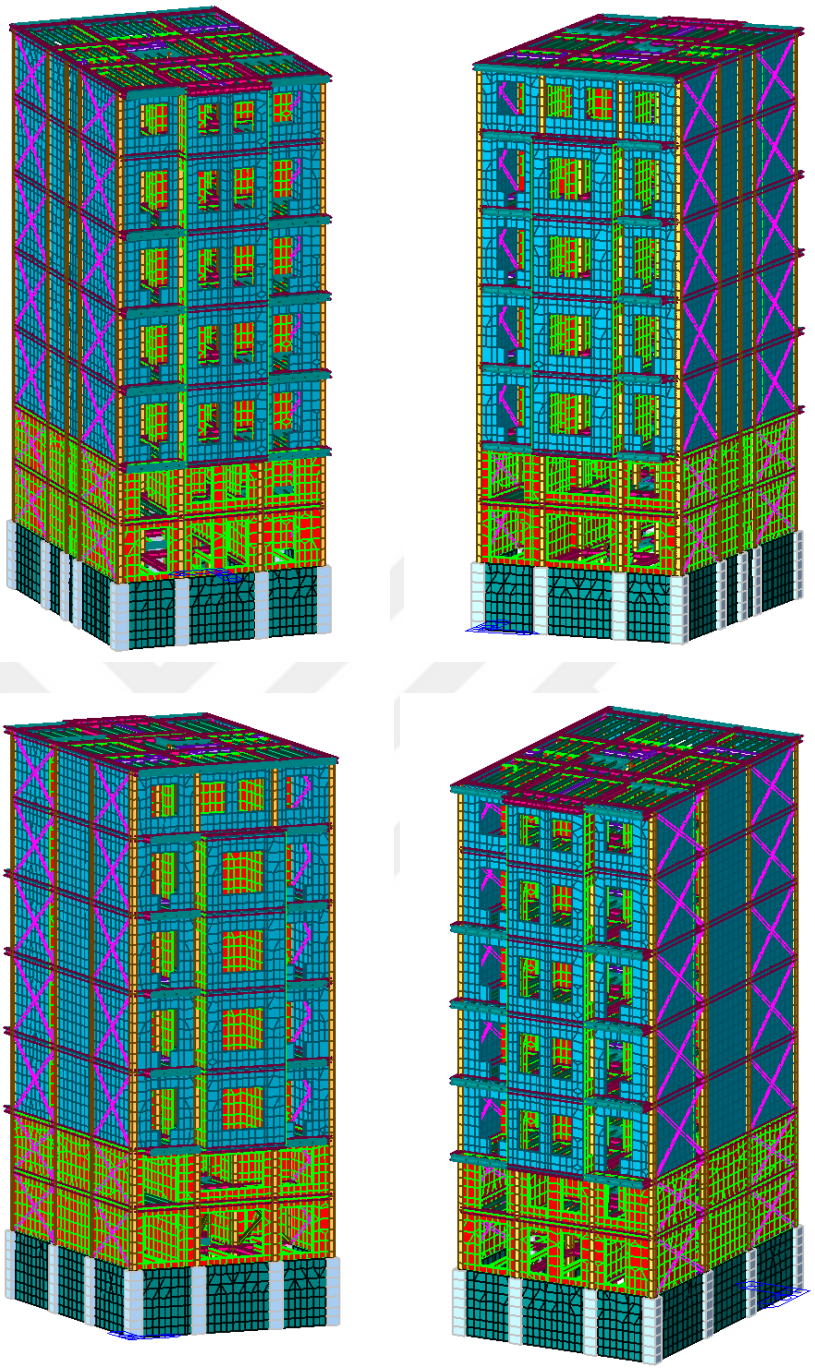
Tablo 3.24: Bina taşıyıcı sistemleri için taşıyıcı sistem davranış katsayısı, dayanım fazlalığı katsayısı ve izin verilen bina yükseklik sınıfları (TBDY, 2018).

Bina Taşıyıcı Sistemi	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı *R*	Dayanım Fazlalığı Katsayısı *D*	İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfları BYS
C. ÇELİK BİNA TAŞIYICI SİSTEMLERİ			
C1. Süneklik Düzeyi Yüksek Taşıyıcı Sistemler			
C11. Deprem etkilerinin tamamının moment aktaran *süneklik düzeyi yüksek* çelik çerçevelerle karşılandığı binalar	8	3	BYS ≥ 3
C12. Deprem etkilerinin tamamının *süneklik düzeyi yüksek* dışmerkez veya burkulması önlenmiş merkezi çaprazlı çelik çerçeveler tarafından karşılandığı binalar	8	2.5	BYS ≥ 2
C13. Deprem etkilerinin tamamının *süneklik düzeyi yüksek* merkezi çaprazlı çelik çerçeveler tarafından karşılandığı binalar	5	2	BYS ≥ 4
C14. Deprem etkilerinin moment aktaran *süneklik düzeyi yüksek* çelik çerçeveler ile *süneklik düzeyi yüksek* dışmerkez veya burkulması önlenmiş merkezi çaprazlı çelik çerçeveler veya *süneklik düzeyi yüksek* bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar (Bkz.**4.3.4.5**)	8	3	BYS ≥ 2
C15. Deprem etkilerinin moment aktaran *süneklik düzeyi yüksek* çelik çerçeveler ile *süneklik düzeyi yüksek* merkezi çaprazlı çelik çerçeveler veya *süneklik düzeyi yüksek* boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar (Bkz.**4.3.4.5**)	6	2.5	BYS ≥ 2
C16. Deprem etkilerinin tamamının çatı düzeyindeki bağlantıları mafsallı olan ve yüksekliği 12 m'yi geçmeyen *süneklik düzeyi yüksek* çelik kolonlar tarafından karşılandığı tek katlı binalar	4	2	–
C2. Süneklik Düzeyi Karma Taşıyıcı Sistemler (Bkz. 4.3.4.1, 4.3.4.6)			
C21. Deprem etkilerinin moment aktaran *süneklik düzeyi sınırlı* çelik çerçeveler ile *süneklik düzeyi yüksek* dışmerkez veya burkulması önlenmiş merkezi çaprazlı çelik çerçeveler veya *süneklik düzeyi yüksek* bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar (Bkz.**4.3.1.2**)	6	2.5	BYS ≥ 4
C22. Deprem etkilerinin moment aktaran *süneklik düzeyi sınırlı* çelik çerçeveler ile *süneklik düzeyi yüksek* merkezi çaprazlı çelik çerçeveler veya *süneklik düzeyi yüksek* boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar (Bkz.**4.3.1.2**)	5	2	BYS ≥ 4
C3. Süneklik Düzeyi Sınırlı Taşıyıcı Sistemler (Bkz. 4.3.4.1, 4.3.4.7)			
C31. Deprem etkilerinin tamamının moment aktaran *süneklik düzeyi sınırlı* çelik çerçevelerle karşılandığı binalar	4	2.5	BYS ≥ 7
C32. Deprem etkilerinin tamamının *süneklik düzeyi sınırlı* merkezi çaprazlı çelik çerçevelerle karşılandığı binalar	3	2	BYS = 8
C33. Deprem etkilerinin moment aktaran *süneklik düzeyi sınırlı* çelik çerçeveler ile *süneklik düzeyi sınırlı* merkezi çaprazlı çelik çerçeveler tarafından birlikte karşılandığı binalar	4	2	BYS ≥ 7

Doğrusal elastik deprem yüklerinin azaltılmasında esas alınan Deprem Yükü Azaltma Katsayısı $R_a(T)$ denklem (3.5) ile hesaplanarak ivme spektrumuna uygulanmıştır:

$$\begin{aligned} Ra(T) &= R/I && T > T_B \\ Ra(T) &= D + [(R/I) - D]T/T_B && T \leq T_B \end{aligned} \tag{3.5}$$

Tez konusu yapı, güçlendirme projesindeki durumu yaklaşık olarak temsil edecek şekilde 3 boyutlu olarak MidasGen sonlu eleman yazılımı ile modellenmiş ve yapının deprem performans analizleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.52'de yapının 3 boyutlu statik analiz modeli verilmiştir.



Şekil 3.52: Yapının 3 boyutlu sonlu elemanlar statik analiz modeli.

Tez konusu yapı, yığma duvarlar, betonarme püskürtme beton elemanları ve çelik güçlendirme elemanlarından oluşan karma bir taşıyıcı sisteme sahiptir. Yığma malzemesi dolu blok tuğladır. Bu nedenle ilgili yapı hem TBDY (2018)'de yığma yapılar için belirtilen performans kriterlerine göre, hem de aynı yönetmelikte betonarme binalar için belirtilen performans kriterlerine göre analiz edilerek gerekli performans kriterlerini sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmiştir.

3.4.2.1 Düşey Yükler

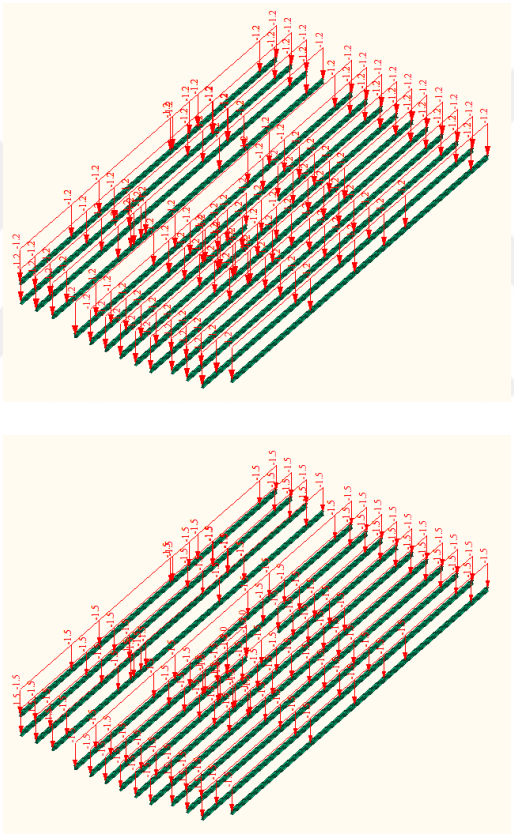
Normal kat döşemelerinde sabit yük 1,5 kN/m^2, hareketli yük 2,0 kN/m^2 olarak kabul edilmiştir. Volta döşeme çelik kirişleri arasındaki mesafe 60 cm olduğundan yükler, çelik kirişlere yayılı yük olarak tanımlanmıştır (Şekil 3.53).

-Çelik volta kirişlerindeki sabit yayılı yükler:

Normal katlarda: 2,5 kN/m^2 x 0,6 m =1,5 kN/m

-Çelik volta kirişlerindeki hareketli yayılı yükler:

Normal katlarda: 2 kN/m^2 x 0,6 m =1,2 kN/m

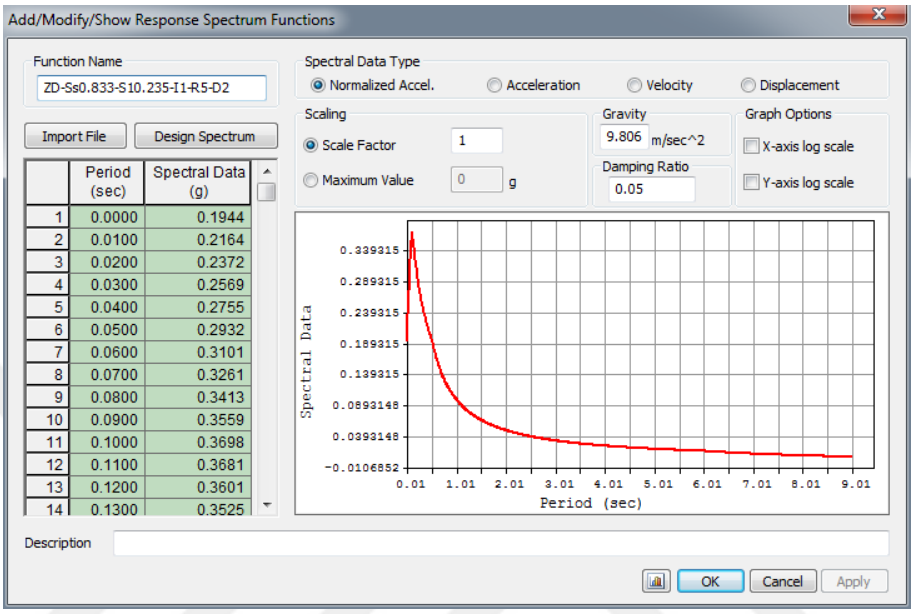


Şekil 3.53: Güçlendirilmiş model normal katlarında volta kirişlerdeki sabit yük(üst), hareketli yük(alt).

3.4.2.2 Yatay Deprem İvme Spektrumu

Binaya etkiyen yatay deprem yüklerinin belirlenmesi için esas alınacak olan elastik spektral ivme $S_{ae}(T)$ değerleri MidasGen'e tanımlanarak spektrum eğrisi oluşturulmuş ve 50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem (DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyi) için yatay deprem yükleri tanımlanmıştır (Şekil 3.54).

Yapıda deprem yüklemesi olarak kısa periyot harita spektral ivme katsayısı, S_S = 0.833; 1. sn periyot için periyot harita spektral ivme katsayısı S_1 = 0.235; Bina önem katsayısı, I = 1.0; yerel zemin sınıfı ZD, yapı davranış katsayısı, R = 4; dayanım fazlalığı katsayısı, D=2 alınmıştır. Elde edilen tasarım spektrumu Şekil 3.54'de verilmiştir.



Şekil 3.54: Güçlendirilmiş yapı için yatay deprem etkisi altında azaltılmış tasarım ivme spektrumu.

3.4.3 Kinematik Analiz

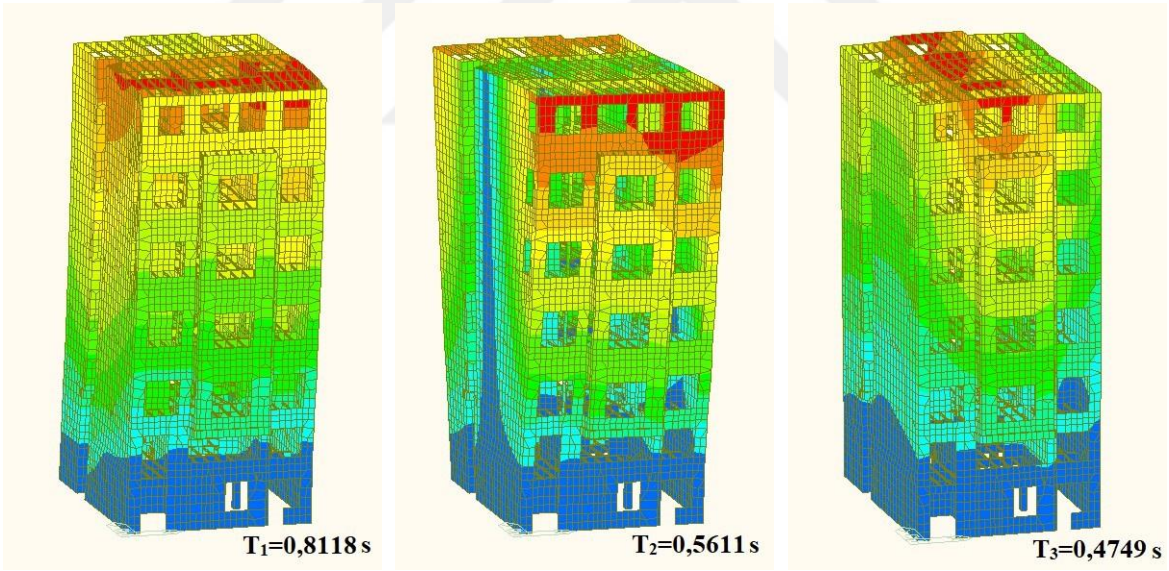
Taşıyıcı sistemi yığma birimlerden oluşan tez konusu yapının mevcut durumu ve performans analizi sonuçları değerlendirilerek önerilen güçlendirme yöntemleri Bölüm 3.4.1'de sunulmuştur. Güçlendirme projesi kapsamında yığma duvarlar için önerilen donatılı püskürme beton kaplaması ve mevcut kat döşemelerinin taşıyıcı duvarlarla bağlantısı iyileştirildiğinden, taşıyıcı duvarların olası göçme mekanizmaları engellenmiştir. Bu sebeple güçlendirilmiş taşıyıcı yığma duvarlar üzerinde olası göçme mekanizmaları değerlendirilmemiş, kinematik limit analiz çalışması gerçekleştirilmemiştir.

4. BULGULAR

4.1 MEVCUT DURUM ANALİZ SONUÇLARI

4.1.1 Doğrusal Analiz Sonuçları

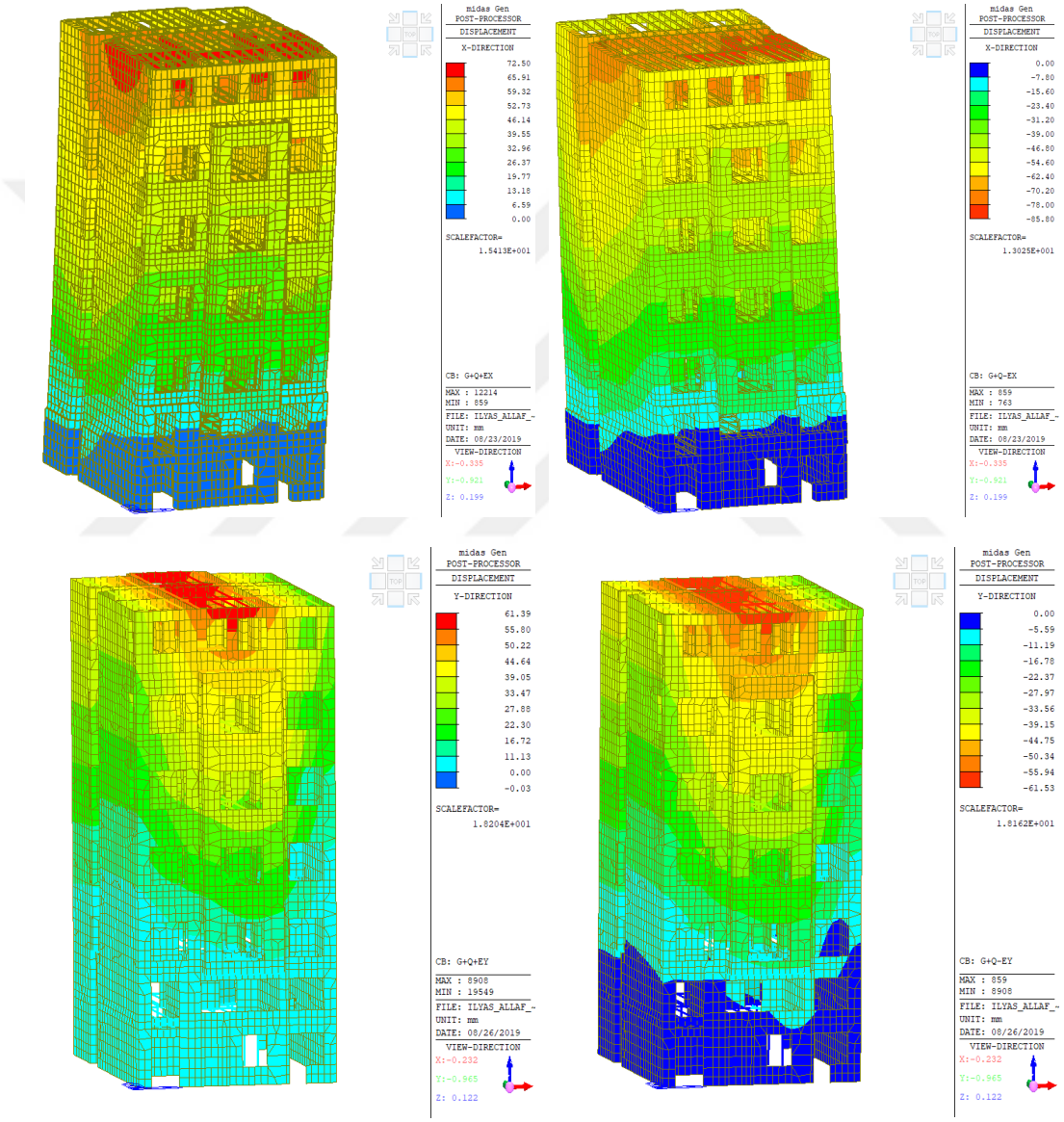
İncelenen yığma yapının mevcut durum sismik performans düzeyi "modal analiz" yöntemi ile belirlenmiştir. İlgili yöntemle hesaplanan deprem kuvvetlerinin, eşdeğer deprem yükü yöntemiyle hesaplanan kuvvetlerin %90'ına eşit veya daha büyük olması koşulu sağlanmıştır. Binanın mevcut volta döşemelerinde çelik kirişlerin yığma duvar bağlantıları, duvarların düzlem dışı yer değiştirmesini önlemek için yeterli değildir. Bu kirişler sadece düşey yükleri aktarmaktadır. Bu sebeple kirişlerin eksenel rijitliği, analizlerde bu davranışı temsil etmek üzere önemli ölçüde azaltılmıştır. Şekil 4.1'de görülebileceği gibi, bu durumun bir sonucu olarak binanın mevcut durumunun analizinde yığma duvarlarda farklı tipte lokal modlar görülmektedir.



Şekil 4.1: Mevcut durumun modal analizinde binanın ilk üç modu (sn).

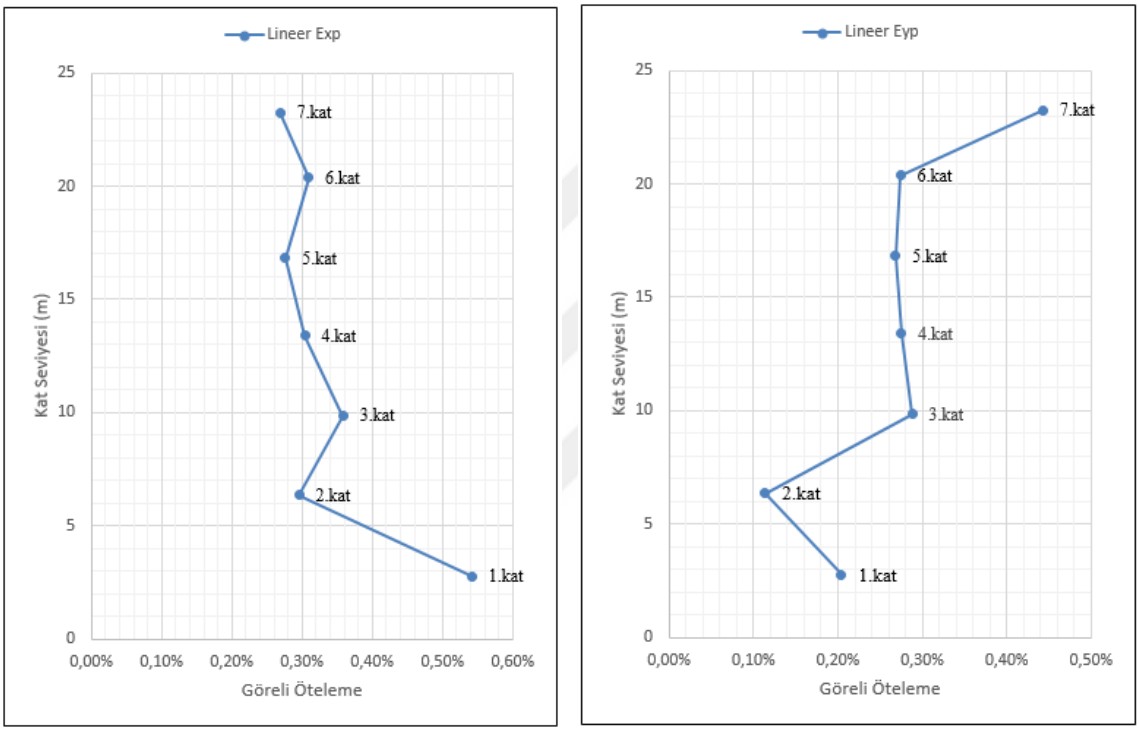
Mevcut yapının 1.modunda yapı kütle katılım oranının x yönünde %75,91 ve yapı periyodu T_1=0,8118 s'dir. 2.modda herhangi bir yönde ağırlıklı katılım görülmemiş ve yapının bu moddaki periyodu T_2=0,5611 s'dir. 3.Modda ise yapı %61,27 oranında y yönünde katılım göstermektedir ve 3.moddaki yapı periyodu T_3=0,4749 s'dir.

Yapının performans analizleri sonucunda elde edilen 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem (DD-2 deprem yer hareketi düzeyi) için yaptığı yatay yer değiştirmeler Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Mevcut yapının uzun kenarına dik doğrultuda etkiyen Exp ve Exn deprem yüklemesi altında oluşan maksimum deplasmanlar sırasıyla 72.50 ve 85.80 mm iken yapının kısa kenarına dik doğrultuda etkiyen Eyp ve Eyn deprem yüklemesi altında oluşan maksimum deplasmanlar sırasıyla 61.39 ve 61.53 mm'dir.



Şekil 4.2: Yapının x (üst) ve y (alt) yönü deprem yükü altında yatay yer değiştirmeleri.

Mevcut yapının lineer analiz ile elde edilen göreli kat ötelemeleri grafikleri Şekil 4.3'de sunulmuştur. Görüldüğü üzere göreli kat ötelemeleri %0.1 ile %0.6 arasında dağılım göstermiştir. En büyük göreli kat ötelemesi yapının uzun kenarına dik yönde etkiyen Ex deprem kuvveti sonucunda meydana gelirken, en düşük göreli kat ötelemesi yapının kısa kenarına dik yönde etkiyen Ey deprem kuvveti sonunca oluşmuştur. Göreli kat ötelemeleri Ex yatay kuvveti altında yapının 1. katında %0.54 ile en yüksek değere ulaşırken, Ey yatay kuvveti altında 7. katta %0.44 ile en yüksek değerine ulaşmıştır.



Şekil 4.3: Lineer analiz göreli kat ötelemeleri.

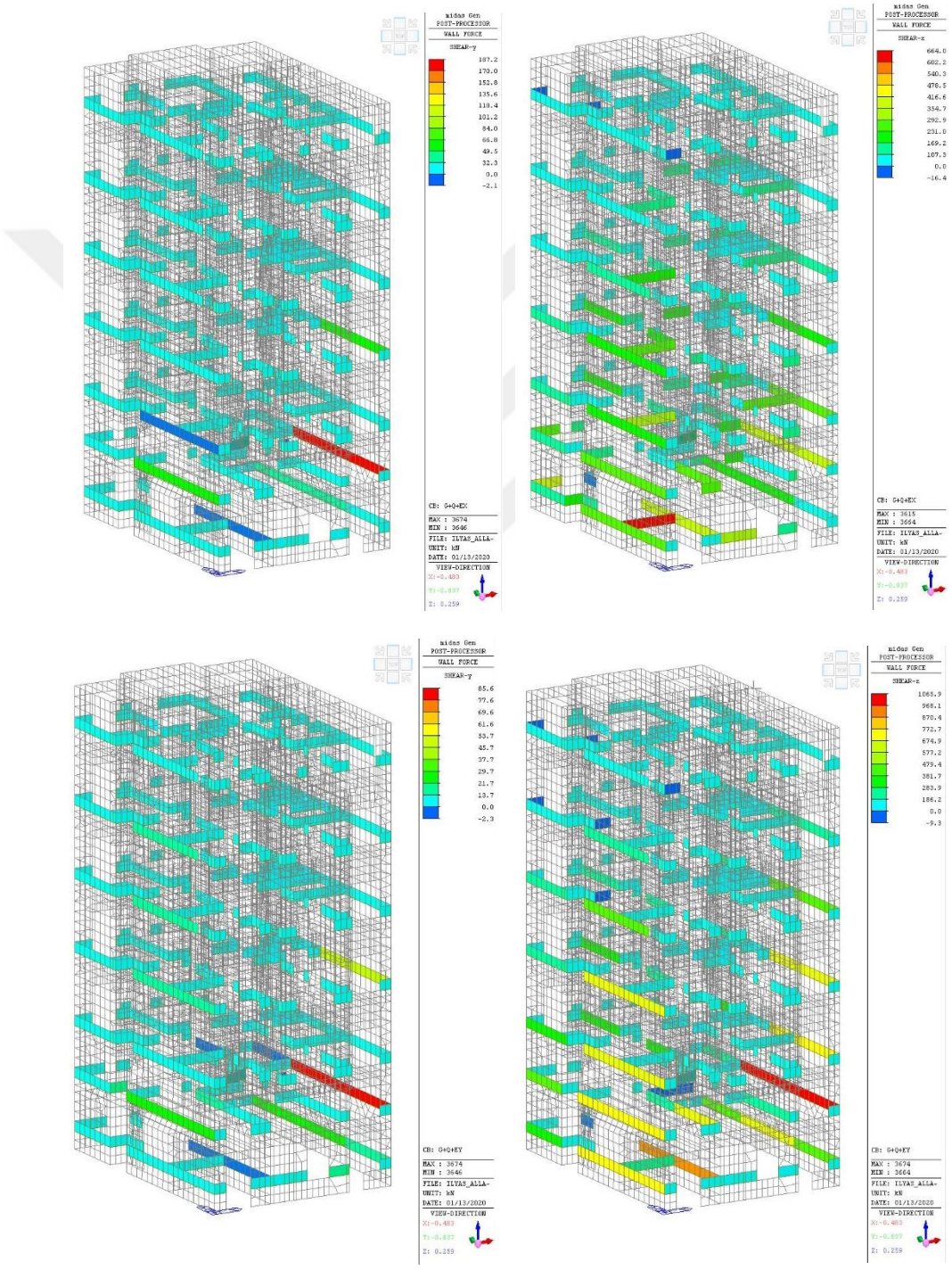
Binanın Ex ve Ey deprem kuvvetleri altında hesaplanan taban kesme kuvvetleri Tablo 4.1'de sunulmuştur. Ex ve Ey yatay deprem kuvvetleri altında yapıya etkiyen taban kesme kuvveti sırasıyla 2400,00 kN ve 3840,62 kN olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.1: Yapının x ve y yönü deprem etkileri altında taban kesme kuvvetleri.

Yük	Fx (kN)	Fy (kN)	Fz (kN)
G+Q+Ex	2400,00	1280,21	11617,60
G+Q+Ey	915,02	3840,62	11620,31

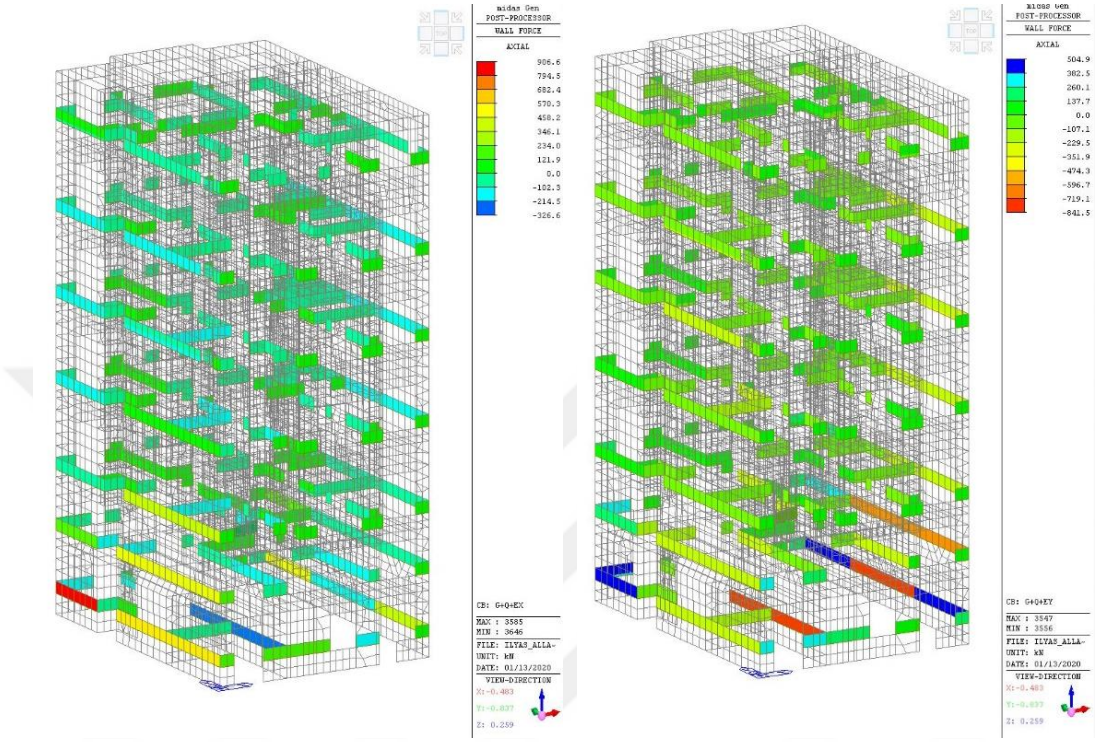
Modellenen mevcut yapının ağırlığı 1070 ton olarak hesaplanmıştır.

Ex ve Ey deprem yükleri altında mevcut yığma duvarlardaki kesme kuvvetleri Şekil 4.4'de sunulmuştur. Yığma duvarlardaki kesme kuvvetlerinin Ex yatay deprem yükü altında 664,0 kN, Ey yatay deprem yükü altında 1065.9 kN'a kadar ulaştığı görülmektedir. Ayrıca yapının alt katlarındaki yığma duvarların en fazla kesme kuvvetine maruz kalan duvarlar olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 4.4: Yığma duvarlarda x (üst) ve y (alt) yönü deprem etkileri altında kesme kuvvetleri.

Ex ve Ey deprem yükleri altında mevcut yığma duvarlardaki eksenel kuvvet değerleri Şekil 4.5'de sunulmuştur. Yığma duvarlardaki eksenel kuvvetlerin Ex yatay deprem yükü altında 906.6 kN, Ey yatay deprem yükü altında 504.9 kN'a kadar ulaştığı görülmektedir.



Şekil 4.5: Yığma duvarlarda x ve y yönü deprem etkileri altında oluşan eksenel kuvvetler.

Mevcut durum analizinde yığma duvarların üzerindeki kesme kuvvetleri dikkate alındığında, tüm katlarda her iki doğrultudaki birçok duvarda izin verilen gerilme sınırlarının aşıldığı görülmüştür. Aynı şekilde yığma duvarlarda mevcut düşey yükler ile deprem kuvvetlerinin etkisi altında eksenel kuvvetler dikkate alındığında yapının tüm katlarında bazı duvarlarda izin verilen eksenel gerilme sınırlarının aşıldığı tespit edilmiştir.

4.1.1.1 Örnek Bir Yığma Duvar Eksenel Kuvvet Tahkiki

Yığma duvarların eksenel yük tahkikinde denklem (3.2) ve (3.3) esas alınır. Yığma duvara düşey doğrultuda etkiyen tasarım kuvveti N_{Ed}, duvar düşey yük tasarım dayanımı olan N_{Rd}'den daha küçük olmalıdır. TBDY (2018) Madde 11.4.2'ye göre narinliğe bağlı λ kapasite azaltma katsayısı, narinlik oranının (h_{ef} / t_{ef}) 6 değerinden daha küçük olması durumunda 1.0, 6 ile 10 arasında olması durumunda 0.8 ve 10 ile 15 olması durumunda 0.7 alınmalıdır. Mevcut yığma

duvarın eksenel kuvvet kapasitesi kontrol edileceğinden dolayı duvar basınç dayanımı f_d için azaltma katsayısı γ_m kullanılmayacaktır.

Mevcut yapıdan seçilen bir taşıyıcı yığma duvar için yapılan eksenel kuvvet tahkiki aşağıda sunulmuştur:

Yığma duvara etkiyen eksenel kuvvet N_E = 32.25 kN

Duvar karakteristik basınç dayanımı f_k= 1.7 MPa

Narinlik (h_{ef} / t_{ef}) = 8.88

Narinlik azaltma katsayısı λ=0.8

Azaltılmış duvar basınç dayanımı λ f_k=1.36

N_R= λ A f_d = 1.36x400x6750= 3672 kN

Etki/ Kapasite Oranı= N_E / N_R = 32.25 / 3672= 0.009 < 1.00 OK

Seçilen yığma duvar için hesaplanan etki/kapasite oranına göre duvarın üzerine etkiyen eksenel yükü güvenle taşıdığı görülmektedir.

4.1.1.2 Örnek Bir Yığma Duvar Kesme Kuvveti Tahkiki

TBDY (2018) Madde 11.4.3'de yığma duvarların kesme tahkikleri hakkında bilgiler verilmiştir. İlgili maddeye göre; Yığma duvardaki kesme kuvveti dayanımı V_{Rd}, duvara etkiyen kesme kuvveti, V_{Ed}'den daha büyük olacaktır. Duvar kesme kuvveti dayanımı V_{Rd} için, denklem (4.1) ve (4.2) ile hesaplanan değerlerden küçük olanı alınmalıdır. Duvar yüksekliğinin duvar uzunluğuna oranı olan b katsayısı, 1′den küçük 1.5′dan büyük alınmamalıdır.

$$V_{Rd} = f_{vd} t l_c \tag{4.1}$$

$$V_{Rd} = lt \frac{1.5 f_{vdo}}{b} \sqrt{1 + \frac{N_{Ed}}{1.5 lt f_{vdo}}} \tag{4.2}$$

Mevcut yapıdan seçilen aynı taşıyıcı yığma duvar için yapılan kesme tahkiki aşağıda sunulmuştur:

Yığma duvara etkiyen eksenel kuvvet N_E = 32.25 kN

Yığma duvara etkiyen kesme kuvveti V_E= 437.7 kN

Duvar başlangıç kesme dayanımı f_{vk0} = 0.1 MPa

Duvar kalınlığı t= 0.4 m

Duvar kesit uzunluğu l= 6.75 m

Basınç kuvvetine çalışan duvar boyu l_c= 3.48 m

Duvar yüksekliğinin duvar uzunluğuna oranı b=1.0

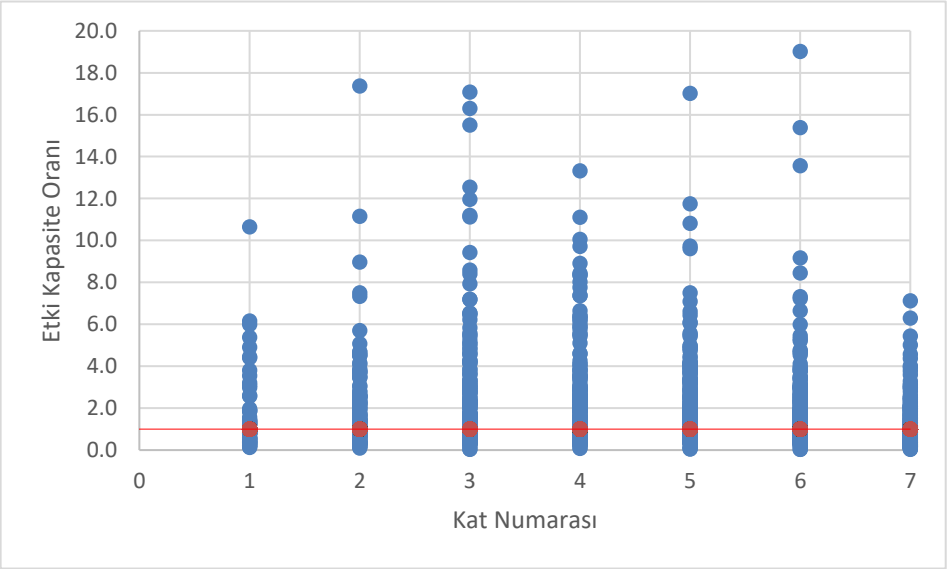
$$V_{Rd1} = f_{vd}\ t\ l_c = 0.1x400x3480 = 139.2\ kN$$

$$V_{Rd2} = l\ t\ \frac{1.5 f_{vdo}}{b}\sqrt{1+\frac{N_{Ed}}{1.5\ l\ t\ f_{vdo}}} = 6750x400x\ \frac{1.5x0.1}{1}\sqrt{1+\frac{32750}{1.5x6750x400x0.1}} = 421\ kN$$

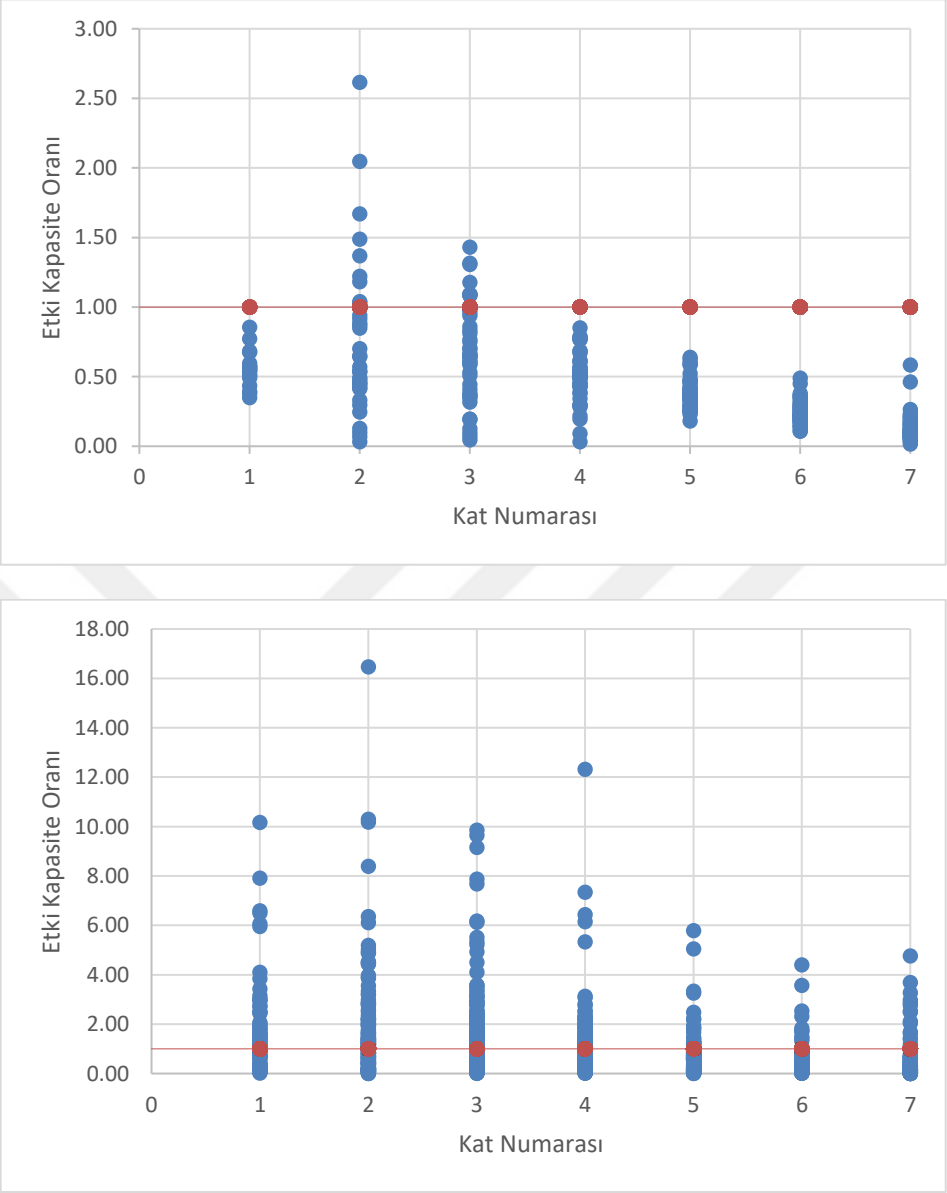
Etki/ Kapasite Oranı= V_E / V_R = 437.7/139.2 = 3.12 > 1.00 NOT OK

Seçilen yığma duvar için hesaplanan etki/kapasite oranına göre duvarın üzerine etkiyen kesme kuvveti yükünün duvar kesme kapasitesi sınırını aştığı görülmüştür.

Mevcut yığma bina üzerinde yapılan modal analiz sonucunda yukarıdaki hesap yöntemlerine bağlı kalarak tüm yığma duvarların eksenel kuvvet ve kesme kuvvetleri altında etki/kapasite oranları hesaplanmıştır. Şekil 4.6'da görüldüğü üzere duvarların kesme kuvveti kapasitelerinin neredeyse tamamının aşıldığı tespit edilmiştir. Bazı duvarlar için etki/kapasite oranı değerlerinin 30'u aştığı görülmüş ancak sınırlı sayıda duvarda olduğundan Şekil 4.6 üzerinde temsil edilmemiştir. Sadece düşey yükler altında birkaç yığma duvarda eksenel kuvvet taşıma kapasitesi aşılırken, deprem etkisiyle birlikte olan düşey yük durumlarında ise pek çok taşıyıcı yığma duvarın eksenel yük taşıma kapasitesinin aşıldığı görülmüştür (Şekil 4.7).



Şekil 4.6: Yığma duvarların kesme kuvvetleri altında etki/kapasite oranları.



Şekil 4.7: Yığma duvarların depremsiz (üst) ve depremli (alt) durumda eksenel kuvvet etki/kapasite oranları.

Yığma binaların performans düzeyine, TBDY (2018) Madde 15.8.8'de belirtilen ve aşağıda sunulan kriterler ile karar verilmiştir. İlgili maddede "Eğer yığma binanın her iki doğrultudaki tüm duvarlarının kesme kuvveti dayanımı uygulanan deprem etkileri altında oluşan kesme kuvvetlerini karşılamaya yeterli ise, binanın "Sınırlı Hasar Performans Düzeyi"ni sağladığı sonucuna varılır. Herhangi bir katta uygulanan deprem doğrultusunda bu koşulu sağlamayan duvarların kat kesme kuvvetine katkısı %40'ın altında ise binanın "Kontrollü Hasar Performans Düzeyi"ni sağladığı kabul edilecektir. Bu oranın %40'ı aşması durumunda binanın "Göçme

Durumu”nda olduğu kabul edilir.” ibaresi bulunmaktadır. Tüm katlar için analizlerden elde edilen sonuçlar ve yapının performans değerlendirmeleri Tablo 4.2’de verilmiştir.

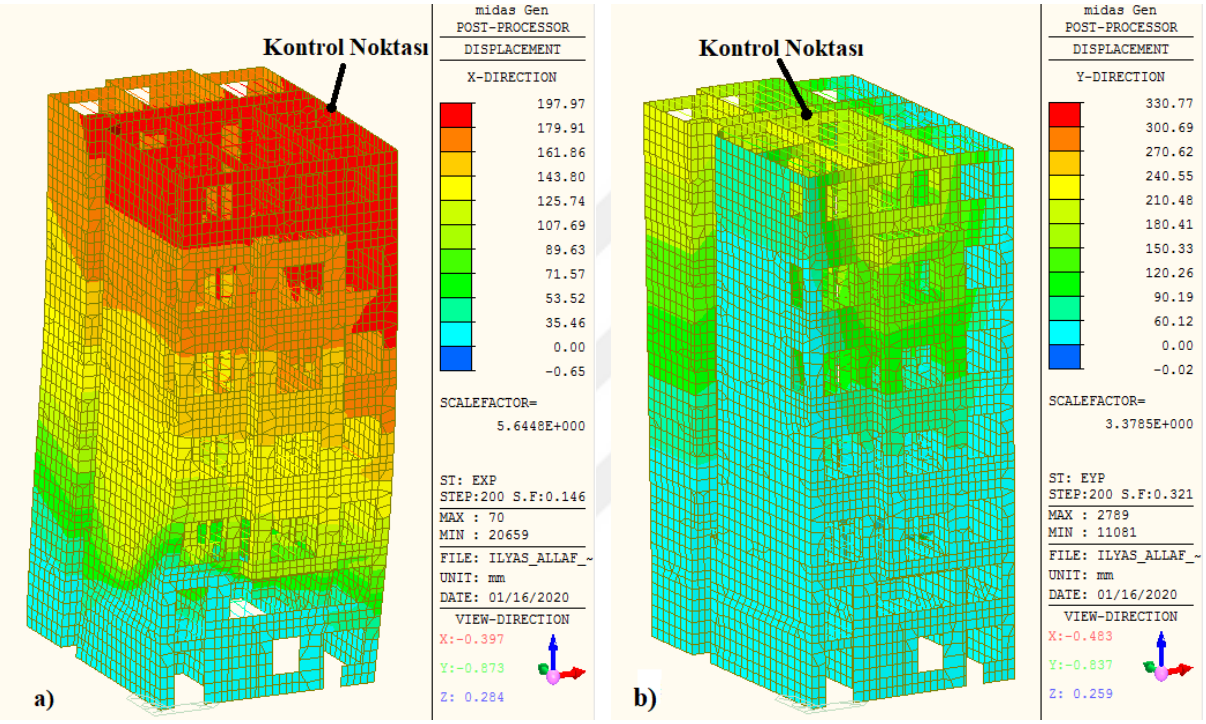
Mevcut yapının tüm katlarında yetersiz kesme kapasitesine sahip yığma duvarların toplam kesme kuvvetlerinin toplam kat kesme kuvvetine oranı % 40'ın üzerindedir. Bu sebeple binanın mevcut durumunun “Kontrollü Hasar” performans seviyesini karşılamadığı ve “Göçme Düzeyi” performans seviyesinde olduğu belirlenmiştir.

Tablo 4.2: Performans analizi sonuçları özet tablosu.

Kat	Deprem Yönü	Kesme Kuvveti Oranı (%)	Sınır (%)	Performans Seviyesi
1	Ex	91,53	40	GC
	Ey	93,21	40	GC
2	Ex	99,95	40	GC
	Ey	100,00	40	GC
3	Ex	99,94	40	GC
	Ey	100,00	40	GC
4	Ex	99,67	40	GC
	Ey	100,00	40	GC
5	Ex	99,76	40	GC
	Ey	100,00	40	GC
6	Ex	95,53	40	GC
	Ey	100,00	40	GC
7	Ex	95,00	40	GC
	Ey	73,49	40	GC

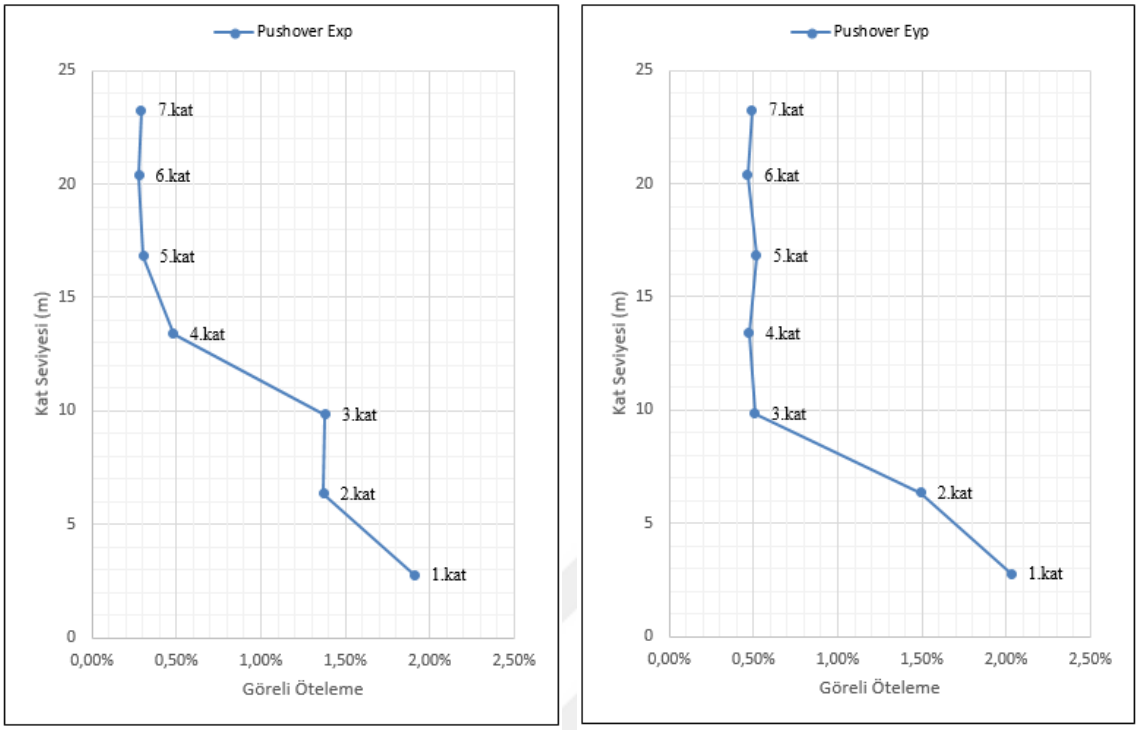
4.1.2 Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçları

Yapıya, TYDRYK 2017'de belirtilen Kontrollü Hasar Sınır Durumu (KH)'nun değerlendirilmesi için belirtilen %0.7 (yapı yüksekliğine göre öteleme oranı) sınır durumuna kadar statik itme kuvveti uygulanmıştır. Şekil 4.8'de doğrusal olmayan analiz için Ex ve Ey deprem kuvvetleri belirtilen kontrol noktalarından yapıya etkitilmiştir ve nonlineer analiz sonucu yapıda meydana gelen yatay yer değiştirmeler gösterilmektedir.



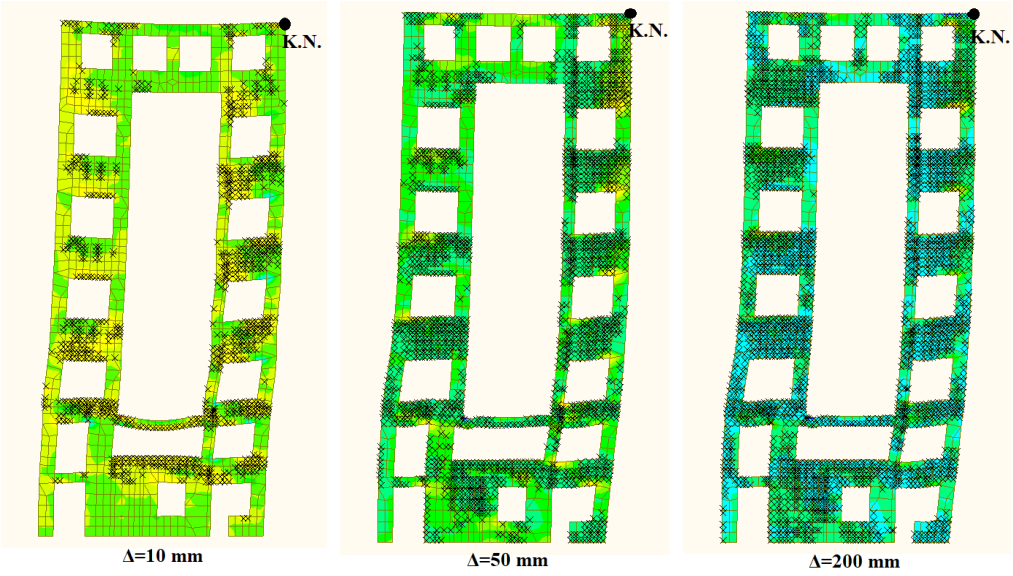
Şekil 4.8: Yatay deplasmanlar: a) Pushover +X, b) Pushover +Y.

Mevcut yapı nonlineer analizinde elde edilen göreli kat ötelemeleri grafikleri Şekil 4.9'da sunulmuştur. En büyük göreli kat ötelemesi yapının kısa kenarına dik yönde etkiyen Ey deprem kuvveti sonucunda meydana gelirken, en düşük göreli kat ötelemesi yapının uzun kenarına dik yönde etkiyen Ex deprem kuvveti sonunca oluşmuştur. Göreli kat ötelemeleri Ey yatay kuvveti altında yapının 1. katında %2.0 ile en yüksek değere ulaşırken, Ex yatay kuvveti altında 7. katta %0.27 ile en yüksek değerine ulaşmıştır.



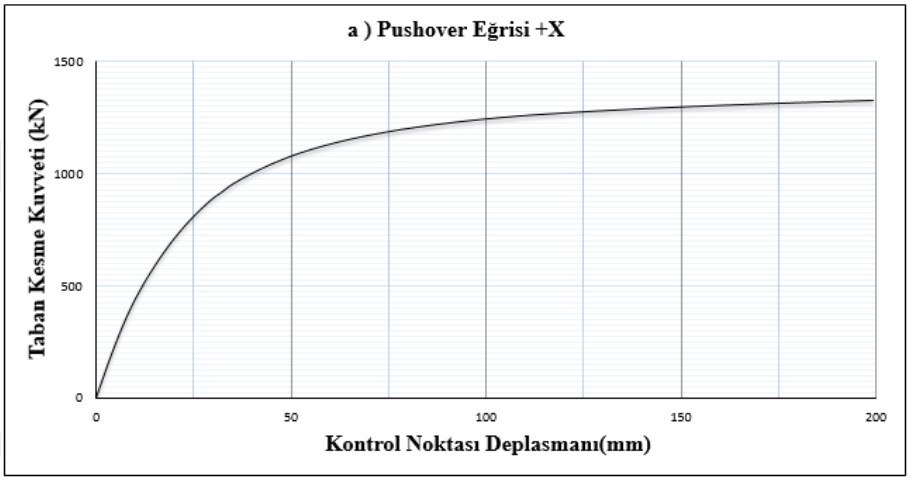
Şekil 4.9: Göreli kat ötelemeleri.

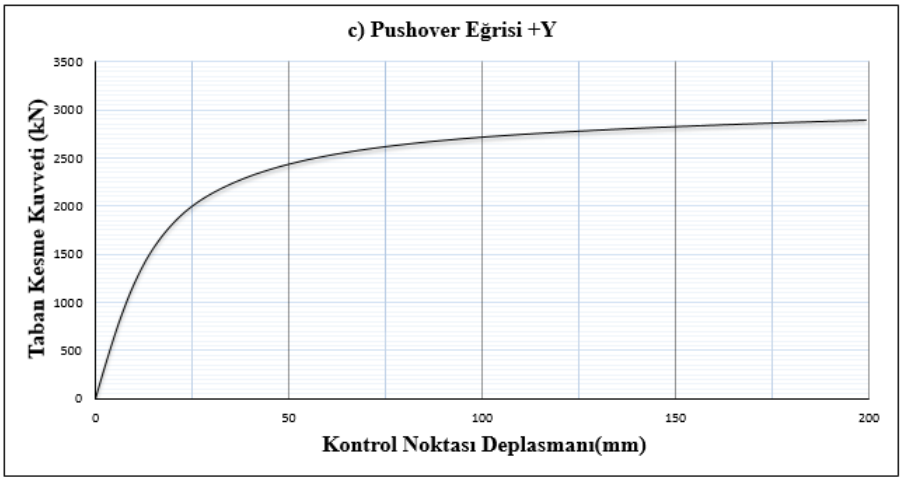
Yapının ön cephe taşıyıcı duvarlarında, duvar kesitine paralel yöndeki deprem kuvveti altında oluşan kesme gerilmeleri incelenmiştir. Analiz sonucunda cephe üzerinde kesme gerilmelerinin 0.6 MPa'ya kadar ulaştığı, kabul edilen duvar karakteristik kesme dayanımını (f_{vk0}=0.1 MPa) ve duvar çekme dayanımını (f_t=0.15 MPa) aştığı tespit edilmiştir. Şekil 4.10'da, istenilen deplasman değerine ulaşıldıkça yapıdaki gerilmelerin arttığı ve kesme kuvvetinden dolayı oluşan hasarların çoğunlukla kapı ve pencere boşlukları çevresinde yoğunlaştığı görülmektedir.



Şekil 4.10: Kontrol noktasındaki farklı deplasmanlarda ön cephe gerilme dağılımı ve hasar durumu.

TYDRYK 2017'de nonlineer analiz için belirtilen sınır koşullarına kadar statik itme kuvveti uygulanan yapının, depremli durumda oluşan Taban kesme kuvveti - Kontrol noktası yer değiştirme grafikleri Şekil 4.11'de gösterilmiştir. +X yönündeki pushover analizinde yapı, maksimum 1350 kN taban kesme kuvvetine kadar plastik şekil değiştirme yapmıştır. Ancak 1100 kN değerindeki yatay kuvvetten sonra yapı taşıma kapasitesini önemli oranda yitirmiştir. +Y yönündeki pushover analizinde yapı, maksimum 2900 kN taban kesme kuvvetine kadar plastik şekil değiştirme yapmıştır. Ancak 2600 kN değerindeki yatay kuvvetten sonra yapı bu yöndeki taşıma kapasitesini önemli oranda yitirmiştir.





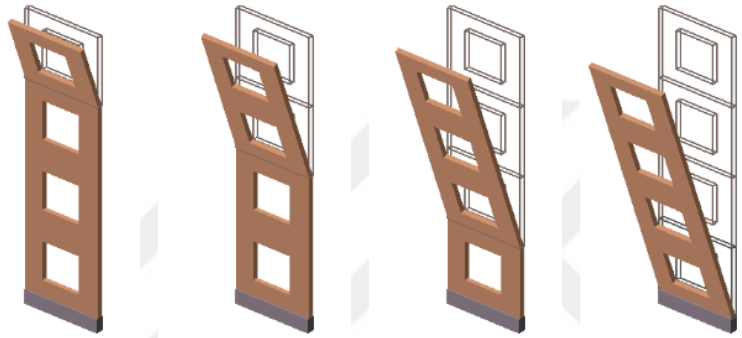
Şekil 4.11: Taban kesme kuvveti- Kontrol noktası deplasmanı eğrileri a) Pushover+X, b) Pushover+Y.

4.1.3 Kinematik Analiz Sonuçları

Olası göçme mekanizmaları araştırılan mevcut yığma duvarların analiz sonuçları aşağıda sunulmuştur.

4.1.3.1 Ön Cephe Duvarı-1

İncelenen ön cephe yığma duvarı-1'in düzlem dışı devrilme göçme mekanizması için yapılan kontroller Şekil 4.12 ve Tablo 4.3'de gösterilmektedir.



Şekil 4.12: Düzlem dışı devrilme göçme mekanizması.

Tablo 4.3: Düzlem dışı devrilme göçme mekanizması için yapılan kontroller.

Kat	a_0	α_0^*	α_c	α_c / α_0^*	Kontrol
Kat-4	0,058	0,064	0,509	7,90	Hayır
Kat-3	0,029	0,073	0,340	4,65	Hayır
Kat-2	0,018	0,023	0,170	7,40	Hayır
Kat-1	0,012	0,016	0,200	12,90	Hayır

İncelenen ön cephe yığma duvarı-1'in düzlem dışı düşey eğilme göçme mekanizması için yapılan kontroller Şekil 4.13 ve Tablo 4.4'de gösterilmektedir.

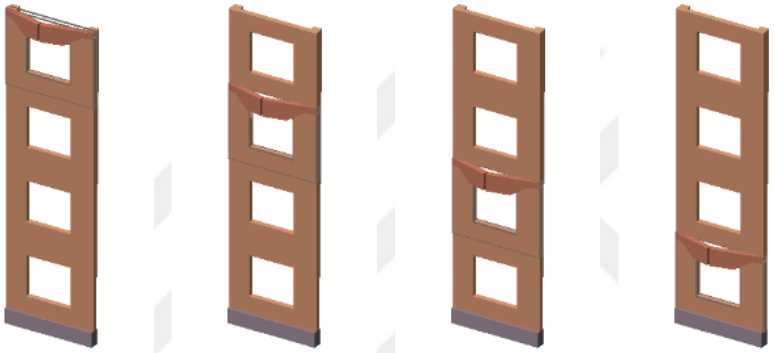


Şekil 4.13: Düzlem dışı düşey eğilme göçme mekanizması.

Tablo 4.4: Düzlem dışı düşey eğilme göçme mekanizması için yapılan kontroller.

Kat	a_0	α_0^*	α_c	α_c / α_0^*	Kontrol
Kat-4	0,311	0,388	2,012	5,18	Hayır
Kat-3	0,932	1,162	1,341	1,15	Hayır
Kat-2	1,514	1,888	0,671	0,36	Evet
Kat-1	2,094	2,611	0,200	0,08	Evet

İncelenen ön cephe yığma duvarı-1'in düzlem dışı yanal eğilme göçme mekanizması için yapılan kontroller Şekil 4.14 ve Tablo 4.5'de gösterilmektedir.



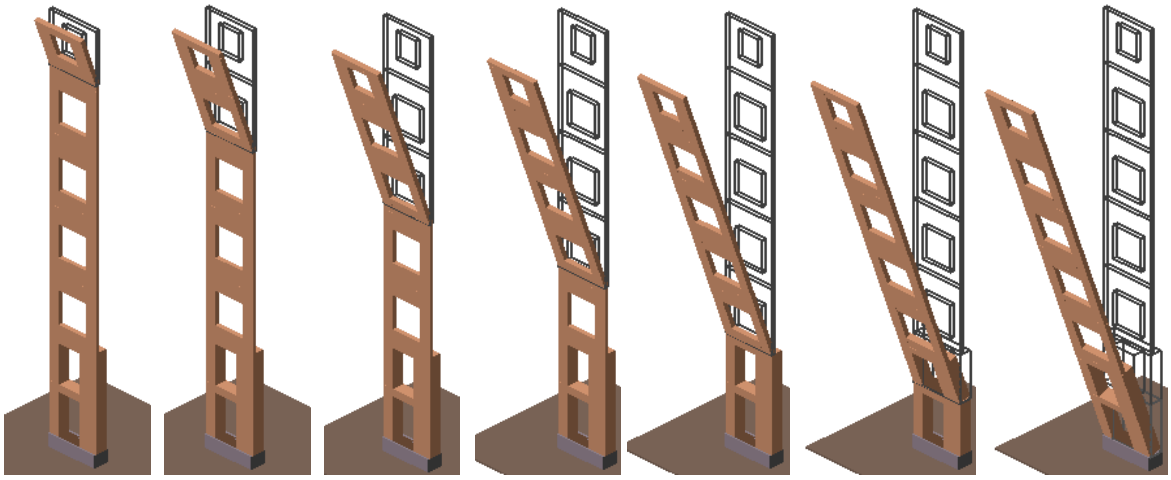
Şekil 4.14: Düzlem dışı yanal eğilme göçme mekanizması.

Tablo 4.5: Düzlem dışı yanal eğilme göçme mekanizması için yapılan kontroller.

Kat	a_0	α_0^*	α_c	α_c / α_0^*	Kontrol
Kat-4	1,469	1,482	0,610	0,41	Evet
Kat-3	1,469	1,482	0,440	0,30	Evet
Kat-2	1,469	1,482	0,270	0,18	Evet
Kat-1	1,469	1,482	0,200	0,13	Evet

4.1.3.2 Ön Cephe Duvarı-2

İncelenen ön cephe yığma duvarı-2'nin düzlem dışı devrilme göçme mekanizması için yapılan kontroller Şekil 4.15 ve Tablo 4.6'da gösterilmektedir.

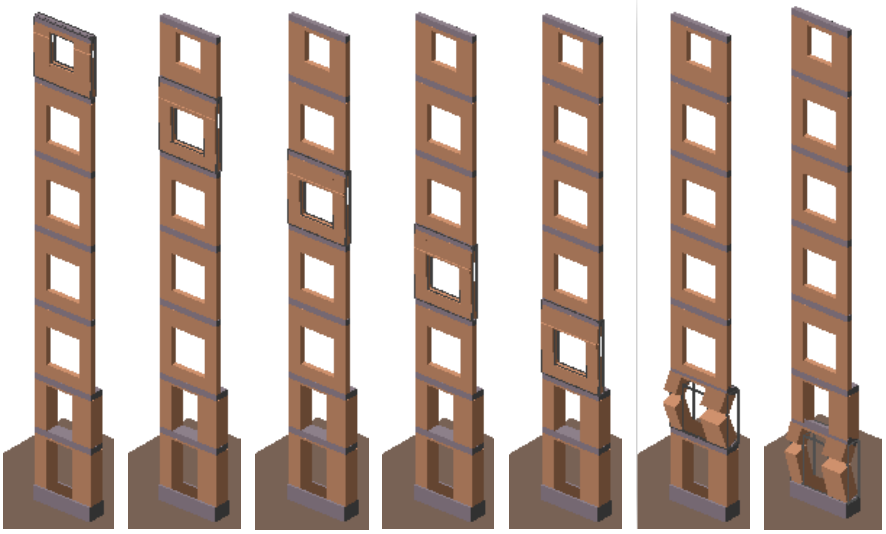


Şekil 4.15: Düzlem dışı devrilme göçme mekanizması.

Tablo 4.6: Düzlem dışı devrilme göçme mekanizması için yapılan kontroller.

Kat	a_0	α_0*	α_c	α_c / α_0*	Kontol
Kat-7	0,069	0,079	0,339	4,31	Hayır
Kat-6	0,030	0,036	0,277	7,77	Hayır
Kat-5	0,018	0,022	0,216	9,71	Hayır
Kat-4	0,012	0,015	0,154	10,18	Hayır
Kat-3	0,009	0,011	0,093	8,10	Hayır
Kat-2	0,012	0,017	0,048	2,82	Hayır
Kat-1	0,013	0,019	0,205	10,75	Hayır

İncelenen ön cephe yığma duvarı-2'nin düzlem dışı düşey eğilme göçme mekanizması için yapılan kontroller Şekil 4.16 ve Tablo 4.7'de gösterilmektedir.

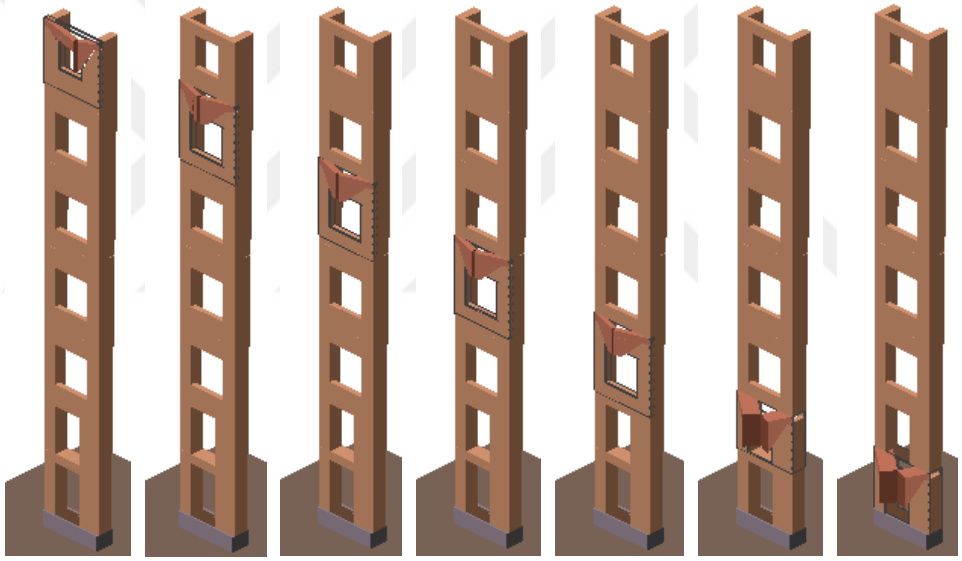


Şekil 4.16: Düzlem dışı düşey eğilme göçme mekanizması.

Tablo 4.7: Düzlem dışı düşey eğilme göçme mekanizması için yapılan kontroller.

Kat	a_0	α_0^*	α_c	α_c / α_0^*	Kontol
Kat-7	0,507	0,769	0,263	0,34	Evet
Kat-6	1,008	1,482	2,130	1,44	Hayır
Kat-5	1,646	2,421	1,658	0,68	Evet
Kat-4	2,292	3,376	1,185	0,35	Evet
Kat-3	3,012	4,469	0,712	0,16	Evet
Kat-2	9,710	12,276	0,369	0,03	Evet
Kat-1	8,729	10,898	0,205	0,02	Evet

İncelenen ön cephe yığma duvarı-2'in düzlem dışı yanal eğilme göçme mekanizması için yapılan kontroller Şekil 4.17 ve Tablo 4.8'de gösterilmektedir.



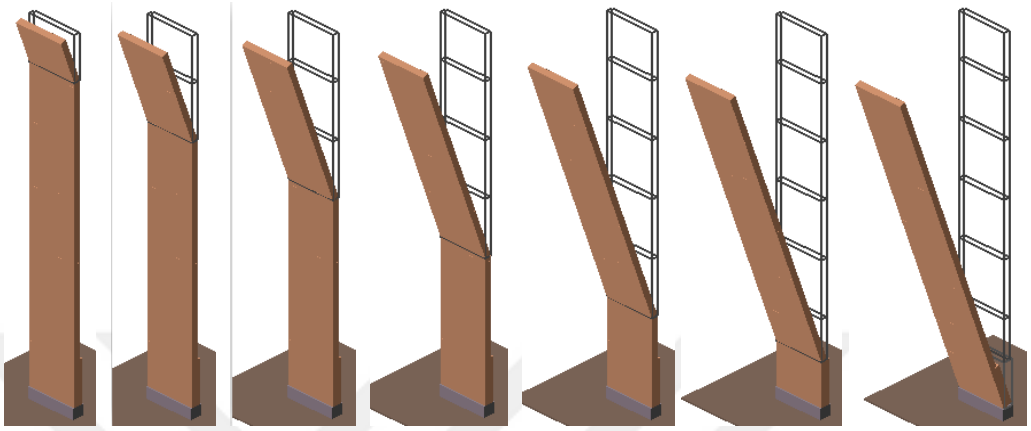
Şekil 4.17: Düzlem dışı yanal eğilme göçme mekanizması.

Tablo 4.8: Düzlem dışı yanal eğilme göçme mekanizması için yapılan kontroller.

Kat	a_0	α_0^*	α_c	α_c / α_0^*	Kontrol
Kat-7	1,660	1,680	0,36	0,21	Evet
Kat-6	2,032	2,067	0,31	0,15	Evet
Kat-5	2,025	2,062	0,249	0,12	Evet
Kat-4	2,025	2,062	0,189	0,09	Evet
Kat-3	2,014	2,049	0,128	0,06	Evet
Kat-2	6,044	6,136	0,067	0,01	Evet
Kat-1	6,044	6,136	0,205	0,03	Evet

4.1.3.3 Yan Cephe Duvarı

İncelenen yan cephe yığma duvarının düzlem dışı devrilme göçme mekanizması için yapılan kontroller Şekil 4.18 ve Tablo 4.9'da gösterilmektedir.

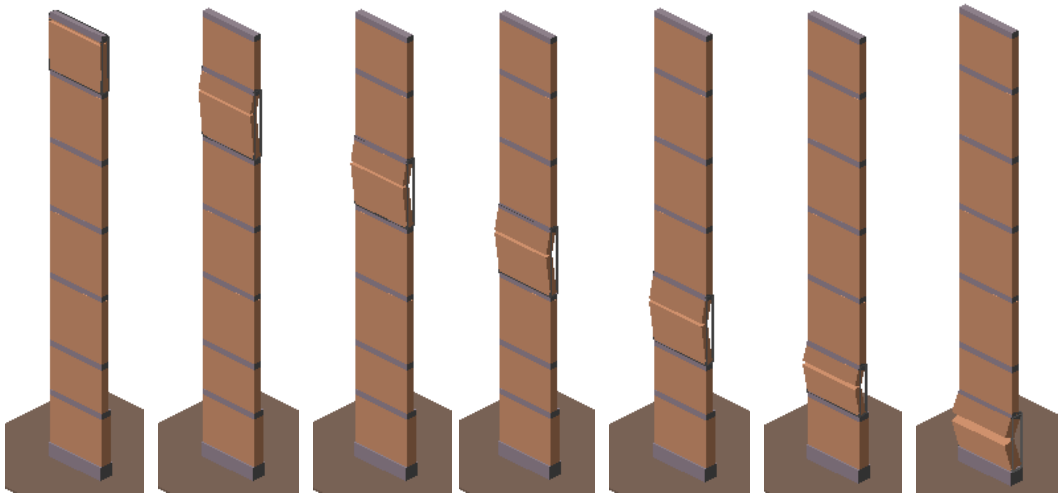


Şekil 4.18: Düzlem dışı devrilme göçme mekanizması.

Tablo 4.9: Düzlem dışı devrilme göçme mekanizması için yapılan kontroller.

Kat	a_0	α_0^*	α_c	α_c / α_0^*	Kontol
Kat-7	0,098	0,098	0,339	3,46	Hayır
Kat-6	0,043	0,054	0,277	5,17	Hayır
Kat-5	0,025	0,032	0,216	6,67	Hayır
Kat-4	0,016	0,021	0,154	7,33	Hayır
Kat-3	0,011	0,015	0,093	6,41	Hayır
Kat-2	0,008	0,011	0,048	4,53	Hayır
Kat-1	0,007	0,010	0,205	21,12	Hayır

İncelenen yan cephe yığma duvarının düzlem dışı düşey eğilme göçme mekanizması için yapılan kontroller Şekil 4.19 ve Tablo 4.10'da gösterilmektedir.

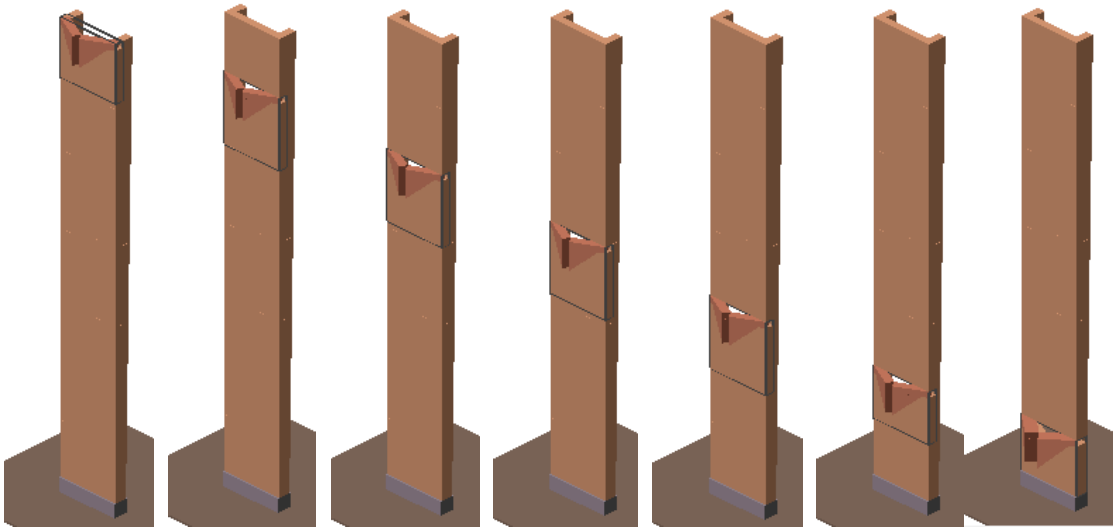


Şekil 4.19: Düzlem dışı düşey eğilme göçme mekanizması.

Tablo 4.10: Düzlem dışı düşey eğilme göçme mekanizması için yapılan kontroller.

Kat	a_0	α_0^*	α_c	α_c / α_0^*	Kontol
Kat-7	0,303	0,303	2,603	8,59	Hayır
Kat-6	0,839	0,839	2,130	2,54	Hayır
Kat-5	1,472	1,472	1,658	1,13	Hayır
Kat-4	2,096	2,096	1,185	0,57	Evet
Kat-3	2,718	2,718	0,712	0,26	Evet
Kat-2	6,240	6,240	0,369	0,06	Evet
Kat-1	7,224	7,224	0,205	0,03	Evet

İncelenen yan cephe yığma duvarının düzlem dışı yanal eğilme göçme mekanizması için yapılan kontroller Şekil 4.20 ve Tablo 4.11'de gösterilmektedir.



Şekil 4.20: Düzlem dışı yanal eğilme göçme mekanizması.

Tablo 4.11: Düzlem dışı yanal eğilme göçme mekanizması için yapılan kontroller.

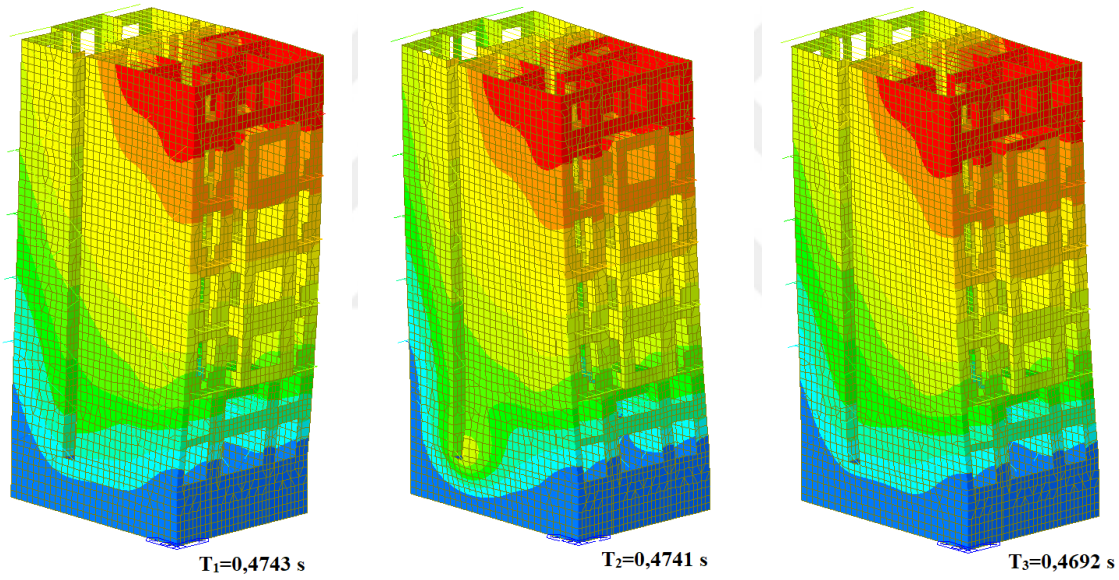
Kat	a_0	α_0^*	α_c	α_c / α_0^*	Kontol
Kat-7	4,071	4,141	0,363	0,09	Evet
Kat-6	4,071	4,141	0,314	0,08	Evet
Kat-5	4,071	4,141	0,252	0,06	Evet
Kat-4	4,071	4,141	0,191	0,05	Evet
Kat-3	4,071	4,141	0,129	0,03	Evet
Kat-2	4,071	4,141	0,068	0,02	Evet
Kat-1	6,808	6,912	0,205	0,03	Evet

Analiz edilen üç farklı yığma duvarın düzlem dışı devrilme mekanizması incelendiğinde, tüm duvarlarda mekanizmanın aktif olduğu görülmektedir. Bu tür göçme mekanizmasının oluşmasını önlemek için gerekli bağlantı detayları mevcut yapıda bulunmamaktadır. Güçlendirme projesi kapsamında önerilen çelik çerçeve sisteminin, göçme mekanizmasının önlenmesine katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Seçilen duvarlardaki düzlem dışı düşey eğilme mekanizması incelendiğinde, göçme mekanizmasının çoğunlukla duvarların üst katlarında aktive olduğu görülmüştür. Düzlem dışı düşey eğilmeden dolayı oluşan mekanizma durumunun güçlendirme projesi kapsamında önerilen donatılı püskürtme beton uygulaması ile önlenebileceği düşünülmüştür. İnceleme sonucu duvarlardaki düzlem dışı yanal eğilme göçme mekanizmasının ise aktive olmadığı tespit edilmiştir.

4.2 GÜÇLENDİRİLMİŞ DURUM ANALİZ SONUÇLARI

4.1.2 Doğrusal Analiz Sonuçları

İncelenen yığma yapının güçlendirilmiş durum sismik performans düzeyi "modal analiz" yöntemi ile belirlenmiştir. İlgili yöntemle hesaplanan deprem kuvvetlerinin, eşdeğer deprem yükü yöntemiyle hesaplanan kuvvetlerin %90'ına eşit veya daha büyük olması koşulu sağlanmıştır. Binanın içten çelik çerçeve sistemle desteklenmesi ve yığma duvar-döşeme bağlantı detaylarında gerçekleştirilen güçlendirme uygulaması ile duvarların düzlem dışı yer değiştirmesi büyük ölçüde önlenmiştir. Bu durumun bir sonucu olarak Şekil 4.21'de görüldüğü gibi duvarların farklı modlarla düzlem dışı davranışı önemli ölçüde önlenmiştir.

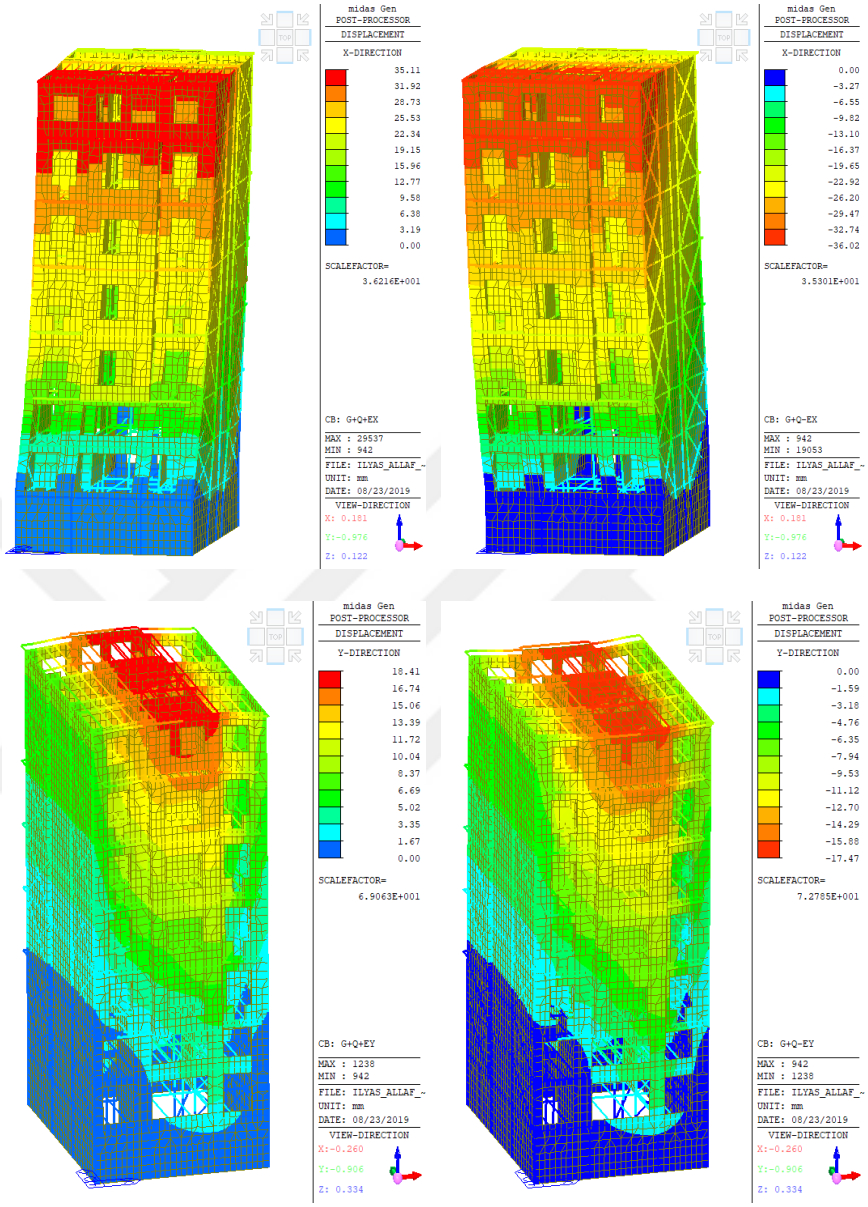


Şekil 4.21: Güçlendirilmiş durumun modal analizinde binanın ilk üç modu (sn).

Güçlendirilmiş yapı 1. modda x yönünde, 2. ve 3. modda y yönünde katılım göstermektedir. Yapının 1. moddaki periyodu T_1=0,4743, 2. moddaki periyodu T_2=0,4741 sn, 3.modda periyodu ise T_3=0,4692 sn'dir.

Analizler sonucunda elde edilen 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem (DD-2 deprem yer hareketi düzeyi) için yaptığı yatay yer değiştirmeler Şekil 4.22'de gösterilmiştir. Güçlendirilmiş yapının uzun kenarına dik doğrultuda etkiyen Exp ve Exn deprem yüklemesi altında oluşan maksimum deplasmanlar sırasıyla 35.11 ve 36.02 mm iken yapının kısa kenarına dik doğrultuda

etkiyen Eyp ve Eyn deprem yüklemesi altında oluşan maksimum deplasmanlar sırasıyla 18.41 ve 17.47 mm'dir.



Şekil 4.22: Yapının x (üst) ve y (alt) yönü deprem etkileri altında yatay yer değiştirmeleri.

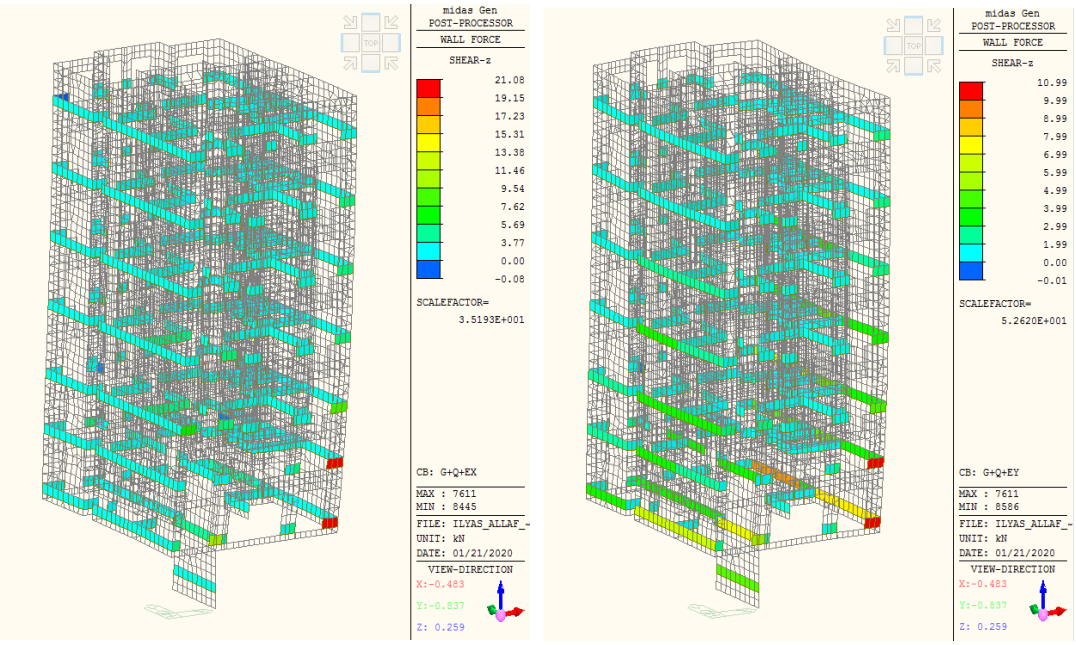
Güçlendirilmiş binanın Ex ve Ey deprem kuvvetleri altında hesaplanan taban kesme kuvvetleri Tablo 4.12'de sunulmuştur. Ex ve Ey yatay deprem kuvvetleri altında yapıya etkiyen taban kesme kuvveti sırasıyla 5683.27 kN ve 4750.97 kN olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.12: Güçlendirilmiş yapının x ve y yönü deprem etkileri altında taban kesme kuvvetleri.

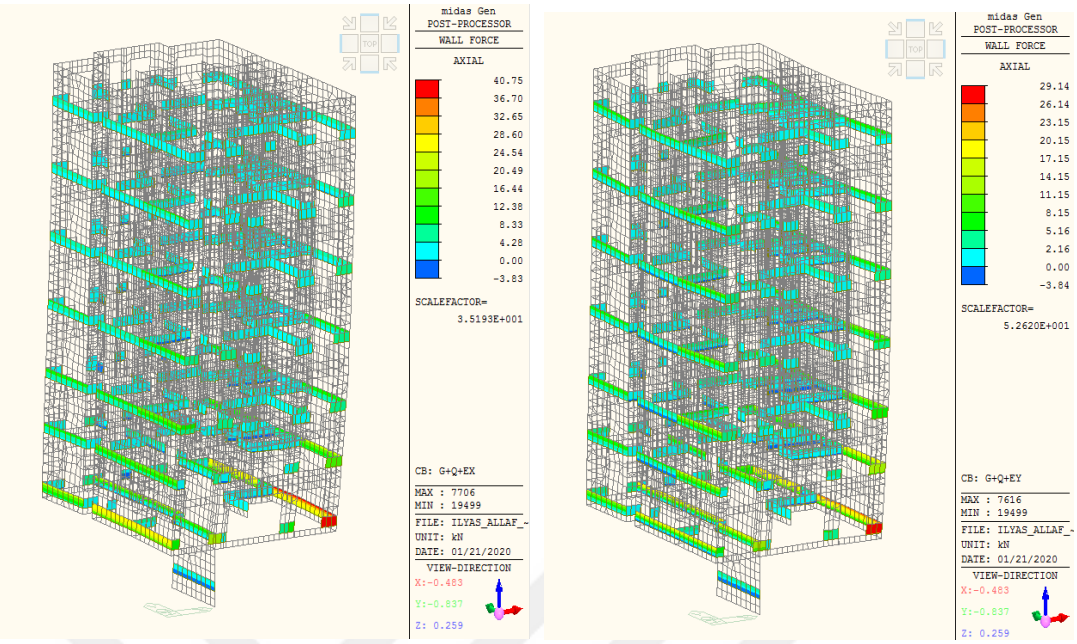
Yük	Fx (kN)	Fy (kN)	Fz (kN)
G+Q+Ex	5683,27	1929,56	19745,89
G+Q+Ey	2163,10	4750,97	19746,24

Modellenen güçlendirilmiş yapının ağırlığı 1884 ton olarak hesaplanmıştır.

Yapının donatılı püskürtme beton ve çelik çerçeve sistemle birlikte güçlendirilmesinin ardından yapılan modal analizlerde mevcut yığma duvarların birçoğunun kesme kapasitesinin ve eksenel kuvvet kapasitesinin aşıldığı, yapılan güçlendirme sistemi ne kadar optimize edilse de duvarların taşıma kapasitelerinin yeterli olmadığı tespit edilmiştir. Bu sebeple yapılan analizlerde mevcut binanın yığma duvarlarının kurtarılamadığına karar verilmiş ve duvarların rijitlikleri büyük oranda göz ardı edilmiştir. Dolayısıyla kesit tesirlerinin donatılı püskürtme beton duvarlara ve çelik çerçeve sisteme aktarılması sağlanmış, bu elemanlar yapı taşıyıcı sistemi olarak kabul edilmiştir. Şekil 4.23'de görüldüğü üzere mevcut yığma duvarlardaki maksimum kesme kuvvetlerinin Ex yatay deprem etkisi altında 21.08 kN, Ey yatay deprem etkisi altında 10.99 kN olduğu görülmüştür. Şekil 4.24'de ise Ex ve Ey deprem kuvvetleri altında yığma duvarlarda oluşan eksenel kuvvetlerin dağılımı ve sırasıyla maksimum 40.75 kN ve 29.14 kN değerlerini aldığı görülmektedir.

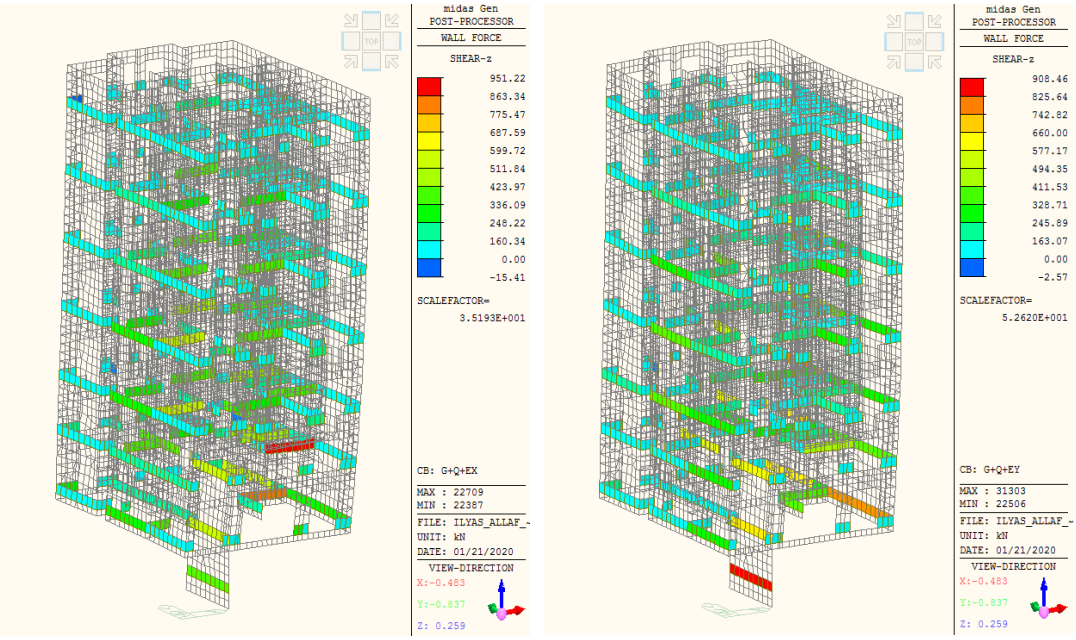


Şekil 4.23: Yığma duvarlarda x ve y yönü deprem etkileri altında kesme kuvvetleri.

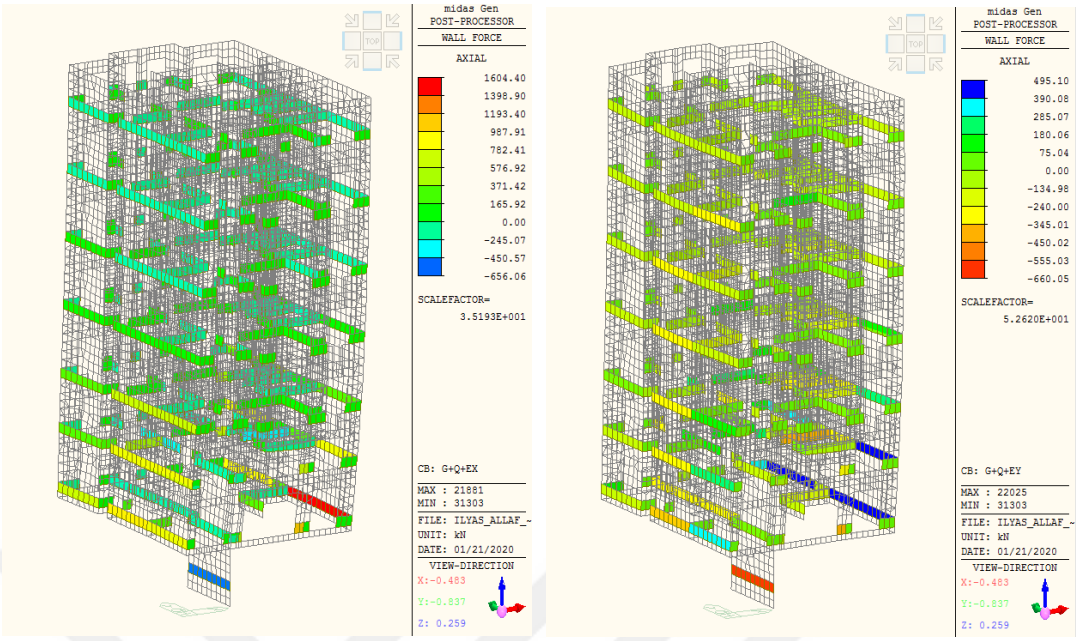


Şekil 4.24: Yığma duvarlarda x ve y yönü deprem etkileri altında eksenel kuvvetler.

Önerilen güçlendirme yöntemi ile yığma duvarlar üzerine gelen kesme kuvvetlerinin ve eksenel kuvvetlerin önemli ölçüde azalttığı, yanal yükün büyük bir kısmının donatılı püskürtme beton tarafından karşılandığı görülmüştür. Ex ve Ey deprem yükleri altında güçlendirilmiş yapıda donatılı püskürtme betondaki kesme kuvvetleri Şekil 4.25'de, eksenel kuvvetler Şekil 4.26'da sunulmuştur.

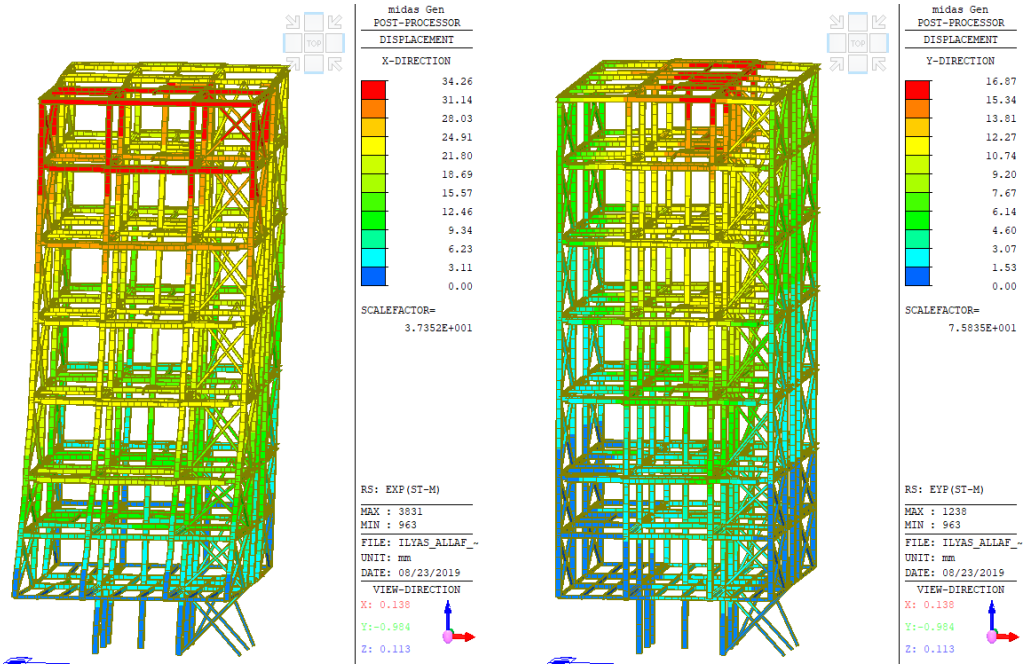


Şekil 4.25: Donatılı püskürtme betondaki x ve y yönü deprem etkileri altında kesme kuvvetleri.



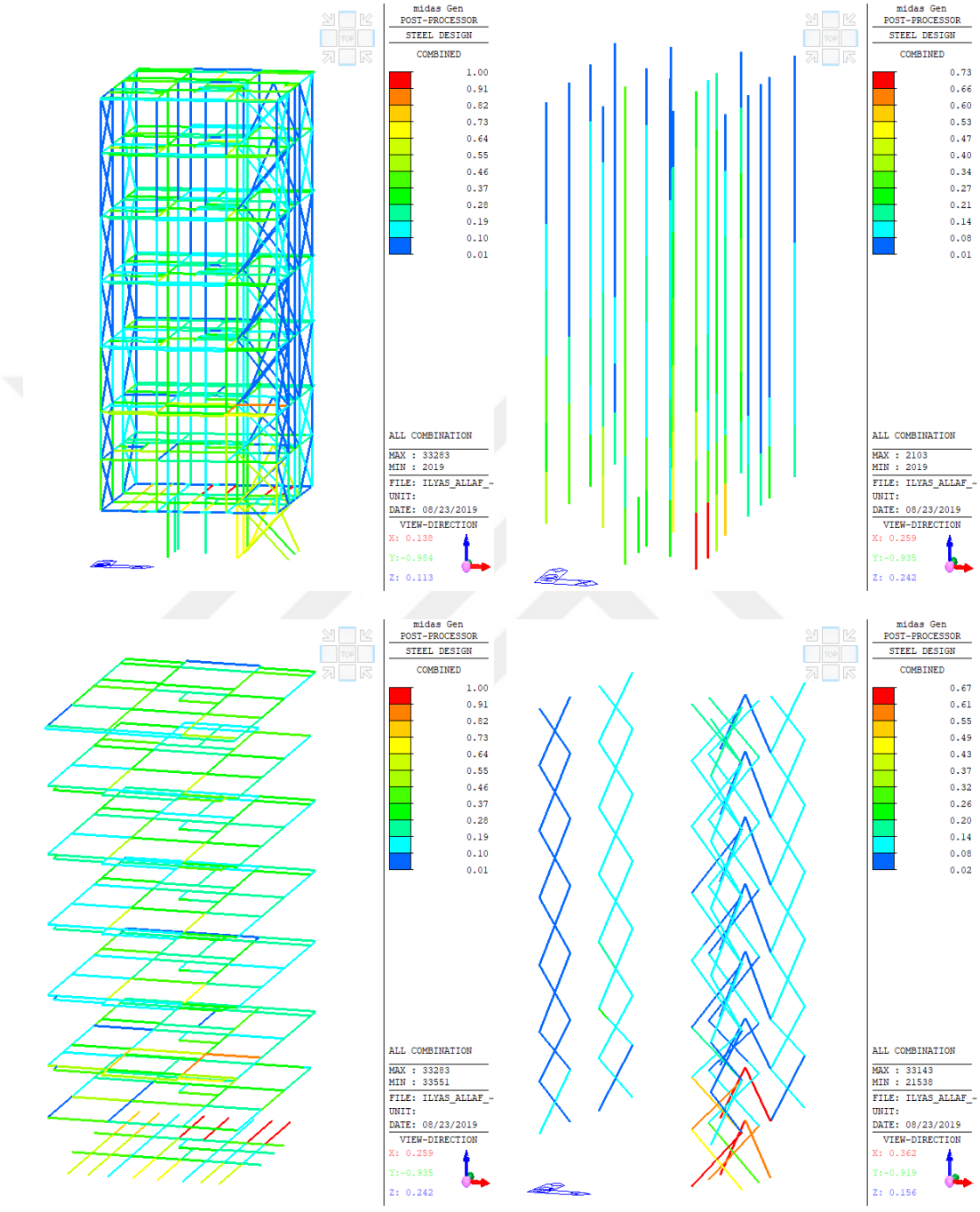
Şekil 4.26: Donatılı püskürtme betondaki x ve y yönü deprem etkileri altında eksenel kuvvetler.

Yapı güçlendirme analiz modelindeki çelik elemanların deprem etkisi altındaki yer değiştirme şekilleri Şekil 4.27'de verilmiştir. Çelik çerçeve sistemin yapının en üst katında en büyük yer değiştirmeleri yaptığı, yer değiştirmelerin Ex ve Ey depremleri etkisinde sırasıyla maksimum 34.26 ve 16.87 mm'ye ulaştığı görülmüştür.



Şekil 4.27: X ve Y deprem doğrultuları altında yapı yer değiştirmeleri.

Yapılan tahkiklere göre yapı göreli kat ötelenmeleri kontrollerini sağlamaktadır. Yapısal elemanların dayanım tahkiklerine ait etki-kapasite oranları Şekil 4.28'de sunulmuştur.



Şekil 4.28: Yapı etki kapasite oranları.

Yapılan tahkiklere göre yapısal elemanlarda etki-kapasite oranları sınır değerlerin altında kalmaktadır.

4.3 KARŞILAŞTIRMALAR

Mevcut yapının güçlendirilmesinde yapıya eklenen çelik çerçeve sistemin yapının sünek davranışının artmasında büyük katkısı olmuştur. Mevcut durumda T_1=0.8118 s olan yapı hakim periyodu, güçlendirilmiş yapıda T_1= 0.4743 s'ye kadar düşerek neredeyse %60 oranında azalmıştır (Tablo 4.13).

Tablo 4.13: Mevcut ve güçlendirilmiş yapı periyotları.

	Periyot (s)	
	Mevcut Yapı	Güçlendirilmiş Yapı
1. Mod	0,8118	0,4743
2. Mod	0,5611	0,4741
3. Mod	0,4749	0,4692

Yapının güçlendirilmesinin ardından ağırlığının, mevcut durumuna göre %57 oranında arttığı görülmüştür (Tablo 4.14). Yapı ağırlığının artmasıyla birlikte, deprem sebebiyle yapıya etkiyecek yatay kuvvetlerin de artması tahmin edilen bir durumdur.

Tablo 4.14: Mevcut ve güçlendirilmiş yapı ağırlığı.

	Mevcut Yapı	Güçlendirilmiş Yapı
Yapı Ağırlığı (ton)	1070	1884

Yapının güçlendirilmesinin ardından Ex ve Ey yatay deprem kuvvetleri altında yapıya etkiyen taban kesme kuvveti büyümüştür. Yapının uzun kenarına dik yönde (Ex yönünde) oluşan taban kesme kuvveti 2.37 kat artarken, kısa kenara dik yöndeki (Ey yönünde) taban kesme kuvveti 1.24 kat büyümüştür (Tablo 4.15).

Tablo 4.15: Mevcut ve güçlendirilmiş yapı taban kesme kuvvetleri.

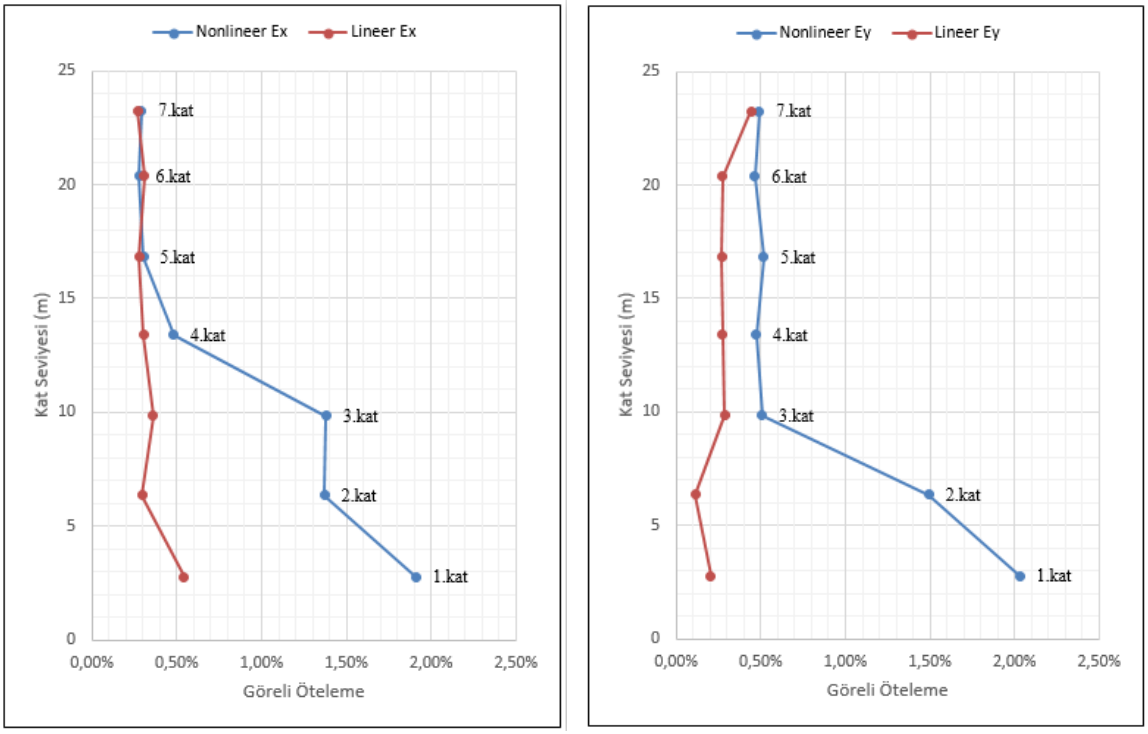
	Taban Kesme Kuvveti (kN)	
	Mevcut Yapı	Güçlendirilmiş Yapı
G+Q+Ex	2400,00	5683,27
G+Q+Ey	3840,62	4750,97

Mevcut yapının güçlendirilmesi ile deprem kuvvetleri altında yapıda oluşan yatay deplasmanlar Tablo 4.16'da görüldüğü gibi büyük ölçüde sınırlandırılmıştır.

Tablo 4.16: Mevcut ve güçlendirilmiş yapı maksimum yatay yer değiştirme.

	Maksimum Yatay Yer Değiştirme (mm)	
	Mevcut Yapı	Güçlendirilmiş Yapı
G+Q+Ex	72,50	35,11
G+Q-Ex	85,80	36,02
G+Q+Ey	61,39	18,41
G+Q-Ey	61,53	17,47

Malzeme ve geometrik nonlinearite özellikleri göz önüne alınarak yapılan pushover analizlerde elde edilen göreli kat ötelemeleri, lineer analiz göreli kat ötelemelerine göre mevcut yapının ilk üç katında yaklaşık 4 kat daha fazla çıkmıştır (Şekil 4.29). Ex yatay deprem kuvveti altında en fazla göreli kat ötelemesi oluşan kat aynı kalarak yine yapının 1. katı olmuştur. Ancak Ey deprem yükü altında mevcut yapının pushover analizinde en fazla göreli kat ötelemesi yapının 1. katında meydana gelmiştir. Göreli kat ötelemesinin yapının 1. katında diğer katlardan daha yüksek olmasının sebebinin, bu katta yapının kullanımı sırasında fonksiyonel amaçlarla bazı yığma duvarların kaldırılmasından dolayı olabileceği düşünülmektedir.



Şekil 4.29: Mevcut yapı lineer-nonlineer analiz göreli kat ötelemeleri karşılaştırması.

Tablo 4.17'de görüldüğü üzere mevcut yapıda deprem yüklemesi altında maksimum kesme kuvvetine maruz kalan yığma duvarlarda, önerilen güçlendirme yöntemi ile kesme kuvvetinde büyük oranda azalma sağlanmıştır. Dolayısıyla yanal yükün büyük bir kısmının donatılı püskürtme beton ve çelik çerçeve sistem tarafından karşılandığı görülmüştür.

Tablo 4.17: Mevcut ve güçlendirilmiş durumda yığma duvar ve donatılı püskürtme beton üzerine gelen kesme kuvvetleri.

		Mevcut Durum	Güçlendirilmiş Durum	
		Yığma Duvar	Yığma Duvar	Donatılı Püskürtme Beton Duvar
Duvar- 1 Kesme Kuvveti (kN)	G+Q+Ex	664,0	3,0	364,3
	G+Q+Ey	240,0	0,9	104,5
Duvar- 2 Kesme Kuvveti (kN)	G+Q+Ex	187,0	2,3	186,8
	G+Q+Ey	1065,0	3,4	275,7

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu tez kapsamında yedi katlı yığma taşıyıcı sisteme sahip mevcut bir yapının sismik performansı nümerik analiz yöntemleriyle belirlenmiş, sismik performans açısından yapının yetersiz olduğu tespit edildikten sonra yapısal elemanlarda uygulanacak güçlendirme aşamaları detaylı olarak sunulmuştur. Nümerik çalışmalar sonlu eleman programı olan MidasGen ve ProCİNEM yazılımları ile gerçekleştirilmiştir. Mevcut yapının performansının değerlendirilmesi için doğrusal analiz, nonlineer analiz ve kinematik limit analizler gerçekleştirilmiş, önerilen güçlendirme teknikleri ile birlikte yapı lineer analizle tekrar değerlendirilmiştir. Yapılan nümerik çalışmalar ile aşağıdaki sonuçlara varılmıştır:

- Mevcut yapıdaki bazı yığma duvarlar ve yığma kolonlar için, düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanan eksenel kuvvet, bu elemanların eksenel kuvvet kapasitesinden daha büyüktür. Ayrıca, bazı yığma duvarlara ve yığma kolonlara etkiyen kesme kuvveti, bu elemanların kesme kuvveti kapasitesinden daha büyüktür.
- Mevcut yapıdaki tüm katlarda, x ve y yönündeki deprem etkileri altında oluşan kesme kuvvetlerini karşılayamayan yığma duvarlara ve yığma kolonlara etkiyen kesme kuvvetinin kat kesme kuvvetine oranı, sınır değerin (%40) üzerinde olup, “Kontrollü Hasar” performans düzeyini sağlamamaktadır. Yapı, x ve y yönünde, “Göçme Durumu” performans düzeyindedir.
- Mevcut yığma yapıda gevrek olarak hasar gören betonarme elemanlar bulunmaktadır.
- Statik güçlendirme projesinde belirtilen çelik yapısal sistem elemanları (kolon, kiriş, çapraz) ve birleşim detayları, dayanım ve kullanılabilirlik açısından ilgili yönetmeliklerde belirtilen hususları sağlamakta olup statik açıdan uygundur.
- Güçlendirme projesi kapsamında, kesitleri yetersiz olan bazı yığma duvarlar ve yığma kolonlara etkiyen tesirler, narinlik etkileri ve yeni çelik yapısal sistemin teşkili göz önüne alındığında, yığma duvarların bir kısmının ve yığma kolonların kaldırılmaları statik açıdan sakınca olmadığından kaldırılmıştır.
- Önerilen güçlendirme projesi ile yığma duvarlar üzerine gelen kesme kuvvetlerinin önemli ölçüde azaldığı (%95) yanal yükün büyük bir kısmının donatılı püskürtme beton ve çelik çerçeve sistem tarafından karşılandığı görülmüştür.

- Güçlendirilmiş yapıdaki tüm yığma duvarlarda, yığma duvara düşey doğrultuda etkiyen eksenel kuvveti, duvar düşey eksenel yük kapasitesinden daha küçüktür. Ayrıca, tüm yığma duvarlarda, duvara etkiyen kesme kuvveti, bu elemanların kesme kuvveti kapasitesinden daha küçüktür.
- Güçlendirme uygulamaları ardından yapı ağırlığının mevcut durumuna göre %57 oranında arttığı tespit edilmiştir. Çelik ve betonarme güçlendirme elemanlarının her ne kadar yapı rijitliği ve dayanımına katkı sağlasa da yapı ağırlığını arttırdığından deprem ile yapıya etkiyecek yatay kuvvetlerini de büyüttüğü görülmüştür.
- Güçlendirilmiş yapının tüm katlarında x ve y yönündeki deprem etkileri altında oluşan kesme kuvvetlerini karşılayamayan yığma duvar bulunmamaktadır. Yapının yığma kısımları, x ve y yönünde, "Sınırlı Hasar" performans düzeyindedir.
- Mevcut yapı kısa kenarı doğrultusundaki Pushover +X analizinde yapı, maksimum 1350 kN taban kesme kuvvetine kadar plastik şekil değiştirme yapmıştır. Ancak 1100 kN değerindeki yatay kuvvetten sonra yapı taşıma kapasitesini önemli oranda yitirmiştir. Yapı uzun kenarı doğrultusundaki Pushover +Y analizinde yapı, maksimum 2900 kN taban kesme kuvvetine kadar plastik şekil değiştirme yapmıştır. Ancak 2600 kN değerindeki yatay kuvvetten sonra yapı bu yöndeki taşıma kapasitesini önemli oranda yitirmiştir.
- Mevcut yapının ön cephe taşıyıcı duvarlarında, duvar kesitine paralel yöndeki deprem kuvveti altında kesme gerilmelerinin kabul edilen duvar karakteristik kesme dayanımını ve duvar çekme dayanımını aştığı tespit edilmiştir. Sınır durumunu aşan gerilmeler ile birlikte hasarların çoğunlukla kapı ve pencere boşlukları çevresinde yoğunlaştığı yapının nonlineer analiz sonuçlarında açıkça görülmüştür
- Mevcut yapının incelen tüm taşıyıcı duvarlarında düzlem dışı devrilme göçme mekanizmasının aktif olduğu görülmüştür. Seçilen duvarlardaki düzlem dışı düşey eğilme mekanizması incelendiğinde, göçme mekanizmasının çoğunlukla duvarların üst katlarında aktive olduğu görülmüştür. İnceleme sonucu duvarlardaki düzlem dışı yanal eğilme göçme mekanizmasının ise aktive olmadığı tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

Abrams, D. P., Lynch, J. M., 2001, Flexural behavior of retrofitted masonry piers, *KEERC-MAE Joint seminar on risk mitigation for regions of moderate seismicity*, Illinois, USA.

AFAD, 2019, *Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması,* https://tdth.afad.gov.tr/TDTH/main.xhtml, [Ziyaret Tarihi: 16 Ağustos 2019]

Akcay, C., Bozkurt, T. S., Sayin, B., Yildizlar, B., 2016, Seismic retrofitting of the historical masonry structures using numerical approach, *Construction and building materials*, *113*, 752-763.

Alamy, 2019, https://www.alamy.com/stock-photo/muzesi.html [Ziyaret Tarihi: 22 Ekim 2019]

Atımtay, E., Kanıt, R., Erdal, M., Işık, N.S., Can, Ö., Yener, M.K., Serimer, G., Uğur, L.O., 2005, Düzlem dışı yüklenen yığma yapıların deneysel davranışı, *YDGA2005 - Yığma yapıların deprem güvenliğinin arttırılması çalıştayı*, 17 Şubat 2005, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.

Bagci, M., Basaran, H., Demir, A., 2013, Earthquake safety analysis of an historical masonry building, *1st International conference on architecture and urban design*, 19-21 April 2012.

Bastianini F., Corradi M., Borri A., Tommaso A., 2005, Retrofit and monitoring of an historical building using ‘‘Smart’’ CFRP with embedded fibre optic, *Construction and building mterials*, 19(7):525-535.

Bayülke, N., 1998, Depreme dayanıklı betonarme ve yığma yapı tasarımı, İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, Yayın No: 27, İzmir.

Bayülke, N., 1999, Yapıların onarımı ve güçlendirilmesi, İnşaat Mühendisliği Odası İzmir Şubesi, Yayın No: 15, İzmir.

Betti, M., Galano, L., 2012, Seismic analysis of historic masonry buildings: the vicarious palace in Pescia (Italy), *Buildings*, 2(2), 63-82.

Bhattacharya, S., Nayak, S., Dutta, S. C., 2014, A critical review of retrofitting methods for unreinforced masonry structures, *International journal of disaster risk reduction*, *7*, 51-67.

Bilgin, H., Korini, O., 2012, Seismic capacity evaluation of unreinforced masonry residential buildings in Albania, *Natural hazards and earth system sciences*, 12(12), 3753.

Bui, T. L., Larbi, A. S., Reboul, N., Ferrier, E., 2015, Shear behaviour of masonry walls strengthened by external bonded FRP and TRC, *Composite structures*, *132*, 923-932.

Çarhoğlu, A. I., Korkmaz, K. A., 2013, Mevcut Yığma Bir Yapının Deprem Davranışının Değerlendirilmesi, *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, *2*(1), 1-11.

Celep, Z., Güler, K., Pakdemir, Ferhat., 2016, Tarihi yapıların yapısal değerlendirmesinde sonlu elemen yönteminin uygulanması, *Kültür varlıklarında koruma sempozyumu*, Ankara, 978-975-19-6654-4, 149-157.

ElGawady, M., Lestuzzi, P., Badoux, M., 2004, A review of conventional seismic retrofitting techniques for URM, *13th international brick and block masonry conference*, 1-10.

Güneş, B., Mangır, A., Okumuş, V., 2017, Assessment of an existing masonry structure using linear and nonlinear material models, *SMAR-17 Fourth conference on smart monitoring, assesment and rehabilitation of civil structures*.

Gunes, B., Cosgun, T., Sayin, B., Ceylan, O., 2019, Structural rehabilitation of a middle byzantine ruin and the masonry building constructed above the ruin. Part II: The building, *Engineering failure analysis*, 105, 527-544.

Koç, V., 2016, Depreme maruz kalmış yığma ve kırsal yapı davranışlarının incelenerek yığma yapı yapımında dikkat edilmesi gereken kuralların derlenmesi, *Çanakkale onsekiz mart üniversitesi fen bilimleri enstitüsü dergisi*, 2(1), 36-57.

Maheri, M. R., Pourfallah, S., Azarm R., 2012, Seismic retrofitting methods for the jack arch masonry slabs, *Engineering structures*, *36*, 49-60.

Maheri, M. R., Rahmani H., 2003, Static and seismic design of one-way and two-way jack arch masonry slabs, *Engineering structures*, 25(13), 1639-1654.

Midas Gen, Integrated solution system for building and general structures, MIDAS Information Technology Co, 2018.

Milani, G., 2013, Lesson learned after the Emilia-Romagna, Italy, 20–29 May 2012 earthquakes: a limit analysis insight on three masonry churches, *Engineering failure analysis*, 34, 761-778.

Milani, G., Valente, M., 2015, Comparative pushover and limit analyses on seven masonry churches damaged by the 2012 Emilia-Romagna (Italy) seismic events: Possibilities of non-linear finite elements compared with pre-assigned failure mechanisms, *Engineering failure analysis*, 47, 129-161.

Milani, G., Venturini, G., 2011, Automatic fragility curve evaluation of masonry churches accounting for partial collapses by means of 3D FE homogenized limit analysis, *Computers & structures*, 89(17-18), 1628-1648.

Ozdemir, M. A., Kaya, E. S., Aksar, B., Seker, B., Cakir, F., Uckan, E., Akbas, B.,2017, Seismic vulnerability of masonry jack arch slabs, *Engineering failure analysis*, 77, 146-159.

Özsaraç, S. 2008, Yığma yapılarda taşıyıcı tuğla duvarların GFRP ile güçlendirilmesinin deneysel olarak incelenmesi, M.S., İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Anabilim Dalı Yapı Mühendisliği Programı, İstanbul.

Pro_Cinem, Pro_Cinem Software Manual, 2019.

Saghafi, M. H., Safakhah, S., Kheyroddin, A., Mohammadi, M., 2014, In-plane shear behavior of FRP strengthened masonry walls, *APCBEE procedia*, *9*, 264-268.

Salonikios, T., Karakostas, C., Lekidis, V., Anthoine, A., 2003, Comparative inelastic pushover analysis of masonry frames, *Engineering structures*, 25(12), 1515-1523.

Sayın, B., Şolt, A., Yıldızlar, B., Karakaş, A. S., Korkmaz, N.M., Akçay, C., 2011, Tarihi yapıların güçlendirilmesinde karbon fiber ve çelik elemanların kullanılması: bir durum analizi, *Tarihi yapıları koruma ve onarım sempozyumu*, 26-29 Ekim 2011, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

TBDY, 2018, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, AFAD, Ankara.

TYDRYK, 2017, Tarihi yapılar için deprem risklerinin yönetimi kılavuzu, T.C. Vakıflar Genel Müdürlüğü, İstanbul.

Topçu, İ. B., Canbaz, M., Boğa, A. R., 2005, Deprem kullanılabilecek ferrocement çadırlar, *Deprem sempozyumu*, 23-25 Mart 2005, Kocaeli.

Türkiye Kültür Portalı, 2019, https://www.kulturportali.gov.tr/portal/tarihin-taniklari-kopruler, [Ziyaret Tarihi: 22 Ekim 2019]

Ural, A., Doğangün, A., 2007, Mikro modelleme tekniği kullanılarak yığma yapıların deprem performanslarının incelenmesi, *Uluslararası deprem sempozyumu*, Kocaeli.

Witzany, J., Zigler, R., Kroftová, K., 2016, Strengthening of compressed brick masonry walls with carbon composites, *Construction and building materials*, *112*, 1066-1079.

Yorulmaz, M., Convenor F., Vintzeleou E., 1984, Design and construction of stone and brick masonry buildings, Building construction under seismic conditions in the Balkan Region Project, Volume 3,United Nations development Programme, Viyana.

Zuccarello, F. A., Milani, G., Olivito, R. S., Tralli, A., 2009, A numerical and experimental analysis of unbonded brickwork panels laterally loaded, *Construction and building materials*, 23(5), 2093-2106.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Betül Ertekin
Doğum Yeri	Eminönü
Doğum Tarihi	14.03.1994
Uyruğu	☑ T.C. ❒ Diğer:
Telefon	0531 847 82 44
E-Posta Adresi	betul.ertekin@ogr.iu.edu.tr
Web Adresi	



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Fakülte	Mühendislik Fakültesi
Bölümü	İnşaat Mühendisliği Bölümü
Mezuniyet Yılı	Tarih girmek için tıklayın veya dokunun.

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa
Enstitü Adı	Lisansüstü Enstitüsü
Anabilim Dalı	İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Programı	İnşaat Mühendisliği Programı

Makale ve Bildiriler
Güneş, B., Ertekin, B., Sayın, B., 2019, Investigation On The Local Failure Mechanisms Of An Existing Seven-Story Masonry Structure, 5th International Conference On Engineering And Natural Science, 12-16 June 2019, Prague.