

**T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**1975 DEPREM YÖNETMELİĞE GÖRE TASARLANMIŞ BETON DAYANIMI
DÜŞÜK BİNALARDA PERDE BAŞLIKLARININ VE KOLON MANTOSUNUN
YAPISAL PERFORMANSA ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Şenol ALBAYRAK**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Onur ONAT

Aralık 2025

T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**1975 DEPREM YÖNETMELİĞE GÖRE TASARLANMIŞ BETON DAYANIMI
DÜŞÜK BİNALARDA PERDE BAŞLIKLARININ VE KOLON MANTOSUNUN
YAPISAL PERFORMANSA ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Şenol ALBAYRAK
(36223621928)

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Onur ONAT

Aralık 2025

İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

**1975 DEPREM YÖNETMELİĞE GÖRE TASARLANMIŞ BETON DAYANIMI
DÜŞÜK BİNALARDA PERDE BAŞLIKLARININ VE KOLON MANTOSUNUN
YAPISAL PERFORMANSA ETKİSİ**

Tezi Hazırlayan: Şenol ALBAYRAK
Yüksek Lisans Tezi

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının her aşamasında yardım, öneri, bilgi, tecrübe ve desteklerini esirgemedi beni her konuda yönlendiren danışman hocam Sayın Prof. Dr. Onur ONAT'a, saha çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. PakiTURĞUT'a ve modelleme aşamasındaki desteklerinden dolayı Prof. Dr. Burak YÖN'e ayrıca çalışmalarım ve tüm hayatım boyunca olduğu gibi yüksek lisans süresince benden her türlü desteklerini esirgemeyen aileme, teşekkür ederim.



ONUR SÖZÜ

Yükseklisans tezi olarak sunduğum “**1975 Deprem Yönetmeliğ e Göre Tasarlanmış Beton Dayanımı Düşük Binalarda Perde Başlıklarının ve Kolon Mantosunun Yapısal Performansa Etkisi**” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığına ve yararlandığım bütün kaynakların hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Şenol ALBAYRAK



İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ	i
ONUR SÖZÜ	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiv
ÖZET.....	xvii
ABSTRACT	xix
GİRİŞ 1	
1.1 Tezin Amacı	10
2. İNCELENEN YAPI.....	11
2.1 Fiziksel ve Tasarım Özellikleri.....	11
2.2 Malzeme Özellikleri	12
2.3 Zemin Özellikleri.....	17
3. GÜÇLENDİRME ALTERNATİFLERİ	19
3.1 Perdeli ve Başlıksız Güçlendirme.....	19
3.2 Perdeli ve Başlıklı Güçlendirme.....	20
3.3 Kolonların Mantolama Yoluyla Güçlendirme	22
4. SAYISAL MODEL.....	24
4.1 Yapının Mevcut Hali (M1)	25
4.2 Perdeli Başlıksız Model (M2)	26
4.3 Perdeli Başlıklı Model (M3).....	27
4.4 Kolonları Mantolu Model (M4).....	27
5. MALZEME MODELLERİ	28
5.1 Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Malzeme Modelleri.....	28
6. ANALİZ YÖNTEMLERİ.....	32
6.1. Modal Analiz	32
6.2 Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi	34
6.3 Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Dinamik Analiz	35
7. BULGULAR	42
7.1 Modal Analiz	42
7.2 Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi	50
7.2.1 Uzun doğrultuda (X) analiz sonuçları.....	56
7.2.2 Kısa doğrultudaki (Y) analiz sonuçları.....	73
7.3 Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Dinamik Analiz	89
7.3.1 Uzun doğrultuda (X) analiz sonuçları	89
7.3.2 Kısa doğrultudaki (Y) analiz sonuçları.....	151
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	201
KAYNAKLAR.....	204
ÖZGEÇMİŞ	208

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1: Karot sonuçları ve istatistiksel hesapları	16
Çizelge 2.2: Karot sonuçlarının tekrar değerlendirilmesi ve istatistiksel hesapları.....	17
Çizelge 5.1: Mander et al. doğrusal olmayan beton modeli - con_ma.....	28
Çizelge 7.1: M1 modeli için periyot ve kütle katılım oranları.....	42
Çizelge 7.2: M2 modeli için periyot ve kütle katılım oranları.....	44
Çizelge 7.3: M3 modeli için periyot ve kütle katılım oranları.....	46
Çizelge 7.4: M4 modeli için periyot ve kütle katılım oranları.....	48
Çizelge 7.5: Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nin Uygulanabileceğı Binalar.	51
Çizelge 7.6: Yapının toplam kesme kuvveti hesabı. (M1).....	54
Çizelge 7.7: Yapının toplam kesme kuvveti hesabı.(M2 Ve M3).....	54
Çizelge 7.8: Yapının toplam kesme kuvveti hesabı. (M4).....	55
Çizelge 7.9: Sayısal modeller için hesaplanan eşdeğer deprem yükleri X yönü.....	55
Çizelge 7.10: Sayısal modeller için hesaplanan eşdeğer deprem yükleri Y yönü.....	55

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1: Ülkemizde deprem üreten fay kaynakları.....	1
Şekil 1.2: DAF ve segmentleri [3]	2
Şekil 2.1: Binanın a) önden ve b) yandan görünüş	11
Şekil 2.2: Zemin kat kalıp planı.....	12
Şekil 2.3: Karot alım işlemi	13
Şekil 2.4: Kolonlara ait sıyırma ve donatı çapı ölçüm işlemleri.....	13
Şekil 2.5: Kirişlere ait sıyırma ve donatı çapı ölçüm işlemleri.....	14
Şekil 2.6: Kolon (a-c) ve Kirişlere (d,e) donatı gerçekleştirme işlemleri	14
Şekil 2.7: Perde duvar donatı gerçekleştirme ve sıyırma işlemi	15
Şekil 2.8: Deney öncesi başlıklama yapılmış karot numuneleri	16
Şekil 2.9: Deney a) esnasında ve b) sonrasında ait görseller	16
Şekil 2.10: Zemin etüd çalışmaları a) sondaj, b) jeofizik [32].....	18
Şekil 3.1: Güçlendirme perdelerinin yerleştirildiği bölgeler.	19
Şekil 3.2: Güçlendirme perdeleri uzun ve kısa doğrultu için.....	20
Şekil 3.3: Güçlendirme perdelerinin başlıkları uzun ve kısa perdeler için.	22
Şekil 3.4: Mantolanan kolonların planda görünümü.....	23
Şekil 3.5: Mantolanan kolonların donatısı	23
Şekil 4.2: Kolon(a), Kiriş(b) ve Perde(c)	25
Şekil 4.3: Yapısal sistemin modellenmiş hali	26
Şekil 4.4: Yapısal sistemin perdeli başlıksız güçlendirmesi modeli (M2).....	26
Şekil 4.5: Yapısal sistemin perdeli başlıklı güçlendirmesi modeli (M3).....	27
Şekil 4.6: Yapısal sistemin dış kolonları mantolama yöntemi ile modelleme.	28
Şekil 5.1: Mander beton modeli.....	29
Şekil 5.2: Mevcut çalışmada kullanılan Mander beton modeli.....	30
Şekil 5.3: Menegotto-Pinto çelik modeli.	32
Şekil 6.1: M1 ve M4 modelleri için yapısal sistemin modal analize hazır hali.	33
Şekil 6.2: M2 ve M3 modelleri için yapısal sistemin modal analize hazır hali.	33
Şekil 6.3: M1 ve M4 modeli için yapısal sisteme X ve Y yönünde etki ettirilmiş kuvvetler. ..	34
Şekil 6.4: M2 ve M3 modeli için yapısal sistemin X ve Y yönünde etki ettirilmiş kuvvetler.	35
Şekil 6.5: M1 ve M4 modeli için yapısal sistemin X ve Y yönünde uygulanan zemin ivmelerinin yönü.....	35
Şekil 6.6: M2 ve M3 modeli için yapısal sistemin X ve Y yönünde uygulanan zemin ivmelerinin yönü.....	36
Şekil 7.1: M1'e ait modal şekilleri.....	43
Şekil 7.2: M2'e ait modal şekilleri.....	45
Şekil 7.3: M3'e ait modal şekilleri.....	47
Şekil 7.4: M4'e ait modal şekilleri.....	49
Şekil 7.5: Statik itme eğrisi.	51

Şekil 7.6: Uzun doğrultuda (X) taban kesme kuvveti ve çatı katı deplasman grafiği.....	56
Şekil 7.7: Uzun doğrultuda (X) katlara göre çatı katı deplasman grafiği.	58
Şekil 7.8: M1 modelinde uzun doğrultuda (X) dönme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.	59
Şekil 7.9: M1 modelinde uzun doğrultuda (X) kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.	60
Şekil 7.10: M1 modelinde uzun doğrultuda (X) çekirdeği ezilen elemanlar.	61
Şekil 7.11: M1 modelinde uzun doğrultuda (X) donatısı akan elemanlar.	61
Şekil 7.12: M1 modelinde uzun doğrultuda (X) paspayı dökülen elemanlar.	62
Şekil 7.13: M2 modelinde uzun doğrultuda (X) dönme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.	63
Şekil 7.14: M2 modelinde uzun doğrultuda (X) kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.	63
Şekil 7.15: M2 modelinde uzun doğrultuda (X) çekirdeği ezilen elemanlar.	64
Şekil 7.16: M2 modelinde uzun doğrultuda (X) donatısı akan elemanlar.	65
Şekil 7.17: M2 modelinde uzun doğrultuda (X) paspayı dökülen elemanlar.	65
Şekil 7.18: M3 modelinde uzun doğrultuda (X) dönme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.	66
Şekil 7.19: M3 modelinde uzun doğrultuda (X) kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.	67
Şekil 7.20: M3 modelinde uzun doğrultuda (X) çekirdeği ezilen elemanlar.	68
Şekil 7.21: M3 modelinde uzun doğrultuda (X) donatısı akan elemanlar.	68
Şekil 7.22: M3 modelinde uzun doğrultuda (X) paspayı dökülen elemanlar.	69
Şekil 7.23: M4 modelinde uzun doğrultuda (X) dönme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.	70
Şekil 7.24: M4 modelinde uzun doğrultuda (X) kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.	71
Şekil 7.25: M4 modelinde uzun doğrultuda (X) çekirdeği ezilen elemanlar.	71
Şekil 7.26: M4 modelinde uzun doğrultuda (X) donatısı akan elemanlar.	72
Şekil 7.28: M4 modelinde uzun doğrultuda (X) paspayı dökülen elemanlar.	72
Şekil 7.29: Kısa doğrultudaki (Y) taban kesme kuvveti ve çatı katı deplasman grafiği.	73
Şekil 7.30: Kısa doğrultudaki (Y) katlara göre çatı katı deplasman grafiği.....	74
Şekil 7.31: M1 modelinde kısa doğrultudaki (Y) dönme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.	75
Şekil 7.32: M1 modelinde kısa doğrultudaki (Y) kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.	76
Şekil 7.34: M1 modelinde kısa doğrultudaki (Y) çekirdeği ezilen elemanlar.	77
Şekil 7.35: M1 modelinde kısa doğrultuda (Y) donatısı akan elemanlar.....	77
Şekil 7.36: M1 modelinde kısa doğrultuda (Y) paspayı dökülen elemanlar.....	78
Şekil 7.37: M2 modelinde kısa doğrultudaki (Y) dönme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.	79
Şekil 7.38: M2 modelinde kısa doğrultudaki (Y) kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.	80

Şekil 7.39: M2 modelinde kısa doğrultudaki (Y) çekirdeği ezilen elemanlar.	80
Şekil 7.40: M2 modelinde kısa doğrultudaki (Y) donatısı akan elemanlar.....	81
Şekil 7.41: M2 modelinde kısa doğrultudaki (Y) paspayı dökülen elemanlar.....	81
Şekil 7.42: M3 modelinde kısa doğrultudaki (Y) dönme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.	82
Şekil 7.43: M3 modelinde kısa doğrultudaki (Y) kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.	83
Şekil 7.44: M3 modelinde kısa doğrultudaki (Y) çekirdeği ezilen elemanlar.	83
Şekil 7.45: M3 modelinde kısa doğrultudaki (Y) donatısı akan elemanlar.....	84
Şekil 7.46: M3 modelinde kısa doğrultudaki (Y) paspayı döküle nelemanlar.....	85
Şekil 7.47: M4 modelinde kısa doğrultudaki (Y) dönme kapasitesi yetersiz olan elemanlar. .	86
Şekil 7.48: M4 modelinde kısa doğrultudaki (Y) kesme kapasitesi yetersiz olan elemanlar. .	86
Şekil 7.49: M4 modelinde kısa doğrultuda (Y) statik itme analizinde çekirdeği ezilen elemanlar.	87
Şekil 7.50: M4 modelinde kısa doğrultuda (Y) donatısı akan elemanlar.....	88
Şekil 7.51: M4 modelinde kısa doğrultuda (Y) statik itme analizde paspayı dökülen elemanlar.	89
Bu bölümde, yapının hem kısa hem de uzun doğrultuda zaman tanım alanında gerçekleştirilen doğrusal olmayan dinamik analiz sonuçları sunulmaktadır. Analizler, dört adet deprem kaydı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Uzun doğrultu için bir kolon ve bir perde duvar olmak üzere iki adet taşıyıcı eleman; kısa doğrultu için ise iki kolon ve bir perde duvar olmak üzere toplam üç adet taşıyıcı eleman dikkate alınarak sonuçlar değerlendirilmiştir.	89
Şekil 7.53: PZ01 ve SZ11 numaralı elemanların kolonların kat planı üzerinde görseli	90
Şekil 7.54: Uzun doğrultuda (X) PZ01 numaralı perde duvarın D1 deprem kaydı ile yapılan analizin moment-dönme grafiği.	91
Şekil 7.55: Uzun doğrultuda (X) PZ01 numaralı perde duvarının D1 deprem kaydı ile yapılan analizin katlara göre kesme kuvveti grafiği.....	92
Şekil 7.56: Uzun doğrultuda (X) PZ01 numaralı perde duvarının D2 analizinin moment-dönme grafiği.....	93
Şekil 7.57: Uzun doğrultuda (X) PZ01 numaralı perde duvarının D2 analizi ile katlara göre kesme kuvveti grafiği.	94
Şekil 7.58: Uzun doğrultuda (X) PZ01 numaralı perde duvarının D3 analizi moment-dönme grafiği.	95
Şekil 7.59: Uzun doğrultuda (X) PZ01 numaralı perde duvarının D3 analizinin katlara göre kesme kuvveti grafiği.	96
Şekil 7.60: Uzun doğrultuda (X) PZ01 numaralı perde duvarının D4 analizinin moment-dönme grafiği.....	97
Şekil 7.61: Uzun doğrultuda (X) PZ01 numaralı perde duvarının D4 kaydı ile katlara göre kesme kuvveti grafiği.	98
Şekil 7.62: Uzun doğrultuda (X) SZ11 numaralı kolonun D1 deprem kaydı ile yapılan analizin moment-dönme grafiği.	99

Şekil 7.63: Uzun doğrultuda (X) SZ11 numaralı kolonun D1 deprem kaydı ile yapılan analizin katlara göre kesme kuvveti grafiği.	100
Şekil 7.64: Uzun doğrultuda (X) SZ11 numaralı kolonun D2 deprem kaydı ile yapılan analizin moment-dönme grafiği.	101
Şekil 7.65: Uzun doğrultuda (X) SZ11 numaralı kolonun D2 deprem kaydı ile yapılan analizin katlara göre kesme kuvveti grafiği.	102
Şekil 7.66: Uzun doğrultuda (X) SZ11 numaralı kolonun D3 deprem kaydı ile yapılan analizin moment-dönme grafiği.	103
Şekil 7.67: Uzun doğrultuda (X) SZ11 numaralı kolonun D3 deprem kaydı ile yapılan analizin katlara göre kesme kuvveti grafiği.	104
Şekil 7.68: Uzun doğrultuda (X) SZ11 numaralı kolonun D4 deprem kaydı ile yapılan analizin moment-dönme grafiği.	105
Şekil 7.69: Uzun doğrultuda (X) SZ11 numaralı kolonun D4 deprem kaydı ile yapılan analizin katlara göre kesme kuvveti grafiği.	106
Şekil 7.70: M1 modelinin D1 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) dönme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.	107
Şekil 7.71: M1 modelinin D1 deprem kaydı ile yapılan analizdeki uzun doğrultuda (X) kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.	107
Şekil 7.72: M1 modelinin D1 deprem kaydı ile yapılan dinamik analizde uzun doğrultuda (X) donatısı akan elemanlar.	108
Şekil 7.73: M1 modelinin D2 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) dönme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.	109
Şekil 7.74: M1 modelinin D2 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.	110
Şekil 7.75: M1 modelinin D2 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) donatısı akan elemanlar.	111
Şekil 7.76: M1 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) dönme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.	111
Şekil 7.77: M1 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.	112
Şekil 7.78: M1 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) çekirdeği ezilen elemanlar.	113
Şekil 7.79: M1 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) donatısı akan elemanlar.	113
Şekil 7.80: M1 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) paspayı dökülen elemanlar.	114
Şekil 7.81: M1 modelinin D4 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) dönme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.	115
Şekil 7.82: M1 modelinin D4 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.	116
Şekil 7.83: M1 modelinin D4 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) donatısı akan elemanlar.	116
Şekil 7.84: M1 modelinin D4 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) paspayı dökülen elemanlar.	117

Şekil 7.85: M2 modelinin D1 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) dönme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.	118
Şekil 7.86: M2 modelinin D1 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.	119
Şekil 7.87: M2 modelinin D1 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) donatısı akan elemanlar.	119
Şekil 7.88: M2 modelinin D2 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) dönme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.	120
Şekil 7.89: M2 modelinin D2 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.	121
Şekil 7.90: M2 modelinin D2 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) donatısı akan elemanlar.	122
Şekil 7.91: M2 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) dönme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.	122
Şekil 7.92: M2 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.	123
Şekil 7.93: M2 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) çekirdeği ezilen elemanlar.	124
Şekil 7.94: M2 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) donatısı akan elemanlar.	125
Şekil 7.95: M2 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) paspayı dökülen elemanlar.	125
Şekil 7.96: M2 modelinin D4 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) dönme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.	126
Şekil 7.97: M2 modelinin D4 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.	127
Şekil 7.98: M2 modelinin D4 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) donatısı akan elemanlar.	128
Şekil 7.99: M2 modelinin D4 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) paspayı dökülen elemanlar.	128
Şekil 7.100: M3 modelinin D1 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) dönme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.	129
Şekil 7.101: M3 modelinin D1 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.	130
Şekil 7.102: M3 modelinin D1 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) donatısı akan elemanlar.	131
Şekil 7.103: M3 modelinin D2 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) dönme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.	132
Şekil 7.104: M3 modelinin D2 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.	133
Şekil 7.105: M3 modelinin D2 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) donatısı akan elemanlar.	133
Şekil 7.106: M3 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) dönme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.	134

Şekil 7.107: M3 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.	135
Şekil 7.108: M3 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) çekirdeği ezilen olan elemanlar.	136
Şekil 7.109: M3 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) donatısı akan elemanlar.	136
Şekil 7.110: M3 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) paspayı dökülen elemanlar.	137
Şekil 7.111: M3 modelinin D4 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) dönme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.	138
Şekil 7.112: M3 modelinin D4 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.	139
Şekil 7.113: M3 modelinin D4 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) donatısı akan elemanlar.	139
Şekil 7.114: M3 modelinin D4 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) paspayı dökülen elemanlar.	140
Şekil 7.115: M4 modelinin D1 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.	141
Şekil 7.116: M4 modelinin D1 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) donatısı akan elemanlar.	142
Şekil 7.117: M4 modelinin D2 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.	143
Şekil 7.118: M4 modelinin D2 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) donatısı akan elemanlar.	144
Şekil 7.119: M4 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) dönme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.	145
Şekil 7.120: M4 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.	146
Şekil 7.121: M4 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) çekirdeği ezilen elemanlar.	146
Şekil 7.122: M4 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) donatısı akan elemanlar.	147
Şekil 7.123: M4 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) paspayı dökülen elemanlar.	148
Şekil 7.124: M4 modelinin D4 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) dönme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.	149
Şekil 7.125: M4 modelinin D4 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.	149
Şekil 7.126: M4 modelinin D4 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) donatısı akan elemanlar.	150
Şekil 7.127: M4 modelinin D4 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) paspayı dökülen elemanlar.	150
Şekil 7.128: Kısa doğrultuda (Y) PZ03 numaralı perde duvarın D1 deprem kaydı ile yapılan analizin moment-dönme grafiği.	152

Şekil 7.129: Kısa doğrultuda (Y) PZ03 numaralı perde duvarın D1 deprem kaydı ile yapılan analizin katlara göre kesme kuvveti grafiği.....	153
Şekil 7.130: Kısa doğrultuda (Y) PZ03 numaralı perde duvarın D2 deprem kaydı ile yapılan analizin moment-dönme grafiği.	154
Şekil 7.131: Kısa doğrultuda (Y) PZ03 numaralı perde duvarın D2 deprem kaydı ile yapılan analizin katlara göre kesme kuvveti grafiği.....	155
Şekil 7.132: Kısa doğrultuda (Y) PZ03 numaralı perde duvarın D3 deprem kaydı ile yapılan analizin moment-dönme grafiği.	156
Şekil 7.133: Kısa doğrultuda (Y) PZ03 numaralı perde duvarın D3 deprem kaydı ile yapılan analizin katlara göre kesme kuvveti grafiği.....	157
Şekil 7.134: Kısa doğrultuda (Y) PZ03 numaralı perde duvarın D4 deprem kaydı ile yapılan analizin moment-dönme grafiği.	158
Şekil 7.135: Kısa doğrultuda (Y) PZ03 numaralı perde duvarın D4 deprem kaydı ile yapılan analizin katlara göre kesme kuvveti grafiği.....	159
Şekil 7.136: Kısa doğrultuda (Y) SZ03 numaralı kolonun D1 deprem kaydı ile yapılan analizin moment-dönme grafiği.	160
Şekil 7.137: Kısa doğrultuda (Y) SZ03 numaralı kolonun D1 deprem kaydı ile yapılan analizin katlara göre kesme kuvveti grafiği.....	161
Şekil 7.138: Kısa doğrultuda (Y) SZ03 numaralı kolonun D2 deprem kaydı ile yapılan analizin moment-dönme grafiği.	162
Şekil 7.139: Kısa doğrultuda (Y) SZ03 numaralı kolonun D2 deprem kaydı ile yapılan analizin katlara göre kesme kuvveti grafiği.....	163
Şekil 7.140: Kısa doğrultuda (Y) SZ03 numaralı kolonun D3 deprem kaydı ile yapılan analizin moment-dönme grafiği.	164
Şekil 7.141: Kısa doğrultuda (Y) SZ03 numaralı kolonun D3 deprem kaydı ile yapılan analizin katlara göre kesme kuvveti grafiği.....	165
Şekil 7.142: Kısa doğrultuda (Y) SZ03 numaralı kolonun D4 deprem kaydı ile yapılan analizin moment-dönme grafiği.	166
Şekil 7.143: Kısa doğrultuda (Y) SZ03 numaralı kolonun D4 deprem kaydı ile yapılan analizin katlara göre kesme kuvveti grafiği.....	167
Şekil 7.145: Kısa doğrultuda (Y) SZ18 numaralı kolonun D1 kaydı ile katlara göre kesme kuvveti grafiği.	169
Şekil 7.146: SZ18 numaralı kolonun D2 kaydı ile elde edilen moment-dönme grafiği.	170
Şekil 7.147: SZ18 numaralı kolonun D2 kaydı ile katlara göre kesme kuvveti grafiği.....	171
Şekil 7.148: Kısa doğrultuda (Y) SZ18 numaralı kolonun D3 deprem kaydı ile yapılan analizin moment-dönme grafiği.	172
Şekil 7.149: Kısa doğrultuda (Y) SZ18 numaralı kolonun D3 deprem kaydı ile yapılan analizin katlara göre kesme kuvveti grafiği.....	173
Şekil 7.150: Kısa doğrultuda(Y) SZ18 numaralı kolonun D4 deprem kaydı ile yapılan analizin moment-dönme grafiği.	174
Şekil 7.151: Kısa doğrultuda (Y) SZ18 numaralı kolonun D4 deprem kaydı ile yapılan analizin katlara göre kesme kuvveti grafiği.....	175
Şekil 7.152: M1 modelinin D1 deprem kaydı ile yapılan analizde kısa doğrultuda (Y) kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.	176

Şekil 7.153: M1 modelinin D1 deprem kaydı ile yapılan analizde kısa doğrultuda (Y) donatısı akan elemanlar.....	177
Şekil 7.154: M1 modelinin D2 deprem kaydı ile yapılan analizde kısa doğrultuda (Y) kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.....	178
Şekil 7.155: M1 modelinin D2 deprem kaydı ile yapılan analizde kısa doğrultuda (Y) donatısı akan elemanlar.....	179
Şekil 7.156: M1 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan analizde kısa doğrultuda (Y) dönme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.....	179
Şekil 7.157: M1 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan analizde kısa doğrultuda (Y) kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.....	180
Şekil 7.158: M1 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan analizde kısa doğrultuda (Y) donatısı akan elemanlar.....	181
Şekil 7.159: M1 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan analizde kısa doğrultuda (Y) kabuk atan elemanlar.....	181
Şekil 7.160: M1 modelinin D4 deprem kaydı ile yapılan analizde kısa doğrultuda (Y) dönme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.....	182
Şekil 7.161: M1 modelinin D4 deprem kaydı ile yapılan analizde kısa doğrultuda (Y) kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.....	183
Şekil 7.162: M1 modelinin D4 deprem kaydı ile yapılan analizde kısa doğrultuda (Y) donatısı akan elemanlar.....	184
Şekil 7.163: M1 modelinin D4 deprem kaydı ile yapılan analizde kısa doğrultuda (Y) kabuk atan elemanlar.....	184
Şekil 7.164: M2 modelinin D1 deprem kaydı ile yapılan analizde kısa doğrultuda (Y) kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.....	185
Şekil 7.165: M2 modelinin D2 deprem kaydı ile yapılan analizde kısa doğrultuda (Y) kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.....	186
Şekil 7.166: M2 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan analizde kısa doğrultuda (Y) kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.....	187
Şekil 7.167: M2 modelinin D4 deprem kaydı ile yapılan analizde kısa doğrultuda (Y) kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.....	188
Şekil 7.168: M3 modelinin D1 deprem kaydı ile yapılan analizde kısa doğrultuda (Y) kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.....	189
Şekil 7.169: M3 modelinin D2 deprem kaydı ile yapılan analizde kısa doğrultuda (Y) kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.....	190
Şekil 7.170: M3 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan analizde kısa doğrultuda (Y) kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.....	191
Şekil 7.171: M3 modelinin D4 deprem kaydı ile yapılan analizde kısa doğrultuda (Y) kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.....	192
Şekil 7.172: M4 modelinin D1 deprem kaydı ile yapılan analizde kısa doğrultuda (Y) kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.....	193
Şekil 7.173: M4 modelinin D1 deprem kaydı ile yapılan analizde kısa doğrultuda (Y) donatısı akan elemanlar.....	194
Şekil 7.174: M4 modelinin D2 deprem kaydı ile yapılan analizde kısa doğrultuda (Y) kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.....	194

Şekil 7.175: M4 modelinin D2 deprem kaydı ile yapılan analizde kısa doğrultuda (Y) donatısı akan elemanlar.....	195
Şekil 7.176: M4 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan analizde kısa doğrultuda (Y) dönme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.....	196
Şekil 7.177: M4 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan analizde kısa doğrultudaki (Y) kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.....	196
Şekil 7.178: M4 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan analizde kısa doğrultuda (Y) donatısı akan elemanlar.....	197
Şekil 7.179: M4 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan analizde kısa doğrultuda (Y) kabuk atan elemanlar.....	198
Şekil 7.180: M4 modelinin D4 deprem kaydı ile yapılan analizde kısa doğrultuda (Y) dönme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.....	199
Şekil 7.181: M4 modelinin D4 deprem kaydı ile yapılan analizde kısa doğrultuda (Y) kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.....	199
Şekil 7.182: M4 modelinin D4 deprem kaydı ile yapılan analizde kısa doğrultuda (Y) donatısı akan elemanlar.....	200
Şekil 7.183: M4 modelinin D4 deprem kaydı ile yapılan analizde kısa doğrultuda (Y) kabuk atan elemanlar.....	201

SEMBOLLER VE KISALTMALAR

TBDY	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
BKS	: Bina Kullanım Sınıfı
BYS	: Bina Yükseklik Sınıfı
DTS	: Deprem Tasarım Sınıfı
TS EN 12504-1	: Beton- Yapıda Beton Deneyleri- Bölüm 1: Karot Numuneler- Karot Alma, Muayene ve Basınç Dayanımının Tayini
f_{ck}	: Betonun karakteristik silindir basınç dayanımı
H_{cr}	: Perde kritik yüksekliği
L_w	: Perdenin veya bağ kirişli perde parçasının plandaki uzunluğu
H_w	: Temel üstünden veya zemin kat döşemesinden itibaren ölçülen toplam perde yüksekliği
L_u	: Perde uç bölgesi uzunluğu
b_w	: Kirişin gövde genişliği, perdenin gövde kalınlığı
M1	: Yapının mevcut hali
M2	: Perdeli başlıksız model
M3	: Perdeli başlıklı model
M4	: Kolonları mantolu model
1. Analiz	: Yapıya 30 saniye boyunca 0,16g kadar uygulanan deprem ivme kaydı
2. Analiz	: Yapıya 30 saniye boyunca 0,27g kadar uygulanan deprem ivme kaydı
3. Analiz	: Yapıya 37 saniye boyunca 0,36g kadar uygulanan deprem ivme kaydı
4. Analiz	: Yapıya 25 saniye boyunca 0,47g kadar uygulanan deprem ivme kaydı
V_t	: Binaya etkiyen toplam deprem yükü (taban kesme kuvveti)
m_t	: Binanın bodrum katlarının üstündeki üst bölüm'ünün toplam kütlesi [t]
I	: Bina önem katsayısı
g	: Yer çekimi ivmesi (9.81 m/s ²)
N	: Binanın zemin seviyesi üstündeki kat adedi
m_j	: Her bir kata düşen kütle miktarı
H_j	: Binanın toplam yüksekliği
$S_{ae}(T)$	: Yatay elastik tasarım spektral ivmesi [g]
$S_{aR}(T)$	: Azaltılmış tasarım spektral ivmesi [g]
$R(T)$	: T periyot değerindeki deprem yükü azaltma katsayısı

F_i	: Binada i'nci kata etkiyen eşdeğer deprem yükü
ΔF_n	: Toplam karakteristik basınç dayanımı
m_i	: Binanın i'inci katının kütlesi
δ	: Temel tabanı ile zemin arasındaki sürtünme açısı [derece]
f_c	: Ortalama Basınç Mukaveti
M_{pa}	: Kolonun serbest yüksekliğinin alt ucunda f_{ck}, f_{yk} ve çeliğin dayanım artışı göz önüne alınarak hesaplanan moment dayanımı.
f_t	: Ortalama Çekme Mukaveti
E_c	: Elastisite Modülü
ϵ_c	: En Büyük Gerilmedeki Birim Şekil Değiştirme
γ	: Özağırlık
S_S	: Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
S_1	: 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
S_{DS}	: Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
S_{D1}	: 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
$\epsilon_c^{(GÖ)}$	: Göçmenin önlenmesi performans düzeyi için izin verilen sargılı beton birim kısalması sınırı.
α_{se}	: Sargı donatısı etkinlik katsayısı
$\rho_{sh,min}$	: Dikdörtgen kesitte iki yatay doğrultuda hacimsel enine donatı oranının küçük olanını.
f_{ywe}	: Enine donatının ortalama akma dayanımı.
f_{ce}	: Betonun ortalama basınç dayanımı.
ρ_{sh}	: Dikkate alınacak doğrultuda enine donatının hacimsel oranı.
ω_{WE}	: Etkin sargı donatısının mekanik donatı oranı.
A_{sh}	: Dikkate alınacak doğrultuda enine donatının alanı.
b_o	: Sargı donatısı eksenlerinden ölçülen sargılı beton boyutu.
h_o	: Sargı donatısı eksenlerinden ölçülen sargılı beton boyutu.
b_k	: Dik doğrultudaki çekirdek boyutu.
S	: Enine donatı aralığı.
a_i	: Etriye kolu veya çiroz tarafından mesnetlenen boyuna donatıların eksenleri arasındaki uzaklık.
$\epsilon_s^{(GÖ)}$	: Göçmenin önlenmesi performans düzeyi için izin verilen donatı çeliği birim kısalması sınırı.

ϵ_{su}	: Maksimum dayanıma karşı gelen donatı birim uzaması.
$\epsilon_c^{(KH)}$	: Kontrollü hasar performans düzeyi için izin verilen sargılı beton birim kısalması sınırı.
$\epsilon_s^{(KH)}$	: Kontrollü hasar performans düzeyi için izin verilen donatı çeliği birim kısalması sınırı.
$\epsilon_c^{(SH)}$	: Sınırlı hasar performans düzeyi için izin verilen sargılı beton birim kısalması sınırı.
$\epsilon_s^{(SH)}$	: Sınırlı hasar performans düzeyi için izin verilen donatı çeliği birim kısalması sınırı.
$\Delta_i^{(x)}$	: i numaralı katın azaltılmış görelî kat ötelemesi.
$u_i^{(x)}$	: i'inci katında herhangi bir kolon veya perdenin uçlarında azaltılmış deprem yüklerine göre hesaplanan yatay değiştirmeler.
$u_{i-1}^{(x)}$	: i-1'inci katında herhangi bir kolon veya perdenin uçlarında azaltılmış deprem yüklerine göre hesaplanan yatay değiştirmeler.
$\delta_i^{(x)}$	: i'inci kattaki kolon ve perdeler için etkin görelî kat ötelemesi.
R	: Yapısal davranış kat sayısı.
λ	: DD-3 deprem yer hareketinin elastik spektral ivmesinin, DD-2 deprem yer hareketinin elastik spektral ivmesine oranı.
$\delta_{i,max}^{(x)}$	: En büyük etkin görelî kat ötelemesi.
h_i	: i numaralı katın yüksekliği.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

1975 DEPREM YÖNETMELİĞE GÖRE TASARLANMIŞ BETON DAYANIMI DÜŞÜK BİNALARDA PERDE BAŞLIKLARININ VE KOLON MANTOSUNUN YAPISAL PERFORMANSA ETKİSİ

ŞENOL ALBAYRAK

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

177+XIV sayfa

2025

Danışman: Prof. Dr. Onur ONAT

6 Şubat 2023 tarihinde Doğu Anadolu Fay Hattı üzerinde ‘**Asrın Felaketi**’ olarak nitelendirilen merkez üssü Kahramanmaraş ilinin Pazarcık ile Elbistan ilçeleri olan, moment büyüklüğü 7.7 ve 7.6 olarak hesaplanan deprem çifti meydana gelmiştir. Bu depremlerden sonra yapı stoğundaki eski yapıların güçlendirilip güçlendirilmeyeceği ya da güncel yönetmeliği karşılamaması durumunda yapılacak güçlendirilmenin etkinliğinin araştırılması ve yapısal sisteme olan katkıları çokça tartışılmış bir konu olmakla birlikte bu tezin motivasyon kaynağıdır. Bu çalışmada yukarıda anılan depremler sonrasında az hasarlı olarak tescillenmiş olan Malatya’nın Yeşilyurt ilçesinde bulunan bodrumsuz zemin + 4 katlı 30 yıllık bir yapı hem sahada hem de sayısal ortamda detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu yapının mevcut durumunun performans analizi ile güçlendirme alternatifleri değerlendirilmiştir. Güçlendirme alternatifleri olarak perdeli başlıksız, perdeli başlıklı ve perdesiz dış kolonları mantolu olmak üzere 4 farklı model oluşturulup perde başlıklarının ve mantolamanın standart altı betonarme yapının sünekliğine ve yük taşıma kapasitesine katkısı değerlendirilmiştir. Bu tez çalışması iki aşamalı olarak sürdürülmüştür. Birinci aşamada saha çalışması yapılmıştır. İkinci aşamada ise sayısal ortamda çalışma yapılmıştır. Saha çalışmasında röleve alınarak yapının projesinin çıkarılması, karot alınması, kolon ve perdelerde sıyrılma yapılarak donatı miktarının belirlenmesi, temel çeşidinin belirlenmesi ve zemin etüdü yapılmıştır. İkinci aşamada ise yapısal sistemin ilk hali ve güçlendirme alternatiflerine konu olan modeller sayısal olarak SeisMobuild yazılımında modellenmiş ve bu modeller Seismostruct yazılımında önce modal olarak analiz edilmiştir. Daha sonra kısa ve uzun doğrultularda doğrusal olmayan statik itme analizi yapılmıştır. En sonunda da Kahramanmaraş depremlerinden elde edilen 4 adet kayıt ile doğrusal olmayan dinamik analiz yapılmıştır. Bu çalışmaya göre perde başlıklarının yapının kısa doğrultusundaki sünekliğine katkısı önemli oranda katkı sağlamakla birlikte uzun doğrultuda ise sünekliğe etkisinin kısa doğrultudaki kadar olmadığı gözlenmiştir. Ayrıca dış akstaki mantolanan kolonların yapının sünekliğine katkısı perdeler kadar olmadığı ve göreceli kat ötelenmelerini azaltmada perdeler kadar etkili olmadığı görülmüştür. Mantolanan kolonların teorik olarak moment dönme kapasitesine de katkı sağladığı analizler sonucu

ortaya çıkmıştır. Perde başlıklarının, standart altı gevrek yapıların özellikle zayıf doğrultusuna katkısının çok önemli olduğu bu çalışma ile vurgulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Standart altı betonarme yapılar, dinamik analiz, güçlendirme perdesi, mantolama, Kahramanmaraş depremleri, Malatya



ABSTRACT

Master Thesis

THE EFFECT OF SHEAR WALL JOINT AND COLUMN JACKET ON STRUCTURAL PERFORMANCE IN BUILDINGS WITH LOW CONCRETE STRENGTH DESIGNED ACCORDING TO THE 1975 EARTHQUAKES CODE

ŞENOL ALBAYRAK

Inonu University
Graduate School of Nature and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

177+XIXsayfa

2025

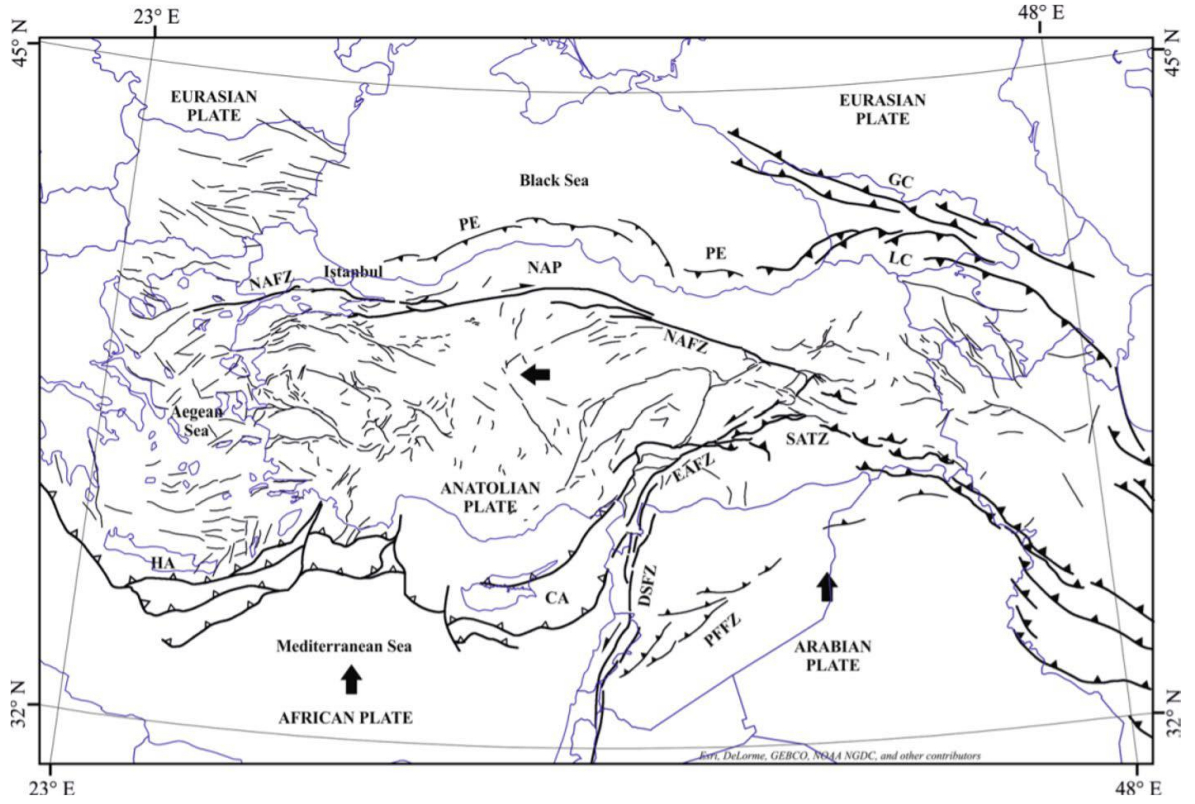
Supervisor: Prof. Dr. Onur ONAT

On February 6, 2023, a pair of devastating earthquakes, referred to as the "Disaster of the Century," struck along the East Anatolian Fault with epicenters in the Pazarcık and Elbistan districts of Kahramanmaraş, registering moment magnitudes of 7.7 and 7.6, respectively. Following these events, the question of whether to retrofit older buildings within the existing building stock or, in cases where they fail to meet current codes, the effectiveness of such retrofits and their contribution to the structural system, has become a widely debated issue, serving as the primary motivation of this study. In this context, a 30-year-old, four-story reinforced concrete building without a basement, located in Yeşilyurt district of Malatya and classified as slightly damaged after the earthquakes, was investigated through both field surveys and numerical analyses. The performance assessment of the existing structure was conducted, and retrofit alternatives were evaluated. Three different retrofit models were developed, including shear walls with and without boundary elements, as well as jacketed exterior columns with and without shear walls, in order to assess the contribution of boundary elements and column jacketing to the ductility and load-bearing capacity of substandard reinforced concrete structures. The study was carried out in two stages. In the first stage, field investigations included preparing measured drawings, extracting cores, exposing reinforcement in columns and walls, identifying foundation type, and conducting soil surveys. In the second stage, the as-built structure and the retrofit alternatives were modeled in Seisbuild, followed by modal analysis and nonlinear static pushover analysis in both transversal and longitudinal directions using Seismostruct. Subsequently, nonlinear dynamic analyses were performed using four ground motion records from the Kahramanmaraş earthquakes. The results indicate that while boundary elements significantly enhanced the ductility in the transversal direction, their effect was less pronounced in the longitudinal direction. Additionally, jacketed exterior columns improved ductility and contributed to moment-rotation capacity. However, they were not as effective as shear walls in reducing interstory drifts. The findings highlight the crucial role of boundary elements in the retrofitting process of deficient reinforced concrete buildings.

Keywords: Sub standard reinforced concrete structures, nonlinear analysis, reinforcement shear wall, jacketing, Kahramanmaraş earthquakes

GİRİŞ

Ülkemiz doğal afetlerle sıklıkla karşı karşıya kalan bir ülkedir. Sebebi ise anadolu coğrafyasının tektonik, sismik, topografik ve iklimsel yapısıdır. Bu coğrafik etmenler sebebiyle su baskını, sel, çığ, heyelan, yangın ama en önemlisi deprem gibi doğa kaynaklı afetlerle sıklıkla karşılaşilmektedir [1]. Ülkemiz, depremlerde insan kaybı açısından dünyada üçüncü, etkilenen insan sayısı açısından sekizinci sırada olduğumuz resmi kaynaklarda vurgulanmıştır. Ülkemizde deprem üreten 3 ana fay kaynağı bulunmaktadır (Şekil 1.1). Bunlar Doğu Anadolu Fay (DAF) hattı, Kuzey Anadolu Fay (KAF) hattı ve Ege bindirme kuşağıdır.



Şekil 1.1: Ülkemizde deprem üreten fay kaynakları.

Bu faylardan son 5 yılda en fazla deprem üreten ise DAF olmuştur [2]. DAF toplamda 5 segmentten oluşmaktadır (Şekil 1.2).

sıklaştırmasının yapılmaması ve agreganın çimento hamuruna yapışmasıyla ilgili sorunlar ve daha fazlasının gözlenmiş olduğu birçok çalışmada vurgulanmıştır. Ek olarak, bazı eski binalardaki maksimum agrega tane boyutun yaklaşık 7-8 cm civarında olduğu, donatılar arasındaki beton akışını etkilediği ve çimento hamurunun düzgün dağılmasını engellediği rapor edilmiştir. Dahası, yük taşıyıcı sistemlerde düz donatılar veya düz ve nervürlü donatıların bir kombinasyonunun kullanılması, düz donatılar ve beton arasında zayıf bir bağ oluşmasına neden olarak kaymaya meyilli hale getirdiği yine literatürdeki çalışmalarda vurgulanmıştır [6]. Özellikle 1999'dan önce var olan binalar için donatı korozyonunun ileri aşamalarına ulaştığı hatta donatılarda önemli kesit kayıpları ve korozyon kaynaklı hacim artışı nedeniyle betonda hasarlar gözlemlendiği bazı çalışmalarda yer almıştır [7]. Bu durumun, betonun hizmet ömrünü azalttığı ve depremlerden önce bile yapısal sistemi tehlikeye attığı bazı çalışmalarda vurgulanmışlardır. Bu durumun da sismik etkiler sırasında tamamen dağılma ve parçalanma ile sonuçlandığının altını çizmişlerdir. Ayrıca, bölgedeki birçok binada, etriye ve boyuna donatı düzenlemesinin düzgün yapılmadığını ve ayrıntıların yönetmeliklerde belirtilen düzenlemelere uymadığını belirtmişlerdir. Yapısal bütünlük için önemli olan kiriş-kolon birleşimlerinde, uygunsuz aralık ve yanlış etriye kanca açısı da dahil olmak üzere yeterli etriyenin bulunmadığını belirtmişlerdir. Wang ve diğ. [6] çalışmalarında binaların hasar ve göçme modellerini özetlemiş olup, çok sayıda çöken binanın üç nedenini sıralamıştır. Bunlar daha iyi süneklik için sismik önlemlerin eksikliği, sıvılaşma ve yüzey kırığı gibi saha etkileri ile yer hareketlerinin belirgin düşük frekanslı bileşenleridir. Dahası, yapıların rezonansının ve kilit elemanların daha zayıf sünekliğinin binaların çökmesine yol açtığını belirtmişlerdir. Çalışmalarını çok sayıda binanın ciddi şekilde hasar görerek çökmesine rağmen, aşırı sarsıntı bölgelerindeki binaların çoğunun hafif veya orta derecede hasar gördüğünü, bunun da iyi tasarlanmış ve inşa edilmiş binaların aşırı tasarımlı depremlerde bile ayakta kalabildiğini ve insan hayatlarını koruyabildiğini belirtmişlerdir.

Doğangün (2004) 1 Mayıs 2003 Bingöl'de meydana gelen deprem için tepki ve tasarım spektrumlarını çalışmada kıyaslamıştır. Deprem yönetmeliğinin yeterliliklerini tartışmış ve gözlemlenen deprem hasarlarıyla karşılaştırmıştır. Sünek olmayan detaylar, yumuşak ve zayıf katlar, düşük beton kalitesi, kısa kolonlar, kuvvetli kirişler-zayıf kolonlar, büyük ve ağır çıkmalar ve çevrelenmemiş kalkan duvarları gibi birçok yapısal eksiklik ve hatanın gözlemlendiğini çalışmada belirtmiştir [7].

Ramirez ve diğ. [8] çalışmada, 30 adet prototip betonarme moment çerçevesel binada deprem hasarlarının onarılmasının beklenen maliyetini incelemiştir. Yükseklikleri 1 ila 20 kat

arasında değişen bu prototipyapılar, modern deprem yönetmeliğine göre tasarlanmış özel betonarme moment çerçevesi ofis binalarını temsilen oluşturulmuş. Onarımla ilgili ekonomik kayıplar, sahaya özgü sismik tehlike, yapısal tepki, bina bileşenleri ve içeriklerindeki hasar ve bunun sonucunda ortaya çıkan onarım maliyetlerini birleştiren performansa dayalı bir deprem mühendisliği çerçevesi kullanılarak hesaplandığı ve sonuçların, performansa esas tasarım depremi kapsamında beklenen kayıplar, beklenen yıllık kayıplar ve yaşam döngüsü kayıplarının bugünkü değeri açısından sunmuştur. Betonarme çerçeve bina için beklenen yıllık ekonomik kayıplar, söz konusu yüksek sismik bir bölge olan Kaliforniya sahası için bina yenileme maliyetinin yaklaşık %1'idir. Onarım maliyetlerinin bina yüksekliğine ve diğer mimari ve yapısal tasarım parametrelerine bağlı olarak önemli ölçüde değiştğini belirtmişlerdir [8].

Bayraktar ve diğ. [9]yapısal hasarların; saha etkisi, fayın yeri ve uzunluğu, inşaat kalitesinin kötü olması, beton mukavemet kalitesinin düşük olması ve nervürsüz donatı çeliği, kiriş kolon birleşim yerlerinde detaylandırmanın zayıf olması, güçlü kiriş-zayıf kolon gibi birçok nedenden kaynaklandığını ortaya çıkarmış; kısa kolonlar, yumuşak kat, zayıf kat, yetersiz enine donatı, kısa bindirme eklerinin varlığı ve hatalı uç kanca açısı, zayıf duvarlar, binalar arasında yetersiz güvenlik mesafesi, yeteri kadar mesnetlenmemiş kalkan duvarları, beton döşeme hataları, yalıtım malzemeleri, kırık merdiven döşemesi, pencere ve kapıların köşelerinde çatlakların bulunması olarak sıralanmış. Ayrıca binaların yüzde 26'sının yapı ruhsatı olmadığı, yüzde 66'sının zemin katının dükkan olarak kullanıldığı, yüzde 36'sının statik projesinin bulunmadığı, sadece binaların yüzde 57'sinin statik projesinin olduğunu belirtmiştir [9].

Manfredi ve diğ. (2014) 2012 Emilia depreminin etkilediğı bölgenin betonarme bina stoğunu (kat sayısı, inşaat yaşı, yapısal tipoloji) karakterize etmek amacıyla toplandığı, olaydan hemen sonra saha raporlarında toplanan hasar gözlemleri, bölgedeki betonarme binaların tipik zayıflıkları vurgulamıştır. Emilia bölgesi ve betonarme binaların ana özellikleri için sismik sınıflandırmanın gelişimi, EMS-98 hasar ölçeğine dayalı basitleştirilmiş bir yaklaşımla (FAST yöntemi) dolgu duvarlı betonarme binaların yapısal olmayan hasarlarının değerlendirilmesi için parametreleri temsil ettiğini belirtmiştir [10].

Van Cao ve diğ.(2014), uzak fay yer hareketlerinin çeşitli sismik parametreleri ile az katlı betonarme binalarda deprem kaynaklı meydana gelen yapısal hasar arasındaki korelasyonun derecesi üzerine yaptıkları araştırmanın sonuçlarını paylaşmış ve en güçlü yapısal hasar ile en güçlü ilişki parametrelerin başında hız spektrumu yoğunluğunun geldiğini,

bunu Housner yoğunluğu ve spektral ivmenin izlediğini belirtmişlerdir. Çok yaygın olarak kullanılan sismik parametrelerden altısı, bu tür yapıların hasarları ile zayıf korelasyonların var olduğunu sonuçlarında geleneksel olarak kullanılan maksimum yer ivme parametresi ile hasar (hasar indeksi veya katlar arası göreceli ötelenme ile ifade edilen) arasında çok zayıf bir korelasyonun (diğer birçok sismik parametrenin çok gerisinde) varlığını gösterdiğini belirtmişlerdir [11].

Yön ve diğ. (2017) çalışmasında deprem kaynaklı hasarları sınıflandırmış olup betonarme yapılar ile ilgili hasarların yumuşak ve zayıf kat, kuvvetli kiriş-zayıf kolon, kısa kolon, çekiçleme, çevrenmemiş kalkan duvar ve duvarların düzlem içi/düzlem dışı hareketi gibi uygun olmayan tasarımların, hasarlara neden olduğunu ve bunlarında ana sebepler olduğunu, bunun yanı sıra yapısal elemanların malzemelerinin standardın altında olması, işçilik yetersizliği, mühendislik hizmetlerinin eksikliği ve yapı elemanlarının yetersiz detaylandırılması da diğer hasar nedenleri arasında olduğunu belirtmişlerdir [12].

Yön ve diğ. (2019) bir başka çalışmasında, Türkiye'de meydana gelen 23 Ekim 2011 ve 9 Kasım 2011 Van depremleri sonucunda dolgu ve bölme duvarlarının hasarları ve göçme nedenleri üzerinde durmuşlardır. Bu çalışmada betonarme yapıların tek ve çok katmanlı dolgu duvarların düzlem içi, düzlem dışı ve birleşik göçme mekanizmaları incelenmiş ve yapım kuralları için detaylar önermişlerdir [13].

Onat, (2019) çalışmasında betonarmede dolgu duvarların hasarları ile titreşim frekansındaki azalma arasındaki ilişkiyi (titreşim periyodunun uzaması) incelemeyi amaçlamışlardır. Giderek artan yapay depreme maruz kalan güçlendirilmemiş ve güçlendirilmiş dolgu duvarlı yapılar sarsma masasında teste tabi tutulmuş. Bu amaçla iki sarsma tablası deneyi yapılmış. Sarsma masası deneyleri 1:1 ölçekli prototip, tek açıklıklı, tek katlı, dolgu duvarlı betonarme yapı üzerinde gerçekleştirmişlerdir. Çalışmanın sonucunda düzlem dışı taşıma kapasitesi değişme de derz donatılı dolgu duvarların sünekliğinin fazla olduğu ve her hasar seviyesinde dinamik karakteristiklerinin ve enerji yutma şeklinin değiştiği ortaya çıkarılmıştır[14].

Sayın ve diğ. (2021) 24 Ocak 2020 Elazığ-Sivrice depremine ait deprem bölgesinin deprem öncesi ve sonrası sismoteknik özelliklerini özetlemiştir. Ayrıca bu çalışmada bölgenin sismo tektoniğini, daha önce oluşan depremlerin genel özelliklerini özetlemiş ve daha özel olarak saha incelemesi sırasında gözlemlenen depremin neden olduğu yapısal hasarları rapor etmişlerdir. Rapor edilen hasarlar betonarme yapılar, yığma konutlar ve konut dışı yapılar, iyi

performans gösteren ve kötü performans gösteren yapıları da karşılaştırarak bir sınıflandırma yapmışlardır[15].

Li ve diğ. (2021) yaptıkları çalışmada, depremde zarar görmüş betonarme kolonların artık davranışını doğru bir şekilde tahmin etmek için yeni bir hasar dağılım modeli geliştirmeye çalışmışlardır. Referans beton ile betonarme kolon arasındaki plastik mafsallık bölgesindeki kolon yüksekliği boyunca hasar ilişkisini deneysel verilere uyarlanarak kurulmuş ve bu ilişkiye, düzlem kesit varsayımına göre plastik mafsallık bölgesindeki hasar dağılımı analitik olarak elde edilmiş olduğunu belirtmişlerdir. Plastik mafsallık bölgesinde farklı lokasyonlardaki malzemelerin hasar seviyeleri değerlendirmişlerdir. Önerilen hasar dağılım modeli, depremde zarar görmüş bir betonarme kolonun artık davranışını tahmin etmek için kullanılmış ve karşılaştırma için revize edilmiş ASCE-41 modelini kullandıkları, doğrulama ve analizler, hasarlı betonarme kolonun artık davranışının, önerilen hasar dağılım modeliyle ASCE-41 modeline göre daha doğru bir şekilde tahmin edilebileceğini gösterdiğini, önerilen model, hasarlı betonarme kolonların artık davranışının doğru tahmin edilmesini sağladığı ve yeniden inşa kararları için referans alınması gerektiğini belirtmişlerdir [16].

Bojórquez ve diğ. (2021) çalışmasında, deprem koşullarında betonarme binaların yapısal güvenilirliğine korozyonun etkisini incelemişlerdir. Binaların Meksika'nın AcapulcoGuerrero şehrinde yer aldığı varsayılarak, binaların yapısal elemanlarının depreme karşı direncinin korozyondan etkilendiği ve hesaplanmadığı durumlarda yapısal güvenliliğin karşılaştırılması yapıldığını, ayrıca beton paspayı etkisi de dikkate alındığını belirtmişlerdir. Çalışmalarının amacı doğrultusunda binalar 3 boyutlu betonarme çerçeveler olarak modellenmiş ve çeşitli deprem yer hareketi kayıtlarına tabi tutulmuş, ayrıca analizler, çelik korozyonunu tahmin etmek için Monte Carlo simülasyon tekniği ve korozyon başlangıcı, korozyon yayılımı ve korozyon çatlağının stokastik modellemesi ile gerçekleştirildiğini söylemişlerdir. Betonarme yapılarda korozyon etkisinin göz ardı edilmesinin, binaların deprem altındaki yapısal güvenliliğinin hatalı tahmin edilmesine yol açabileceği kanıtlamışlar [17].

6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremleri sonrası, depremde etkilenen 11 ilde betonarme yapı stoğu üzerinde yapılan saha çalışmaları sonrası, tamamen veya kısmi olarak yıkılan ya da ağır hasar alan yapıların genellikle yetersiz sismik detaylandırma, depreme dayanıklı inşaat tekniklerine uyulmaması, standartların altında beton kalitesi ve kötü işçilik gibi yapısal eksikliklere bağlanmıştır. Ayrıca yapı malzemelerinin kalitesi, depremler sırasında yapısal dayanıklılık açısından kritik bir faktör olarak kabul edilmektedir. Standart

altı malzemeler veya kalitesinden ödün verilmiş malzemeler, bir binanın sismik kuvvetlere dayanma kabiliyetini önemli ölçüde azaltılabileceğine değinilmiştir [18].

İnce (2023) yaptığı çalışmada saha gözlemleri sonucu, özellikle donatı detaylarına ilişkin deprem yönetmeliklerinin göz ardı edildiğini ortaya koymuştur. Buna ek olarak, tasarımcılar çerçevelerin süreksiz hale getirilmesi, düşey eleman güçlü ekseninin çoğunun tek yönde yerleştirilmesi, merdivenlerin yetersiz destek durumu ve bitişik bina etkileri gibi tasarım hatalarından kaçınılması gerektiğini, kaçınılmaması durumunda Adıyaman ilindeki gibi incelenen klasik hasarların olabileceğini belirtmiştir [19].

Yön ve diğ. (2025) çalışmasında depremlerin en çok yıkıma yol açtığı iller olan Hatay, Adıyaman, Kahramanmaraş ve Malatya'da yapılan saha çalışmalarında hasar ve göçmeye sebep olan bulguları güçlü kiriş-zayıf kolon mekanizması, yumuşak kat-zayıf kat mekanizması, darbe etkisi, kısa kolon hasarı, uzun konsol ve çıkmalar, kısa kiriş hasarı, burkulma hasarı, burulma etkisi, malzeme kalitesi, yetersiz enine donatı, aşırı donatıya bağlı basınç göçmesi, korozyon etkisi, betonarme perde duvar hasarı, dolgu duvar hasarı, zemin ve temel sisteminden kaynaklanan hasarlar olarak sıralamışlardır [20].

Sezgin ve diğ. (2024) deprem bölgesinde yaptığı çalışma sonucunda donatı düzenlemesi, kötü tasarım ve uygulamadan kaynaklanan önemli hasarlar rapor edilmiştir. Bölgedeki birçok binada etriye ve çaprazların konfigürasyonunun uygun şekilde yapılmadığını ve detayların sismik kodlarda belirtilen düzenlemeleri karşılamadığını ortaya koymaktadır. Yapısal bütünlük için gerekli olan kiriş-kolon birleşimlerinde, uygun olmayan aralıklar ve yanlış bükülme (örneğin, etriyelerin uç kancalarının 90 derece bükülmesi) dahil olmak üzere yeterli enine çubuk donatı bulunmadığını belirtmişlerdir. Depremler sırasında çok önemli olan kolon-kiriş birleşimlerindeki etriyelerin yeterince sıkılmaması, yapısal bütünlüğü tehlikeye attığı vurgulanmıştır. Etriyelerdeki açıklıklar, eksenel yük altında boyuna donatı burkulmasına ve ardından çekirdek betonunun ezilmesine yol açtığı vurgulanmıştır [21].

Altunışık ve diğ. (2023) betonarme binalardaki hasarların ana nedenleri iki kategoride sınıflandırmıştır: (1) tasarım aşamasındaki hatalar (güçlü kiriş-zayıf kolon, kısa kolon, yumuşak kat, çarpma etkileri, kısa ve serbest olmayan bindirme eklerinin varlığı, yetersiz enine donatı, kolon-kiriş bağlantı hataları) ve (2) inşaat aşamasındaki hatalar (düşük beton kalitesi, nervürsüz donatı çelik çubuğu ve korozyon, donatı çubuklarının yanlış yerleştirilmesi, yanlış uç kanca açısı ve uzunluğu, zayıf beşik duvarlar, işçilik kusurları).

Ayrıca, depremde tamamen yıkılan mevcut bir betonarme binada ilk depremin neden olduğu sismik etkilerin karşılaştırmalı doğrusal olmayan sonlu eleman analizi, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 (TBDY 2018) dikkate alınarak bir vaka çalışması olarak gerçekleştirilmiştir. Saha gözlemleri ile ulaşılan hasar nedenlerinin geçerliliği ve doğruluğu sayısal analiz sonuçları ile de kanıtlanmıştır. Yönetmeliklere uyulması, binaların performans değerlendirmelerinin ve kontrollerinin yenilenen deprem yönetmeliğine göre yapılması ve gerekiyorsa onarım-güçlendirme çalışmalarının önemini vurgulamışlardır. “Asrın Felaketi” olarak adlandırılan 6 Şubat 2023 tarihinde yaşanan depremler sonrasında yaşanan can ve mal kayıpları, Türkiye'nin mevcut yapı stoğunun, özellikle de belli bir tarihten önce inşa edilmiş olanların, depreme karşı yetersiz olduğunu önemle vurgulamışlardır [22].

Sevim ve diğ. (2024) deprem bölgelerinde orta ve ağır hasarlı binaların yapısal hasarlarını inceleyerek, sayısal veri elde etmek için gözlemsel bir araştırma yürütmüşlerdir. Bu çalışmada, yumuşak kat, zayıf kolon-güçlü kiriş, eksiklikler ve çarpma etkisinin varlığına göre performans değerlendirmesi yapılmıştır. Hasarlar kiriş, kolon, kiriş-kolon birleşimi ve perde duvar, dolgu duvar, çatı ve iskele hasarları olarak sınıflandırılmıştır. Yumuşak kat büyüklüğü, kolon hasarları, yetersiz derz donatısı, yetersiz yapısal süneklik ve düşük kapasite, güçlü kiriş-zayıf kolon etkisi ve dolgu duvar hasarları sahadan gözlemlenmiştir. Saha gözlemleri sonucunda Kahramanmaraş deprem bölgesindeki betonarme binalarda yapısal eksikliklerin, düzensizliklerin ve kapasite tasarım ilkelerine uyulmamasının ortak sorunlar olduğu sonucuna varılmıştır [23].

6 Şubat Kahramanmaraş merkezli depremler sonrası Malatya ilinde yapılan saha çalışması kapsamında ise Turan ve diğ. (2024) betonarme yapıların sismik yüklerin etkisi altında hasar görmesinin birçok nedeni var olduğu bu nedenlerin ise, geçmişte Türkiye'de yaşanan depremler sonrasında yapılan saha araştırmalarında da görüldüğü üzere, deprem yönetmeliklerine uygun olmayan malzeme ve kesit özellikleri, işçilik kusurları, dikkate alınmayan zemin parametreleri ve tasarım hataları olarak sıralamışlar. Bu araştırmada, Malatya ilinde meydana gelen depremler sonrasında hasar gören betonarme binalar üzerinde bir saha çalışması yapmışlar. Yaşları 6-26 arasında değişen betonarme binalardaki yapısal hasarların nedenleri tasarım ve malzeme hataları açısından değerlendirmişler. Yapısal hasarlar çoğunlukla yapı elemanlarındaki yetersiz etriye, kısa kolon, güçlü kiriş-zayıf kolon, dolgu duvarların dayanım yetersizliği, yumuşak kat tipi göçme, düşük beton kalitesi ve donatı korozyonundan kaynaklandığını ortaya çıkarmışlardır [24].

Erbaş ve diğ. (2025) saha çalışması sırasında, yetersiz boyuna donatı, etriye, derinlemesine donatı ve beton kalitesi, kolon-kiriş birleşim bölgesindeki tasarım hataları, yapı-zemin etkileşimlerinin göz ardı edilmesi, kısa kolonlar, burulma düzensizliği ve yumuşak katların betonarme binaların ağır hasar görmesine veya yıkılmasına neden olan ana faktörler olduğu tespit etmişler. Betonarme yapılarda meydana gelen hasarların temel nedenleri incelendikten sonra, gelecekte meydana gelmesi muhtemel depremlerde betonarme yapıların hizmetlerini sürdürebilmeleri için alınması gereken önlemler ve uygulamaları tartışmışlardır [25].

Çelebi ve ark. (2024) çalışmalarında, betonarme çerçeveli binaların sismik performansını incelemişlerdir. Bu kapsamda, nervürlü döşemeye sahip 6 katlı bir betonarme binanın, 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremlerinden elde edilen kayıtlar kullanılarak sonlu elemanlar yöntemiyle yapısal analizi yapılmış ve elde edilen sonuçlar, geleneksel döşeme sistemine sahip benzer bir yapı ile karşılaştırılmıştır. Çalışma alanı olarak depremden yoğun şekilde etkilenen Gaziantep'in İslahiye ilçesi seçilmiştir.

Analizler sonucunda, nervürlü döşemeye sahip yapıların titreşim periyotlarının, döşeme sistemindeki daha düşük düzlem içi rijitlik nedeniyle, geleneksel döşeme sistemlerine kıyasla daha uzun olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, nervürlü döşemelerin özellikle yumuşak katlı binalarda ikinci mertebe etkilerini (P-Δ etkileri) artırarak göçme riskini yükselttiği tespit edilmiştir. Çalışmada, depremler sırasında kaydedilen yüksek düşey ivmelerin yatay ivmelere benzer büyüklükte atalet kuvvetleri oluşturduğu ve bu kuvvetlerin nervürlü döşemelerde doğrudan kolonlara aktarıldığı vurgulanmıştır. Bu durum, geleneksel kiriş-levha sistemlerine kıyasla birinci katta daha belirgin ikinci mertebe etkilerine ve yumuşak kat mekanizmalarına yol açmaktadır. Sonuç olarak, araştırma nervürlü döşemeli binaların yüksek sismik kırılabilirliğe sahip olduğunu, özellikle perde duvar içermeyen yapılarda göçme riskinin daha da arttığını ortaya koymuştur. Bu nedenle, söz konusu yapı tiplerinin can güvenliği açısından daha katı sismik tasarım kurallarıyla düzenlenmesi gerektiği vurgulanmıştır [26].

Yukarıda özetlenen tüm çalışmalar genel itibarıyla yürürlükten kalkmış ve yürürlükteki deprem yönetmeliklerinin sahadaki uygulamalarını eleştirel bir tarzda ele alarak sayısal çalışmanın önemine vurgu yapmaktadır. Bu kapsamda TBDY 2018 ile ilgili sayısal çalışmalar incelendiğinde ise Onat ve diğ. (2018) çalışmasında güçlendirme amaçlı eklenmiş perde duvarların çekme donatısı oranı ve beton dayanımına göre değişimini araştırmışlar [27]. Ayrıca Onat ve Yön (2021) TBDY 2018 ile DBYYHY 2007'yi bina hasarları açısından değerlendirmişlerdir ve TBDY 2018 için yeni göreceli kat ötelenmesi sınırları önerisinde

bulunmuşlardır [28]. Onat ve Yön (2021) orta ve yüksek katlı yapıların beton dayanımı ve kirişlerdeki çekme donatısı oranı açısından değerlendirmiş olup, kırılgenlik eğrileri üzerinden ifade etmişler [29].

1.1 Tezin Amacı

Bu tezin amacı, 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş-Pazarcık ve Elbistan merkezli meydana gelen 7,7 ve 7,6 büyüklüğündeki depremlerde Malatya'nın Yeşilyurt ilçesinde hasarlı 30 yıllık bir yapının kullanım ömrünün güçlendirme yöntemleriyle uzatılması durumunda, 6 Şubat Kahramanmaraşlı depremlerden elde edilen sismik kayıtlar ile sınıandığında, mevcut yönetmelikte ön görülen performans sınırlarını sağlayıp sağlamayacağı amaçlanmaktadır. Bu kapsamda farklı güçlendirme alternatifleri denenmiş, önce doğrusal olmayan statik itme analizi yapılmış olup, daha sonra da seçilmiş dört kayıt ile doğrusal olmayan dinamik analiz yapılmıştır. Bu analiz sonuçları TBDY 2018'deki sınırlar ile kıyaslanmıştır. Ayrıca güçlendirme yöntemlerinde perde başlığı ve mantolamanın standart altı bir yapıya yapacağı katkı değerlendirilmiştir.

2. İNCELENEN YAPI

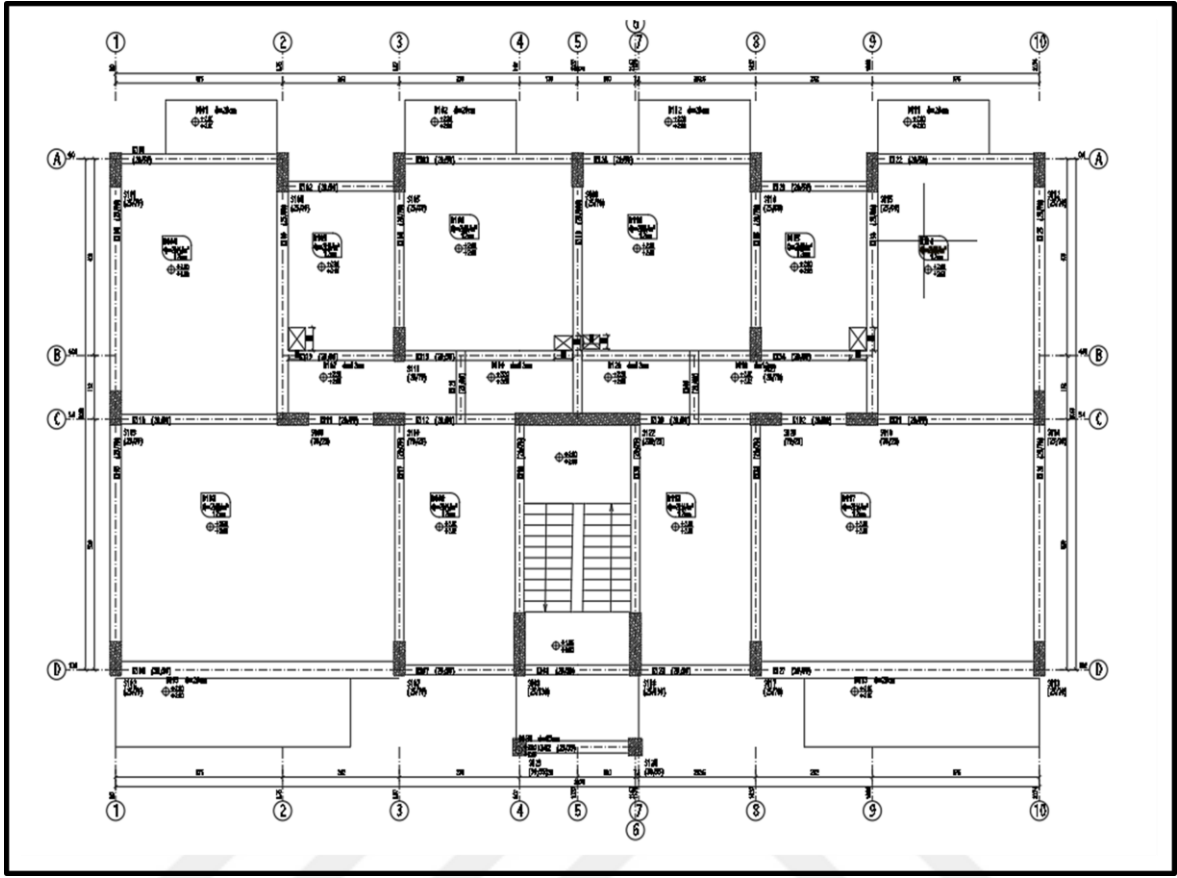
2.1 Fiziksel ve Tasarım Özellikleri

Yapı bodrumsuz, Zemin + 4 normal kattan oluşmaktadır (Şekil 2.1). Yapı Betonarme çerçeve olup sadece 1 adet perde bulunmaktadır.



Şekil 2.1: Binanın a) önden ve b) yandan görünüşü

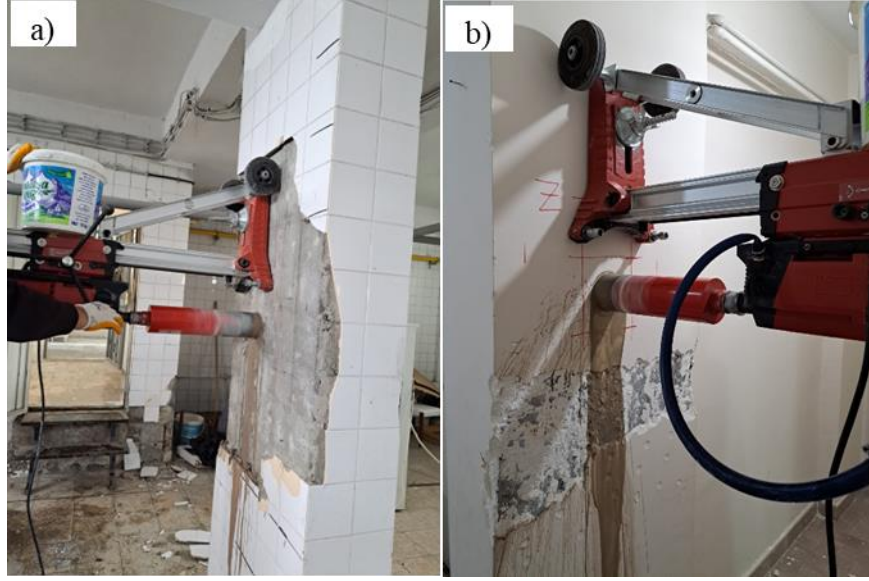
Toplamda 9 adet iskân amaçlı daire ve bir adet de kazan dairesi bulunmaktadır. Yapının temeli, bağ kirişler ile bağlanmış tekil temelden oluşmuştur. Yapının toplam oturum alanını belirleyen ölçüler 21.0mx10.85m'dir. Yapı oturum alanı 227.85 m² olarak hesaplanmıştır. Yapı betonarme çerçeveden oluşmakla birlikte 21 adet kolon ve 1 adet de perde duvar bulunmaktadır. Kolonlar çoğunlukla iki doğrultuda ve birbirine kirişler ile bağlanmıştır. Saplama kirişlerin de olduğu yerinde yapılan incelemelerde görülmüştür. Katlarda kirişlere mesnetli 12 cm plak döşeme kullanılmıştır. Kolon ebatlarının yapılan röleve çalışmasında 25cmx80cm, 25cmx70cm ve 25cmx130cm olduğu belirlenmiştir. Perde duvarın ise ebatlarının 25cmx280cm olduğu belirlenmiştir. Ayrıca giriş kapısının etrafında yer alan ve birbirine kiriş ile bağlanan iki adet kolon olduğu ve bunların ebatlarının da 30cmx35cm olduğu belirlenmiştir. Farklı ebatlarda kirişlerin olduğu ve bunların ölçülerinin 20cmx50cm, 20cmx60cm, 20cmx70cm, 20cmx100cm ve 35cmx50cm. Röleve çalışması sonrası yapının zemin kat kalıp planı Şekil 2.2'de olduğu gibidir.



Şekil 2.2: Zemin kat kalıp planı.

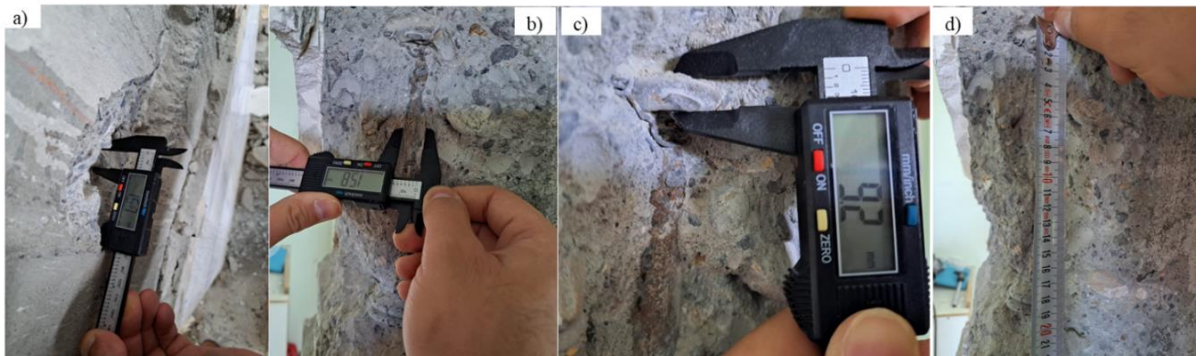
2.2 Malzeme Özellikleri

Yapının malzeme kalitesinin belirlenmesi amacıyla, TBDY 2018 [30] madde 15'te vurgulanan TS EN 12504-1 [31] standardı uyarınca karot alınma işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda binanın rölevesi çıkarılmadan önce mimari projesi üzerinden her bir kattaki yaklaşık beton miktarının 52m^3 olarak hesaplaması yapılmıştır. Binanın her bir 30m^3 'lük bölümünü 1 adet karotun temsil etmesi adına toplamda 9 adet çap/boy oranı 1 olan karotun alınması gerektiği hesaplanmış ve çalışma yapılmıştır. Karotların 3 adedi zemin kattan, 3 adedi 1. kattan ve son 3 adedi ise 4. kattan alınmıştır. Alınan karotlara laboratuvar ortamında başlıklama yapılmış ve daha sonra kırım yine yukarıda anılan karot standardı uyarınca yapılmıştır. Karot alım çalışmalarına ait görseller Şekil 2.3'te yer almaktadır.



Şekil 2.3:Karot alım işlemi

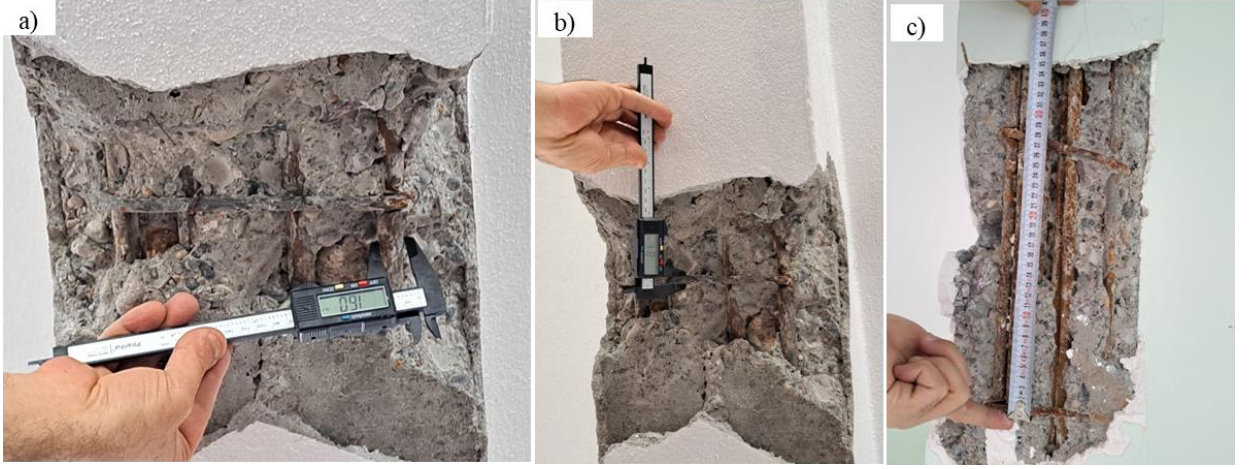
TBDY 2018 [30] 15.2.4.2 maddesi kapsamında, mevcut binaların taşıyıcı sistem elemanlarının kapasitelerinin belirlenmesi ve deprem dayanımlarının hesaplanmasında, her katta en az birer adet olmak üzere perde ve kolonların %5'inin, 1 elemana karşılık gelmekte, beton örtüsü sıyrılarak donatı tespiti yapılmıştır. Donatı tespiti amacıyla her kattan bir adet kirişin de beton örtüsü sıyrılmıştır. Sıyırma işlemi kolonların ve kirişlerin uzunluğunun açıklık ortasındaki üçte birlik bölümünde yapılmıştır. Ayrıca beton örtüsü sıyrılmayan perde ve kolonların %20'sinde, 2 tane elemanda, enine ve boyuna donatı sayısı ve yerleşimi donatı tespit cihazları ile belirlenmiştir. Farklı kattaki kolonlara ait sıyırma ve donatı çapı ölçüm çalışmalarına ait görseller Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



Şekil 2.4: Kolonlara ait sıyırma ve donatı çapı ölçüm işlemleri

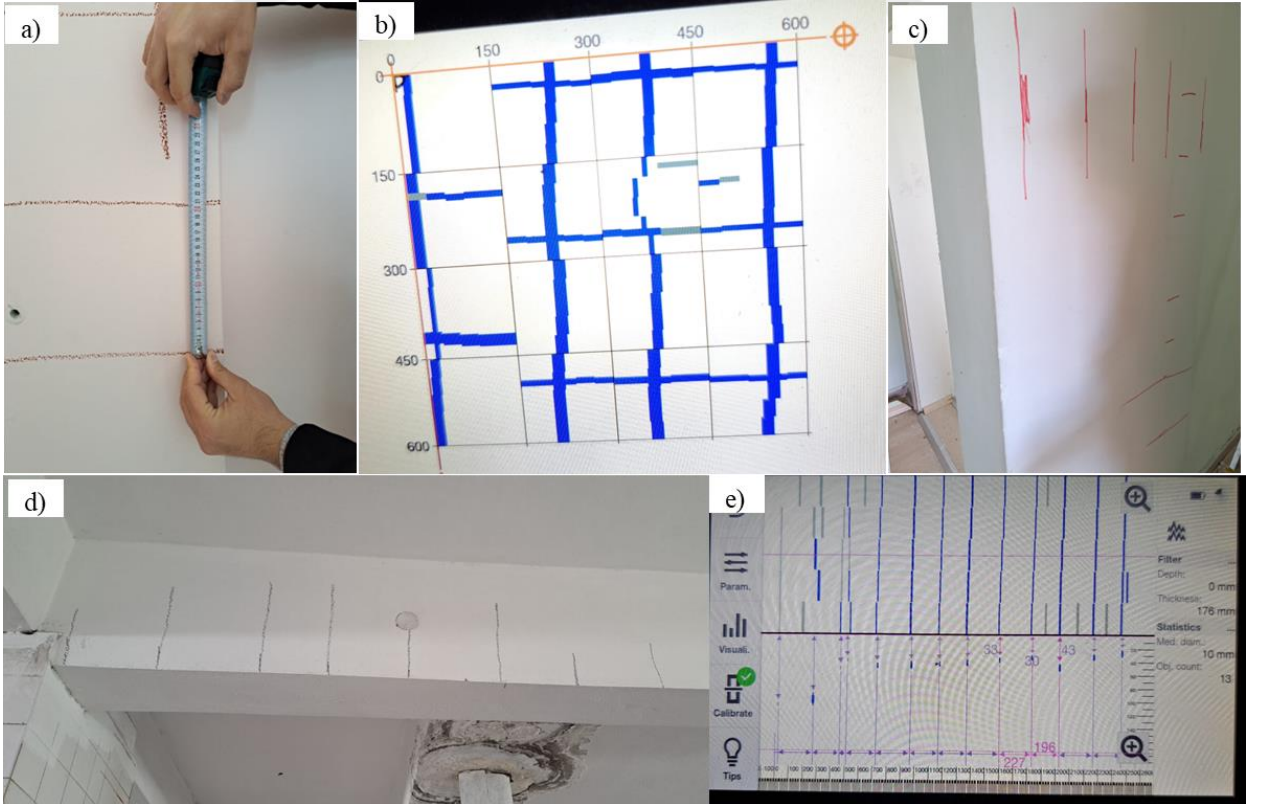
Kolonlarda 16mm çapında boyuna ve 10 mm çapında enine demirler kullanılmıştır. Boyuna donatıların çapı korozyon sebebiyle 15.8mm, 15.3mm olarak okunsa da 16.0 mm olarak okunan bölgeler de mevcuttur. Enine donatılar ise bazı bölgelerde 9.2mm, bazı

bölgelerde ise 9.1mm olarak kumpas ile okunmuştur. Kirişlere ait sıyırma ve kumpas ile donatı çapı ölçüm işlemleri ise Şekil 2.5’de gösterilmiştir.



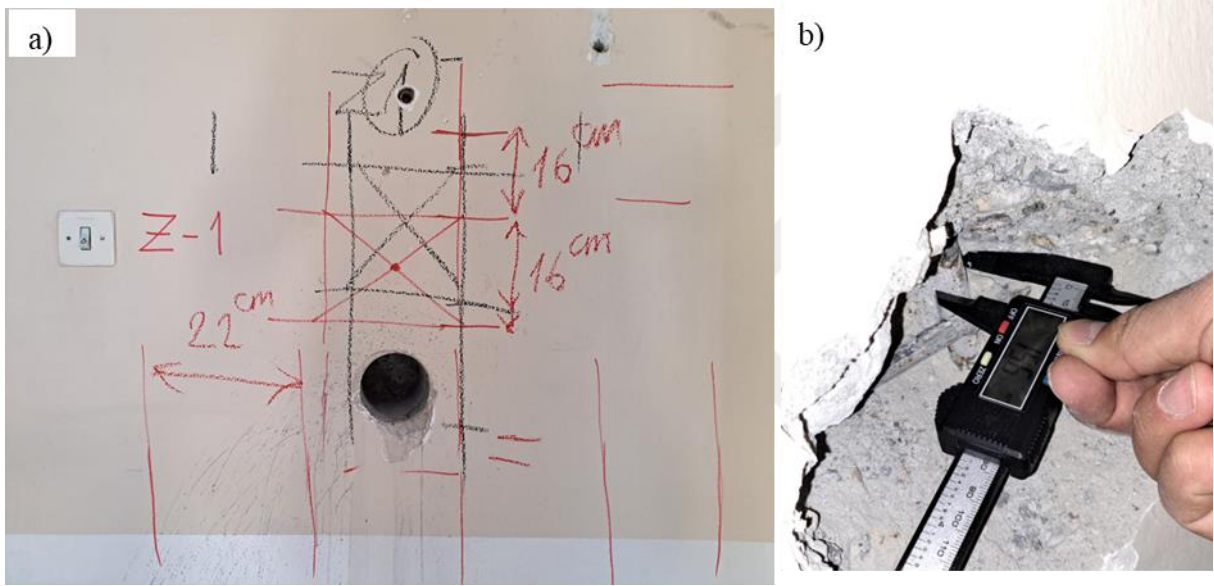
Şekil 2.5: Kirişlere ait sıyırma ve donatı çapı ölçüm işlemleri

Kolon ve kirişlerde her katta toplam eleman sayısının %20’sinde, 2 tane elemanda, Hilti marka cihaz ile gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalara ait görseller de Şekil 2.6 ’da sunulmuştur.



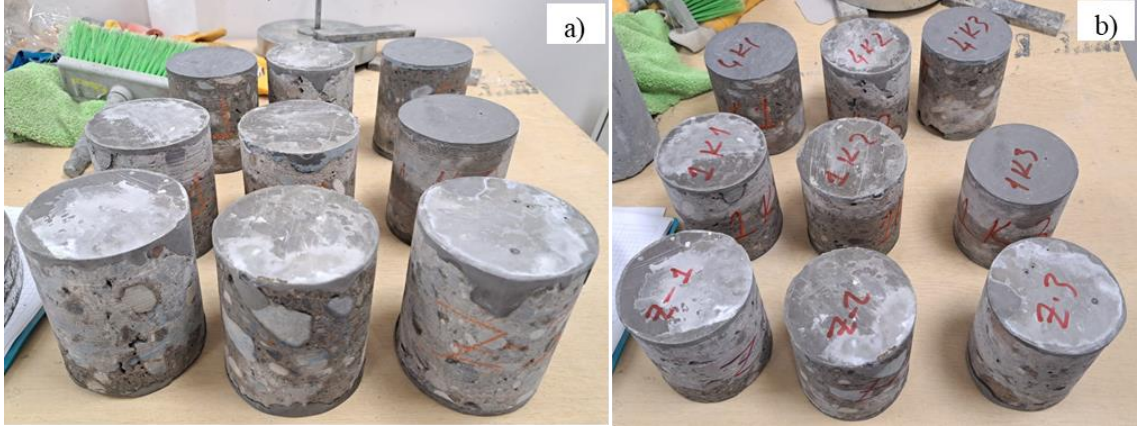
Şekil 2.6: Kolon (a-c) ve Kirişlere (d,e) donatı gerçekleştirme işlemleri

Kirişlerde iki farklı donatı çapı kullanılmıştır. Bu donatılardan kesitin kenarlarına doğru olan donatılar 16 mm çapında, kesitin iç tarafına doğru olanlar ise 14 mm çapındadır. Kesitin içinde kullanılan 14mm çapındaki donatılar pilye olarak kullanılmıştır. Yapılan çalışmada kirişlerde ve kolonlarda etriye sıklaştırmasına rastlanılmamıştır. Kirişlerde etriyelerin 25cm arayla, kolonlarda ise etriyelerin 20 cm arayla yerleştirildiği belirlenmiştir. Hatta bu oran kirişlerde bazı bölgelerde 28 cm'ye kadar çıktığı Şekil 2.6.a görülmüştür. Binadaki tek betonarme perdede ise başlık bölgeleri oluşturulmadığı, boyuna donatıların 22 cm arayla ve enine donatıların ise 16 cm arayla yerleştirildiği tespit edilmiştir (Şekil 2.7).



Şekil 2.7: Perde duvar donatı gerçekleştirilmesi ve sıyırma işlemi

Anılan yapı üzerinden TS EN12504-1 [31]'e göre alınan 9 adet karot numunesi, İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği laboratuvarına getirilmiş ve başlıklama yapılmıştır. Başlıklama yapılmış karot numuneleri Şekil 2.8'de gösterilmektedir.



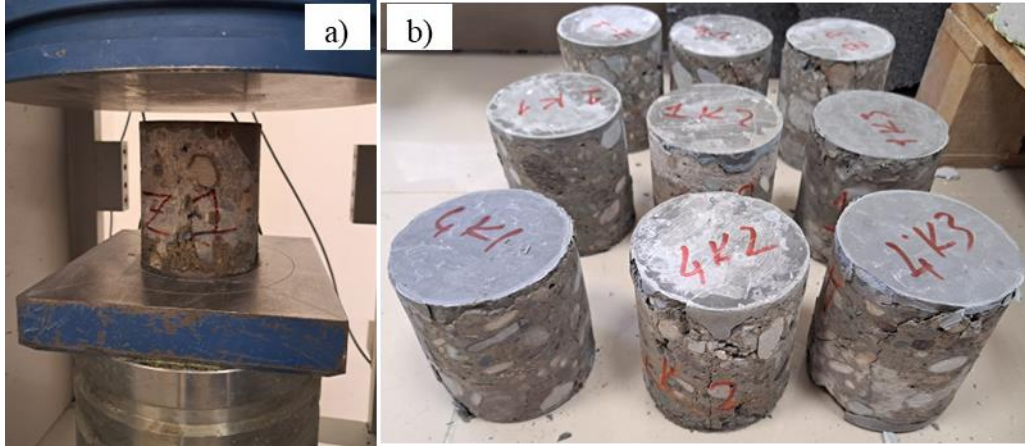
Şekil 2.8: Deney öncesi başlıklama yapılmış karot numuneleri

Başlıklanmış olan numuneler, TS EN12504-1 [31]'e göre eksenel basınç deneyine tabi tutulmuş olup, sonuçları Çizelge 2.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1: Karot sonuçları ve istatistiksel hesapları

Numune No	ZK1	ZK2	ZK3	1K1	1K2	1K3	4K1	4K2	4K3	Ortalama	Standart Sapma
Dayanım (MPa)	7.4	8.8	7.3	16.6	13.5	9.1	6.2	9.7	8.1	9.63	3.15

Eksenel basınç dayanım deneyi esnasında ve sonrasında numunelerdeki çatlaklara ait görüntüler Şekil 2.9'da gösterilmiştir.



Şekil 2.9: Deney a) esnasında ve b) sonrasına ait görseller

Çizelge 2.1'den de görüldüğü gibi azami 16.6 MPa, asgari 6.2 MPa arasında değişen değer elde edilmiştir. Karakteristik dayanımın hesabında, TBDY 2018 [30] bölüm 15 madde 15.2.4.3'te yer alan "Karot örneklerinden elde edilen ortalama değerden standart sapma çıkarılarak elde edilen değer (f_{ck1}) değeri ile ortalamanın 0.85 ile çarpılmasından elde edilen değer (f_{ck2}) kıyaslanır ve arasından büyük olanı mevcut beton dayanımı olarak

alınacaktır.” ifadesi göz önüne alınarak karot sonuçları değerlendirilmiştir. Fakat, yukarıda anılan maddede yer alan “Bir grup beton örneğine ait deney sonuçları arasında en küçük değer ile geriye kalan sonuçların ortalaması arasındaki farkın değerlendirilmesi ile en küçük değer in istatistiki olarak sapan bir sonuç olup olmadığı kontrol edilecektir. Bu amaçla, gruptaki numune sonuçlarının değerlendirilmesinde, en düşük tek değer, geriye kalan diğer sonuçların ortalamasının %75’inden daha düşük ise bu numune değerlendirmeye alınmaz.” ifadesi göz önüne alınarak karot sonuçları Çizelge 2.2’de tekrar değerlendirilmiştir.

Çizelge 2.2: Karot sonuçlarının tekrar değerlendirilmesi ve istatistiksel hesapları

Numune No	Z1	Z2	Z3	1K1	1K2	1K3	4K2	4K3	Ortalama (f_{cort})	Standart Sapma (δ)
Dayanım (MPa)	7.4	8.8	7.3	16.6	13.5	9.1	9.7	8.1	10.06	3.08

İkinci değerlendirme yapılırken 4. Kata ait 1 nolu numune çıkarılarak kalan 8 karot sonucunun ortalaması tekrar hesaplanmıştır. Hesaplanan ortalama değer 10,06 MPa olarak bulunmuştur. Bulunan bu değer in %75’i, 7,55 MPa olarak hesaplanmıştır. Bu değer in altında kalan tek değer olan 4. Kata ait 1 nolu numune sonucu, 6,2 MPa, değerlendirmeye dahil edilmemiştir. Sayısal modelde kullanılacak olan karakteristik dayanım için iki farklı denkleme göre (Denklem 2.1 ve 2.2) hesaplamalar aşağıda verilmiştir.

$$f_{ck1}=0,85*f_{c,ort}=0,85*10,06=8,55\text{MPa} \quad (2.1)$$

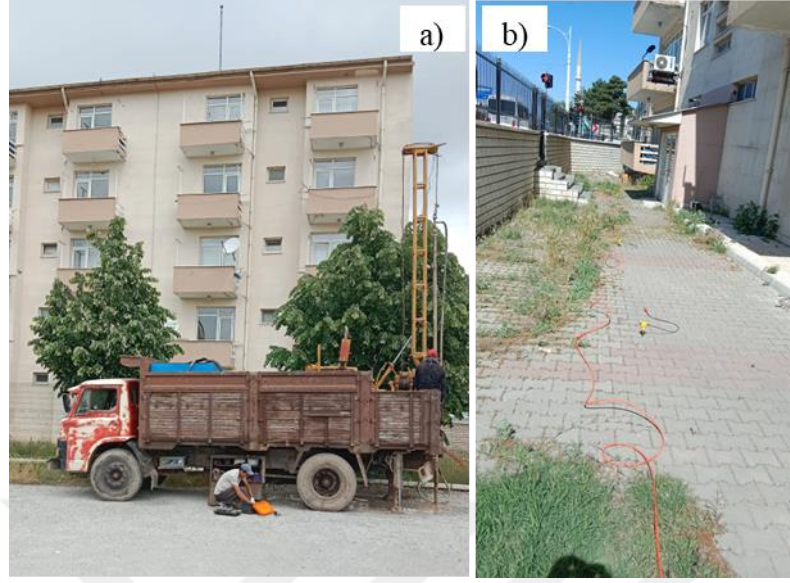
$$f_{ck2}=f_{c,ort} - \delta =10,06-3,08=6,98\text{MPa} \quad (2.2)$$

TBDY 2018 [30] 15. Bölüm 15.2.4.3’te yer alan maddeye göre denklem 2.1 ve 2.2’den hesaplanan değerden büyük olanı, **8,55 MPa**, karakteristik dayanım olarak göz önüne alınmıştır. Demir donatılar ile ilgili sınırlı bilgi düzeyinde herhangi bir test yapılması istenmemekle birlikte, donatıların düz olmasından dolayı yazılıma **S220** olarak veri girişi yapılmıştır.

2.3 Zemin Özellikleri

İncelenen yapının zemin etüdü kaynakçada yer alan rapordan elde edilmiş olup [32], TBDY 2018 Bölüm 16’da kriterleri belirlenmiş olan detaylı zemin etüdü yapılmıştır. Bu kapsamda hem 30 m derinliğe kadar sondaj yapılmış, hem de Standard Penetrasyon Testi (SPT) yapılmıştır. Sondajdan elde edilen numuneler ile laboratuvar ortamında ise Atterberg limitleri, elek analizi, direkt kesme, konsolidasyon deneyi, su muhtevası ve

nokta yükleme deneyleri yapılmıştır. Ayrıca jeofizik etüt çalışmaları da yaptırılmıştır. Bu çalışmalar Şekil 2.10’da görülmektedir.



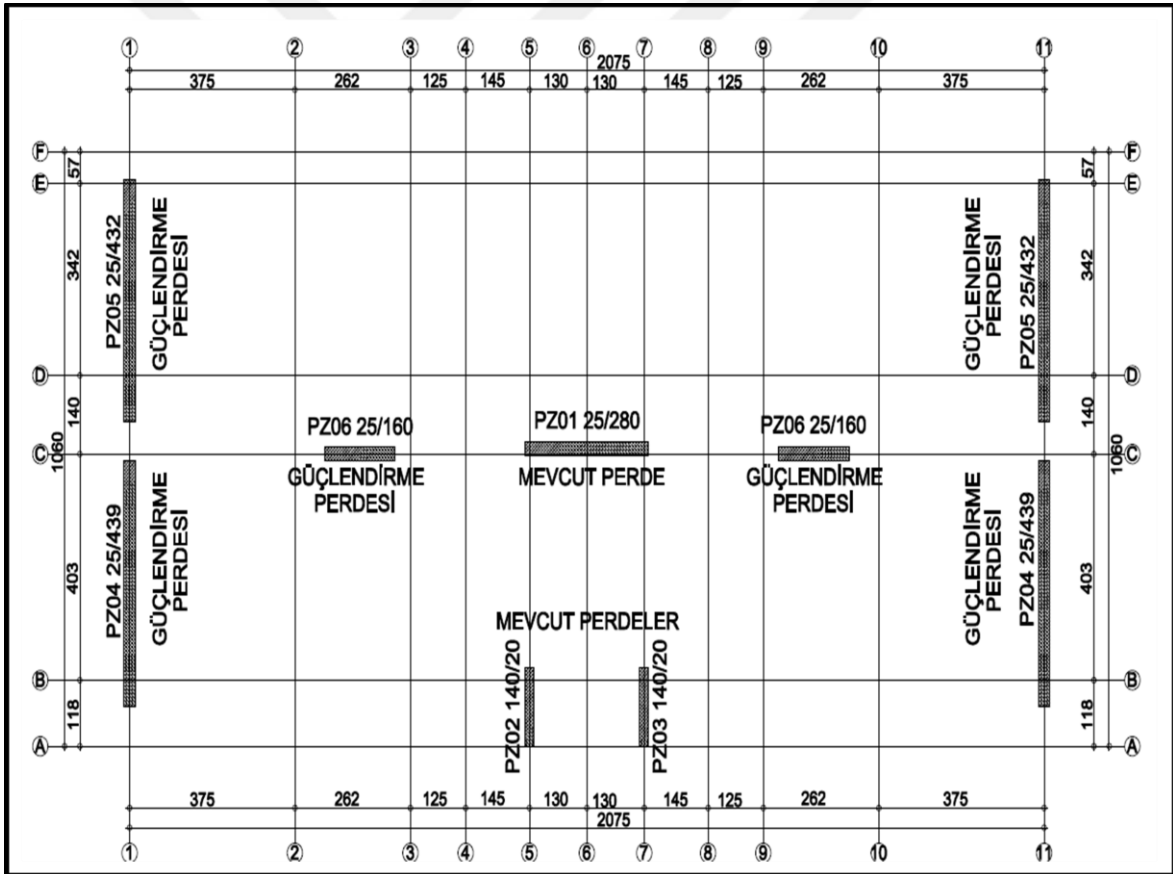
Şekil 2.10: Zemin etüt çalışmaları a) sondaj, b) jeofizik [32]

Bu çalışmalar neticesinde sondaj derinliği boyunca yer altı su seviyesine rastlanılmadığı belirtilmiş olup, 0,00-1,00 m arasında dolgu, 1,00-12,00m arasında yamaç molozu, 12,00 – 30,00 m arasında Beylerderesi formasyonuna ait kötü derecede pekişmiş, kil, silis, çimentolu kum, dayanımı yüksek, tane çapları 3,00-4,00cm arasında değişmekte olan genelde beyazımsı gri renkte konglomera birimi gözlenlendiği raporda belirtilmiştir. V_{S30} değerleri 712 ve 740 m/sn (ortalama 726 m/sn) olarak elde edilmiş. Kayma modülü değerleri 9506 ve 10293 kg/cm² (ortalama 9899,5 kg/cm²), Bulk modülü değerleri 18510 ve 18999kg/cm² (ortalama 18754,5kg/cm²), Elastisite modülü değerleri 24351 ve 26156 kg/cm² (ortalama 25253,5kg/cm²), Dinamik Yatak Katsayısı değerleri ise 5318-5549 (ortalama 5433.5) t/m³ olarak hesaplanmıştır. Zemin taşıma gücü 29,39 kg/m³ olarak hesaplanmıştır. Yapılan sismik ölçümler sonrası ise T_A ve T_B değerleri 0,19 ve 0,42 olarak hesaplanmış. Yapılan zemin etüt çalışmaları sonrası anılan bölgenin zemin çeşidi TBDY 2018’e göre ZC olarak sınıflandırılmıştır [32].

3. GÜÇLENDİRME ALTERNATİFLERİ

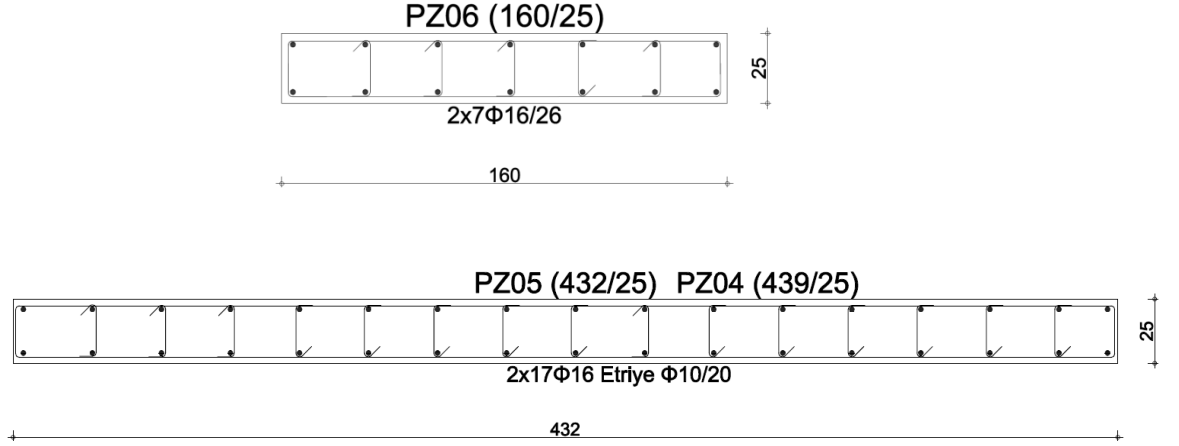
3.1 Perdeli ve Başlıksız Güçlendirme

İncelenen yapı güncel yönetmelik şartlarını sağlamadığı için güçlendirme alternatifleri oluşturulmuş ve bu alternatiflerin başında Şekilde 3.1 görüldüğü gibi kısa doğrultuda yapının her iki yan duvarlarında 1 ve 11 nolu aksalarda bulunan sırasıyla B-C ile D-E aksları arasına (25/439 ve 25/432) perde duvarın taxsazarlandığı, uzun doğrultuda ise, sadece C aksında bulunan 2-3 ve 9-10 aksları arasında 25/160 ölçülerinde iki adet perde duvarı tasarlanmıştır.



Şekil 3.1: Güçlendirme perdelerinin yerleştirildiği bölgeler.

Bu tasarlanan perdelerin detayları ise Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2: Güçlendirme perdeleri uzun ve kısa doğrultu için.

Bu güçlendirme alternatifinde perdelerin uç bölgelerinde başlık oluşturulmamıştır.

3.2 Perdeleri ve Başlıklı Güçlendirme

Bu güçlendirme modeli alternatifinde ise kısa doğrultuda ve uzun doğrultuda Bölüm 3.1’de yerleştirilen güçlendirme perdeleri için başlık oluşturulmuş ve oluşturulmuş olan bu başlıklar Bölüm 3.2.1 ve Bölüm 3.2.2 verilen adımlarla hesaplanmıştır.

3.2.1. Kısa Doğrultulu Uzun Perde Başlıkları Hesabı

Perde başlıkları için tasarım yapılmadan önce kritik perde yüksekliği hesabı yapılmıştır. Kritik perde yüksekliği hesabı için Denklem 3.1’deki formül kullanılmıştır.

$$H_{cr} \geq \left\{ \begin{array}{l} L_w = 4,39m \\ \frac{H_w}{6} = \frac{15,5}{6} = 2,58m \end{array} \right\} \quad (3.1)$$

Perde başlıkları kritik perde yüksekliği (H_{cr})boyunca Denklem 3.2’deki gibi hesaplanmıştır. Hesaplanan değerlerden büyük olanı perde başlık uzunluğu olarak göz önüne alınmıştır.

$$L_u = \left\{ \begin{array}{l} 2b_w = 0,25 * 2 = 0,5 m \\ 0,2 * L_w = 0,2 * 4,39 = 0,878 m \end{array} \right\} \quad (3.2)$$

Perde başlıkları, H_{cr} dışında ise Denklem 3.3’teki gibi hesaplanmıştır. Hesaplanan değerlerden büyük olanı kritik perde yüksekliği dışında perde başlık uzunluğu olarak gözönüne alınmıştır.

$$L_u \geq \left\{ \begin{array}{l} b_w = 0,25 m \\ 0,1 * L_w = 0,1 * 4,39 = 0,439 m \end{array} \right\} \quad (3.3)$$

H_{cr} ve H_{cr} dışında perde uç bölgeleri hesaplandıktan sonra, başlık bölgelerinde donatı miktarının belirlenmesi amacıyla Denklem 3.4 ve 3.5 kullanılmıştır.

H_{cr} boyunca;

$$\geq \left\{ \begin{array}{l} 4 * \emptyset 14 = 615,75 \text{ mm}^2 \\ 0,002 * b_w * L_w = 0,002 * 250 * 4390 = 2195 \text{ mm}^2 \end{array} \right\} \quad (3.4)$$

H_{cr} dışında;

$$\geq \left\{ \begin{array}{l} 4 * \emptyset 14 = 615,75 \text{ mm}^2 \\ 0,001 * b_w * L_w = 0,001 * 250 * 4390 = 1097,5 \text{ mm}^2 \end{array} \right\} \quad (3.5)$$

3.2.2. Uzun doğrultulu kısa perde başlıkları hesabı

Bu alt bölümde ise H_{cr} ve H_{cr} dışında uzun doğrultuda kısa perdeleri için başlık bölgelerinin uzunlukları Denklem 3.6 ve 3.7 kullanılarak hesaplanmıştır.

H_{cr} boyunca;

$$L_u \geq \left\{ \begin{array}{l} 2 * b_w = 2 * 0,25 = 0,5 \text{ m} \\ 0,2 * L_w = 0,2 * 1,6 \text{ m} = 0,32 \text{ m} \end{array} \right\} \quad (3.6)$$

H_{cr} dışında;

$$L_u \geq \left\{ \begin{array}{l} b_w = 0,25 \text{ m} \\ 0,1 * L_w = 0,1 * 1,6 \text{ m} = 0,16 \text{ m} \end{array} \right\} \quad (3.7)$$

Perde uç bölgesi düşey donatıları ise Denklem 3.8 ve 3.9’da gösterildiği gibi hesaplanmış ve hesaplanan iki değerden büyük olanı seçilmiştir.

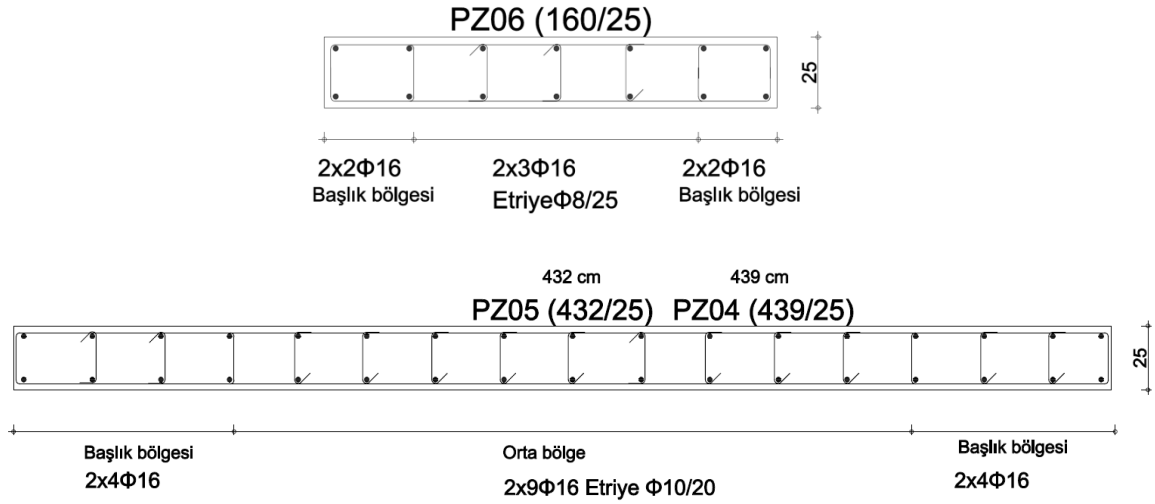
H_{cr} boyunca;

$$\geq \left\{ \begin{array}{l} 4 * \emptyset 14 = 615,75 \text{ mm}^2 \\ 0,002 * b_w * L_w = 0,002 * 250 * 1600 = 800 \text{ mm}^2 \end{array} \right\} \quad (3.8)$$

H_{cr} dışında;

$$\geq \left\{ \begin{array}{l} 4 * \emptyset 14 = 615,75 \text{ mm}^2 \\ 0,001 * b_w * L_w = 0,001 * 250 * 1600 = 400 \text{ mm}^2 \end{array} \right\} \quad (3.9)$$

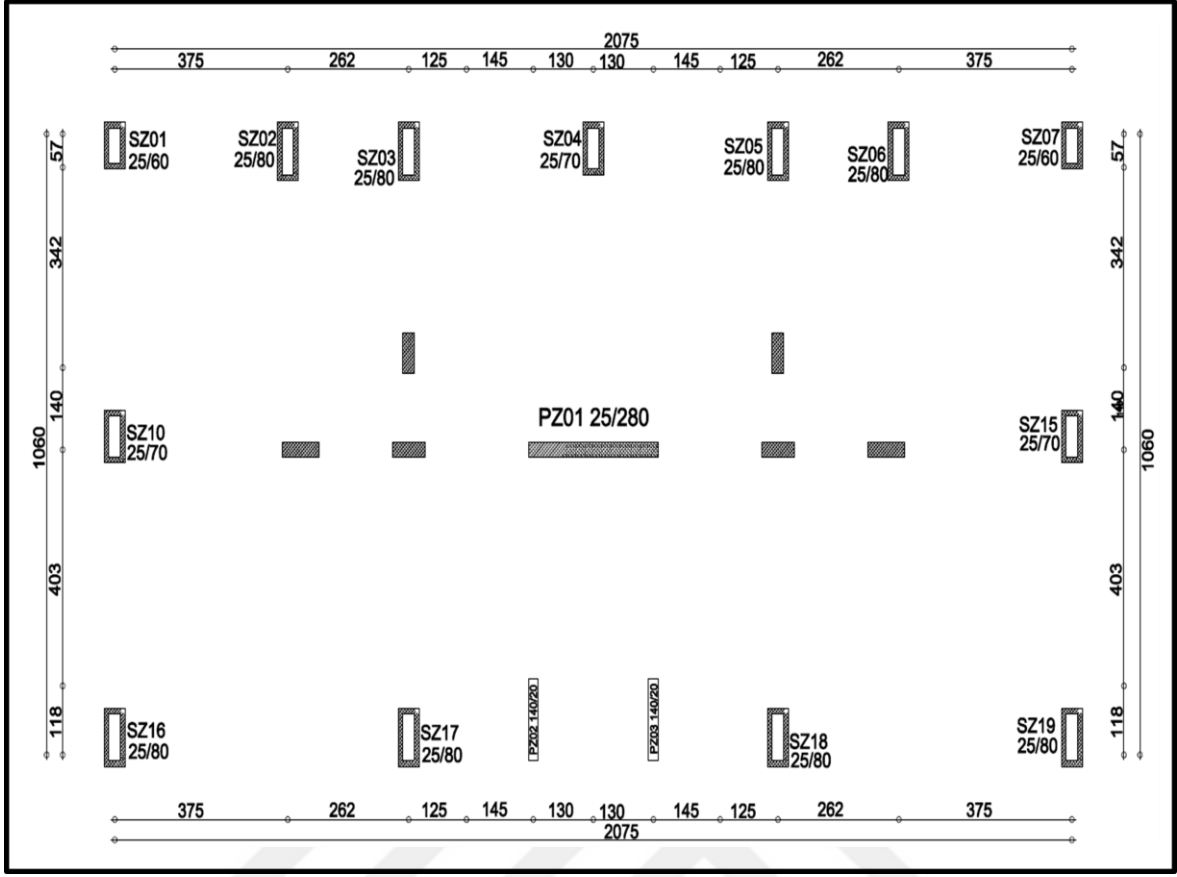
Perde başlıklarının kısa ve uzun doğrultuda perdelerde tasarımda göz önüne alınmış hali Şekil 3.3’te gösterilmiştir.



Şekil 3.3: Güçlendirme perdelerinin başlıkları uzun ve kısa perdeler için.

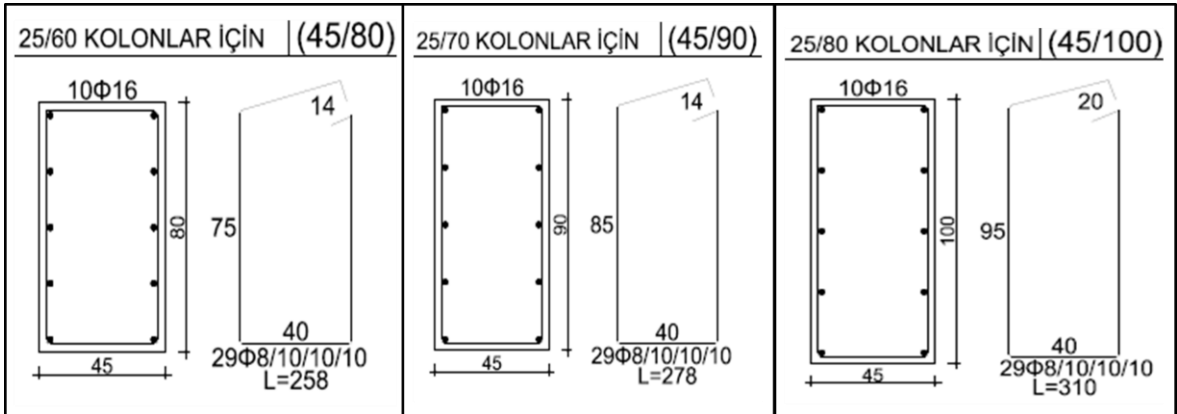
3.3 Kolonların Mantolama Yoluyla Güçlendirme

Bu güçlendirme alternatifinde dış kolonlar mantolanmıştır. Toplamda 13 adet kolona mantolama uygulanmıştır. Dış kolonların tercih edilmesinin temel nedenleri; ekonomik açıdan daha düşük maliyetli olması, yapının iç mekânlarında bulunan eşyaların zarar görmesini önlemesi ve güçlendirme sürecinde taşınma gereksinimini ortadan kaldırmasıdır. Bu nedenlerle, yalnızca dış kolonların mantolanmasının uygun bir çözüm olduğu değerlendirilmiştir.



Şekil 3.4: Mantolanan kolonların planda görünümü.

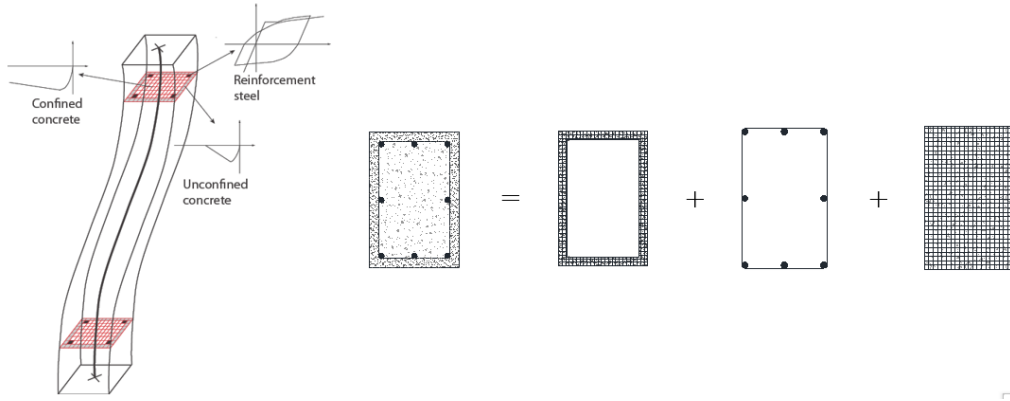
Şekil 3.4'te görüldüğü üzere kolonlarda mantolama uygulanırken manto kalınlığı 10 cm olarak seçilmiştir. Mantolama donatısı kapsamında, 16 mm çapında düz donatıdan köşelere ikişer adet, ara yüzlere ise ikişer adet yerleştirilerek toplam 10 adet boyuna donatı kullanılmıştır. Ayrıca, etriyeler kolonun alt ucundan üst ucuna kadar 10 cm sabit aralıklarla devam edecek şekilde düzenlenmiştir.



Şekil 3.5: Mantolanan kolonların donatısı

4. SAYISAL MODEL

Yapıların deprem etkisi altında nasıl davranacağını ve yönetmelikte yer alan malzeme modelleriyle analiz edebilmek doğru karar almak açısından önemlidir. Bu sebeple bilimsel olarak genel kabul görmüş SeismoStruct [33] yazılımından faydalanılmıştır. Bu yazılım hem doğrusal olmayan statik itme analizi hem de doğrusal olmayan dinamik hesaplar yapabilme kapasitesine sahip bir yazılımdır. Hesaplamalarının temelinde yayılı plastik mafsalları modelini göz önüne alan fiber element modeli ile modelleme yapılmıştır.

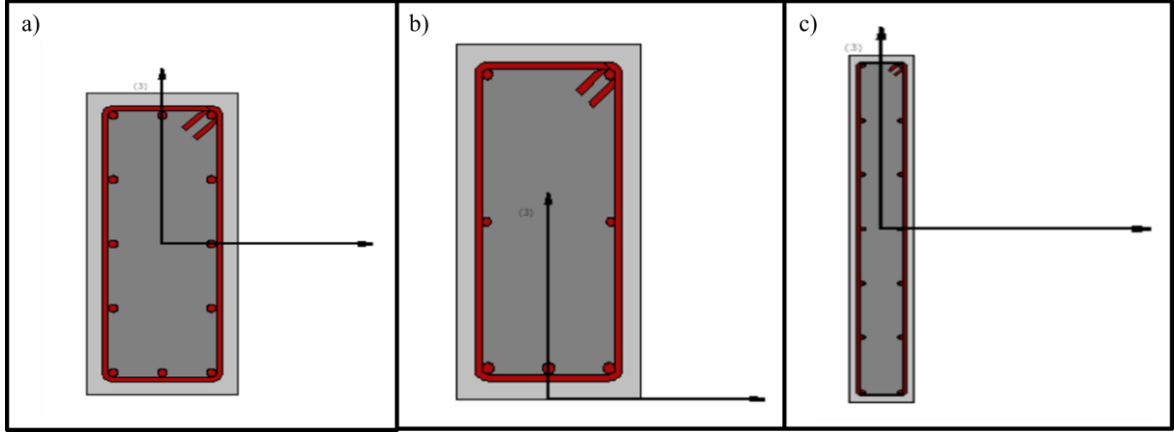


Şekil 4.1: Fiber element modeling of RC elements [33]

Yapısal sistemi modellerken aşağıda verilen modelleme adımları izlenmiştir.

- Yapı elemanları (kolon, kiriş, perde ve döşeme gibi) ve düğüm noktaları oluşturulmuştur.
- Malzeme modelleri (beton, çelik gibi) ve kesitler eklenmiş.
- Kısıtlamalar (mesnet koşulları) programa tanımlanmıştır.
- Kat kütleleri ve sönüm oranları sisteme işlenmiştir.

SeismoStruct programında tanımlanan elemanlara ait kesit modelleri, Şekil 5.4'te gösterilmektedir.

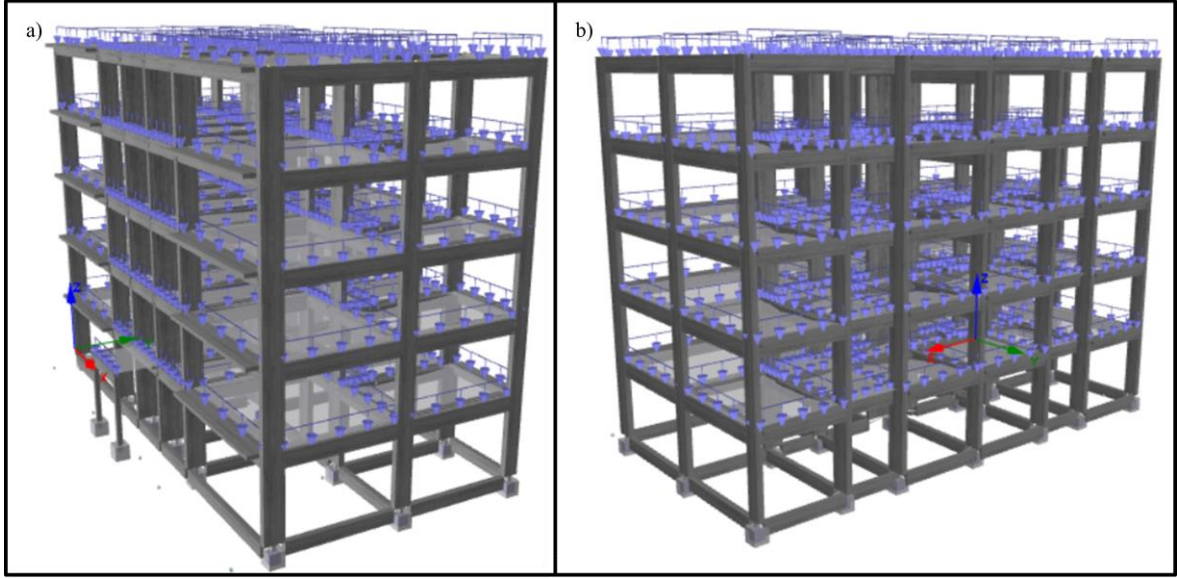


Şekil 4.2: Kolon(a), Kiriş(b) ve Perde(c)

Bu çalışmada malzeme ve kesit modellemesinde ise doğrusal ve doğrusal olmayan malzeme modelleri açısından beton için Mander beton modeli, Çelik için ise Menegotto-pinto modeli kullanılmıştır. Sırasıyla, 10 adet modu göz önüne alan modal analiz (Eigenvalue) yapılmıştır. Daha sonra hem kısa hem de uzun doğrultu için doğrusal olmayan statik itme analizi (Pushover) yapılmıştır. Hem kısa hem de uzun doğrultu için zaman tanımlı doğrusal olmayan dinamik Analiz (TimeHistory Analysis) yapılmıştır. Zaman tanım analizi için ise yapıya gerçek bir deprem ivme kaydı uygulanmıştır. Analiz sonucu ise yapının davranışı yer değiştirmeleri kontrol edilerek sonuçlar yorumlanmıştır. Zaman adımlarıyla analiz yapılırken kayıtlar 0,01 saniyelik adımlarla sisteme uygulanmıştır. Sonuçlar değerlendirilirken ise zamanla değişen deplasman, moment, eksenel kuvvet, kesme kuvveti gibi sonuçlar elde edilmiş ve kapasite eğrileri (Pushover), spektral ivme-deplasman ilişkileri gibi grafikler, kıyaslı bir şekilde çizilmiş ve yorumlanmıştır.

4.1 Yapının Mevcut Hali (M1)

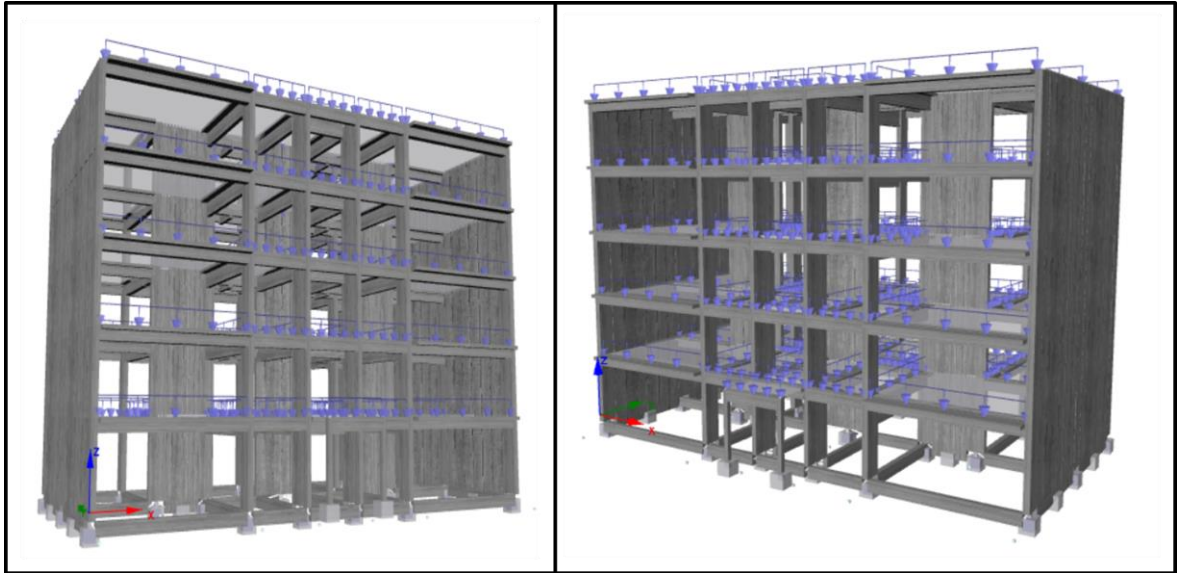
Yapısal sistemin deprem sonrasında incelemeye ilk başlandığı halinin sayısal modeli Seismobuild [33] yazılımı ile modellenmiştir. Modellenirken yapısal sistemin dolgu duvarları ölü yük olara göz önüne alınmıştır. Dış duvarlar için duvar yükü 1,6 kN/m, iç duvarlar için 2,0 kN/m olarak alınmıştır. Yapısal sistemin modellenmiş hali Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.3: Yapısal sistemin modellenmiş hali

4.2 Perdeli Başlıksız Model (M2)

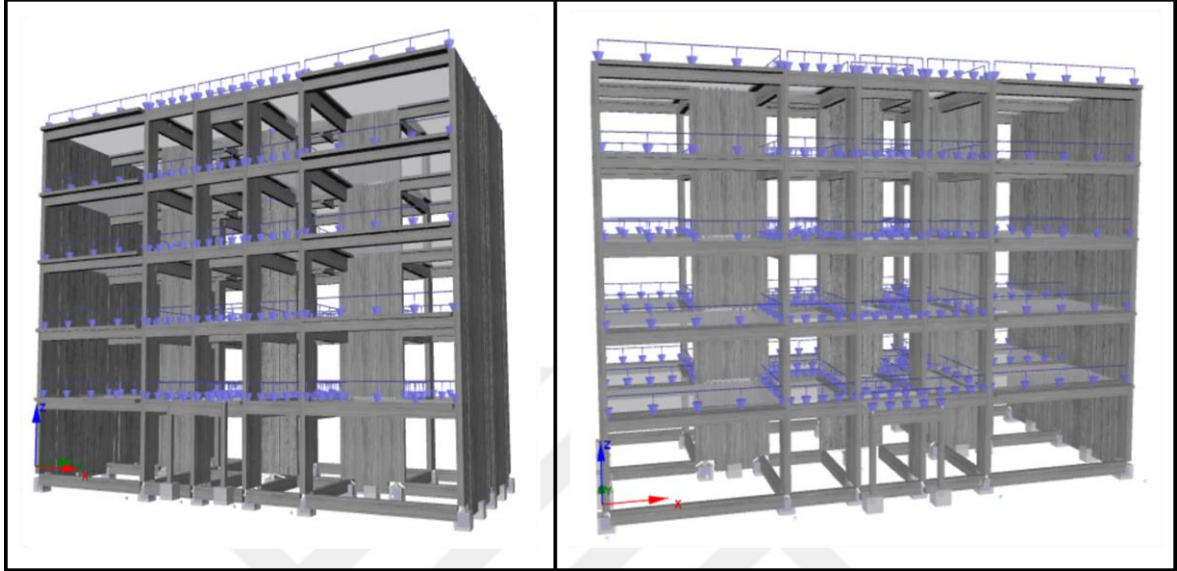
Bu modellemede de yapısal sistemin dolgu duvarları ölü yük olarak yine göz önüne alınmıştır. Yapısal sistem kısa doğrultuda (X) yönündeki dış duvarlar ile C aksı üzerinde bulunan 2-3 aksı ve 9-10 aksı arası duvarlar perdeli başlıksız güçlendirme modeli ile modelleme yapılmıştır. Yapısal sistemin modellenmiş hali Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.4:Yapısal sistemin perdeli başlıksız güçlendirmesi modeli (M2)

4.3 Perdeli Başlıklı Model (M3)

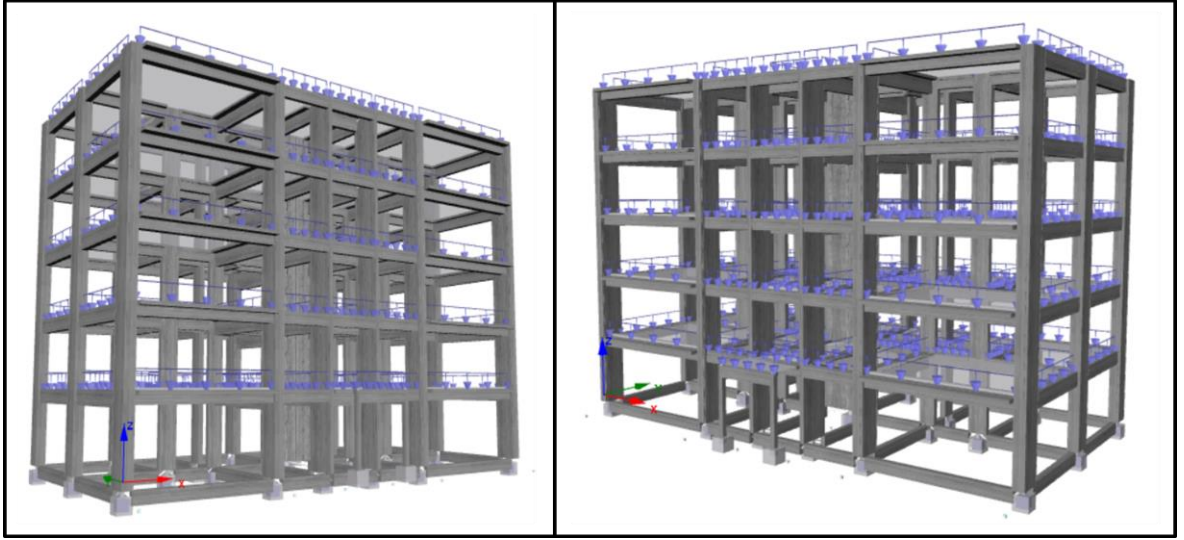
Bu sayısal modelde ise yapısal sistem, M2 ile aynı şekilde modelleme yapılmış ancak perdeler başlıklı olarak modellenmiştir. Yapısal sistemin sayısal modeli Şekil 4.3’de gösterilmiştir.



Şekil 4.5:Yapısal sistemin perdeli başlıklı güçlendirmesi modeli (M3)

4.4 Kolonları Mantolu Model (M4)

Bu yapısal sistemin modelleme yönteminde, yalnızca yapının dış çevresinde bulunan 13 adet kolon mantolanarak modellenmiştir. Bunun temel nedeni, dış kolonların mantolanmasının iç kolonlara kıyasla daha uygun maliyetli olması ve yapı içerisinde bulunan eşyalar dikkate alındığında, uygulama sürecinde ekonomik açıdan daha az masraf ve hasar oluşturmasıdır. Bu doğrultuda, yalnızca dış kolonların mantolanmasını esas alan bir güçlendirme yaklaşımı tercih edilmiştir. Mantolanan kolonlara ait model Şekil 4.4’te gösterilmektedir.



Şekil 4.6:Yapısal sistemin dış kolonları mantolama yöntemi ile modelleme.

5. MALZEME MODELLERİ

5.1 Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Malzeme Modelleri

Bu model tek eksenli, sabit sargı modeli olup ilk olarak Madas [34] tarafından Mander et al. [35] konstitütif ilişkisi baz alınarak kodlanmıştır. Tekrar kurallarıysa Martinez-Rueda ve Elnashai [36]'a aittir. Yatay sargı donatısı tarafından sabit bir sargı etkisi sağlanır ve Mander ve diğ. [35]'de belirlenen kurallara göre hesaplanan bu gerilmenin bütün gerilme-birim şekil değiştirme boyunca aynı olduğu kabul edilir. Bu modeli tanımlayabilmek için beş parametreye ihtiyaç vardır.

Çizelge 5.1: Mander doğrusal olmayan beton modeli

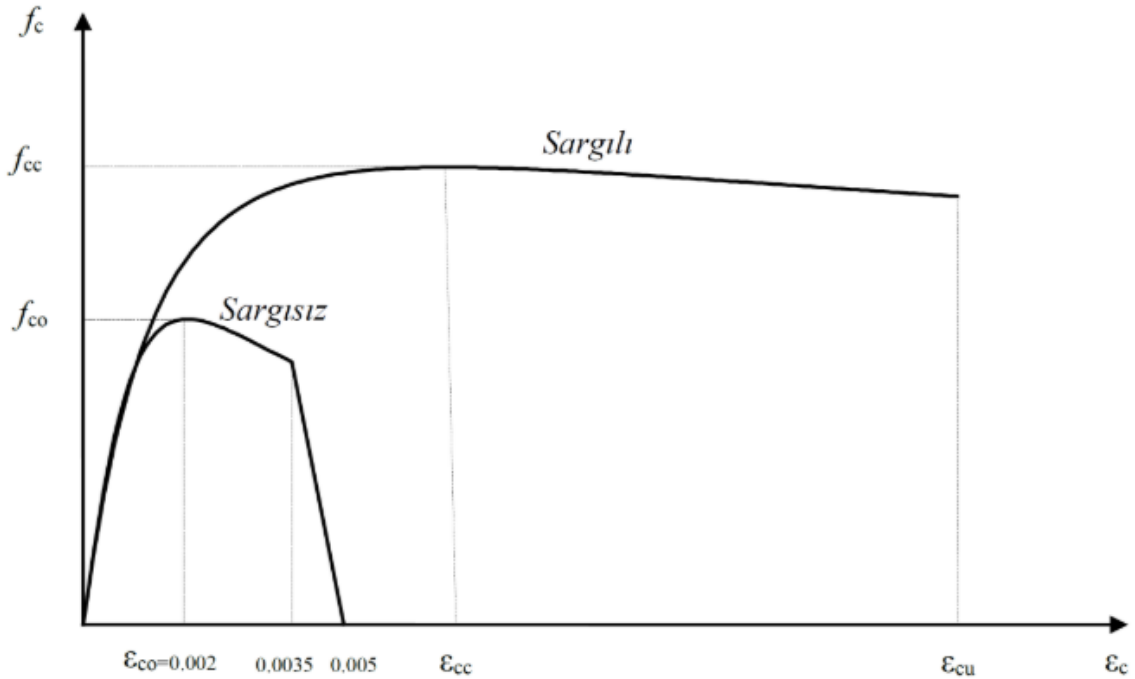
Malzeme Özellikleri	Tipik Değerler	Varsayılan Değerler
Ortalama Basınç Mukaveti- f_c	15-45(MPa)	8,55-25,0(MPa)
Ortalama Çekme Mukaveti- f_t	2-3(MPa)	0,85-2,5 (MPa)
Elastisite Modülü- E_c	18000-30000(MPa)	14620, 25000 (MPa)

En Büyük Gerilmedeki Birim	0,002-0,0022(m/m)	0,002 (m/m)
Şekil Değiştirme- ϵ_c		
Özgülük- γ	24(kN/m ³)	24(kN/m ³)

Bu malzeme için istenilen sargı etkisi katsayısı “sabit”tir, sargılı ve sargısız beton basınç mukavemetleri oranı olarak tanımlanıp, sargısız betonun sahip olduğu en büyük basınç gerilmesinin tüm birim şekil değiştirme aralığınca çarpılarak büyütülmesinde rol oynar. Kesitler ve sargı etkisi katsayısı hesabı modüllerinde Mander ve diğ. [35] modeli kullanılmaktadır. Bu değişkenin değeri betonarme elemanlarda 1.0 ile 2.0 arasında değişmekte olup, çelik-beton kompozit kesitlerinde 1.5- 4.0 değerleri arasında değişir[33].

5.2. Mander Beton Modeli

Mander beton modeli sargılı betonlar için geliştirilmiştir. Mander beton modeli, dairesel, spiral, dikdörtgen sargı donatılı, dairesel, kare veya dikdörtgen kesitli betonarme yapı elemanların monotonik veya çevrimsel yükler altındaki davranışlarını tanımlamak amacıyla geliştirilmiştir. Mander ayrıca dairesel, spiral, dikdörtgen sargı donatısı ile sarılmış betonarme kesitler için gerilme birim şekil değiştirme bağıntısı önermiştir.



Şekil 5.1: Mander beton modeli.

Şeki 15.2: Mevcut çalışmada kullanılan Mander beton modeli.

5.3. Menegotto-Pinto çelik modeli

Bu tek eksenli çelik modeli ilk defa, basit ama etkili bir model olan Menegotto and Pinto [37] modelinin Filippou et al. [38] tarafından tanımlanan izotropik pekleşme kurallarıyla birleştirilmesi yoluyla elde edilmiştir. Esasında nervürlü betonarme çeliği düşünülerek geliştirilmiş olan bu model, Prota et al. [2009] çalışmasında da belirtildiği gibi parametrelerinin doğru kalibrasyonu durumunda düz betonarme çeliğini de modelleyebilir. On adet kalibrasyon değişkeni mevcuttur:

Elastisite modülü - Es

Malzemenin ilk elastik rijitliğidir. Bu değer genellikle 200-210 GPa arasında değişir; varsayılan değeri 200 GPa'dır.

Akma mukavemeti – fy

Akma durumunda sahip olunan mukavemeti gösterir. Değeri genellikle 230-650 MPa arasında değişir. Varsayılan değeri 191MPa'dır.

Pekleşme değişkeni

Akma sonrası rijitliğin (E_{sp}) ilk rijitliğe (E_s) oranıdır. Akma sonrası rijitlik; $E_{sp} = (f_{ult} - f_y) / (-f_y / E_s)$ şeklinde tanımlanabilir, burada tanımlanan fultve nihai (aynı zamanda azami) gerilme ve birim şekil değiştirmeleri gösterir. Pekleşme değişkeninin değer aralığı 0,005-0,015 olup, varsayılan olarak 0,005 kabul edilir.

Geçiş eğrisinin ilk şekil değişkeni- R_0

Histeretik ilmliklerinde bulunan Baushinger ve büküm ("pinching") etkilerinin düzgün bir şekilde modellenbilmesini sağlayan R değişkeninin ilk yüklemeye ait değeridir; varsayılan olarak 20 kullanılır.

Geçiş eğrisinin şekil kalibrasyon değişkenleri- a_1 ve a_2

Bu değişkenler, R_0 değişkenine uygulanarak, güncellenmiş geçiş eğrisi değişkeni olan R_n 'ye geçişi sağlarlar. a_1 değeri genellikle sabit 18,5 olarak kullanılırken, a_2 'nin tanım aralığı 0,05 ila 0,15'tir. Varsayılan değerler, sırasıyla, 18,5 ve 0,15'tir.

İzotropik pekleşmenin kalibrasyon değişkenleri- a_3 ve a_4

Bu parametreler, izotropik pekleşmenin tekrarlı gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisine etkisini ifade etmek için kullanılan iki katsayıdır. Sıklıkla; a_3 , 0,01-0,025 arasında bir değer alırken; a_4 2 ile 7 arasında tanımlanır. İzotropik pekleşmenin etkisi kinematik pekleşmeye göre az olduğundan dolayı bu parametrelerin alacağı değerler de tekrarlı davranış üzerinde önemli değişikliklere yol açmazlar. Diğer taraftan, özellikle herhangi bir kopma/burkulma birim şekil değiştirme değeri tanımlanmamışsa, büyük tekrarlı deformasyonların görüldüğü durumlarda izotropik pekleşmenin de etkisi gerçek dışı derecede büyük olur. Bu nedenle, izotropik pekleşme varsayılan olarak etkisiz durumda olup; a_3 ve a_4 katsayılarının varsayılan değerleriyse 0 ve 1 şeklindedir.

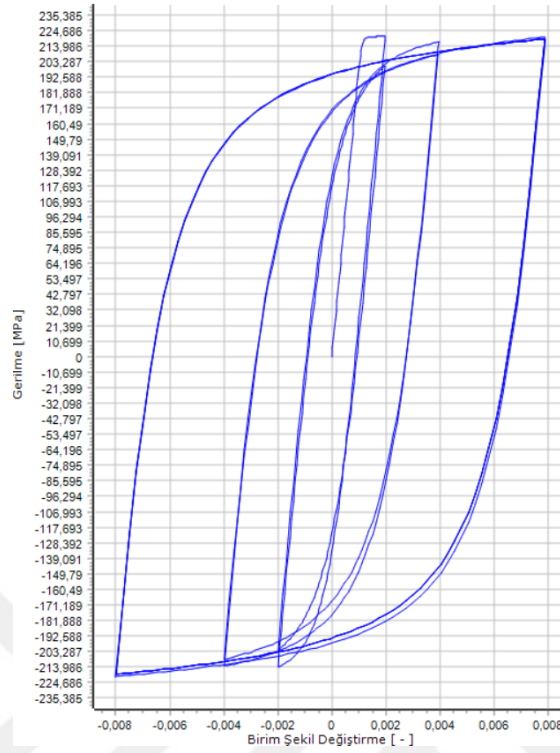
Fakat, bu malzeme modelinde yumuşama davranışını modelleyebilmek için, a_3 katsayısı negatif olarak tanımlanabilir. Yine de kullanılan modelin tasarım amacının tam olarak bu olmamasından ötürü bu modelleme tekniği ihtiyatla uygulanmalıdır.

Kopma/burkulma birim şekil değiştirmesi-

Bu değer kopmanın veya burkulmanın meydana geleceği birim şekil değiştirmeyi ifade eder; varsayılan değeri 0,1 olarak tanımlanmıştır.

Özgül ağırlık:

Bu değer malzeme özağırlığını belirtir ve malzemenin türüne göre değişmektedir [34].



Şekil 5.3:Menegotto-Pinto çelik modeli.

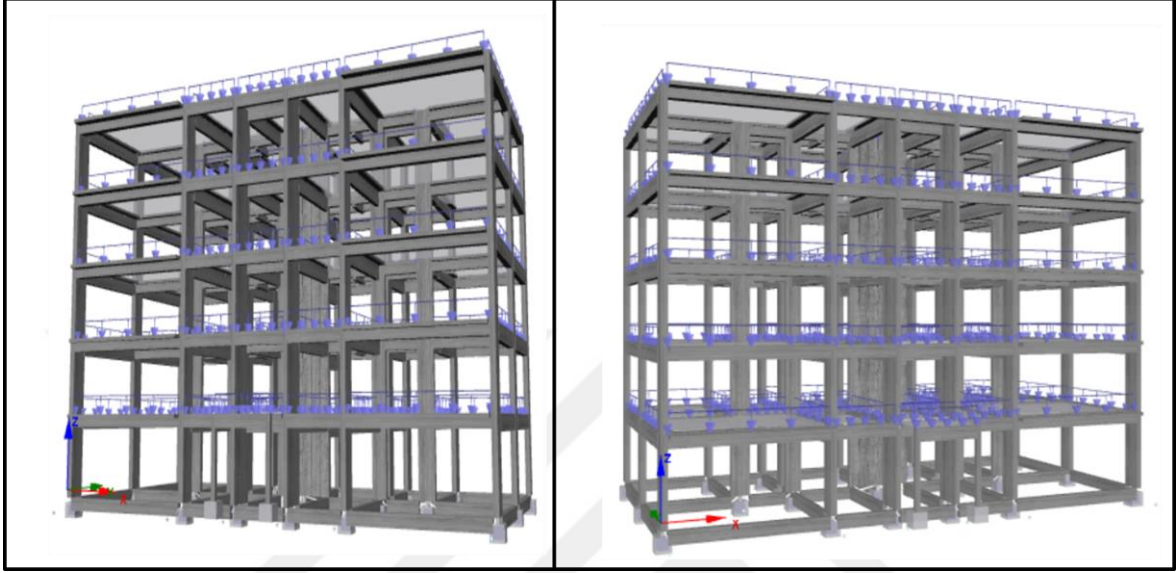
6. ANALİZ YÖNTEMLERİ

6.1. Modal Analiz

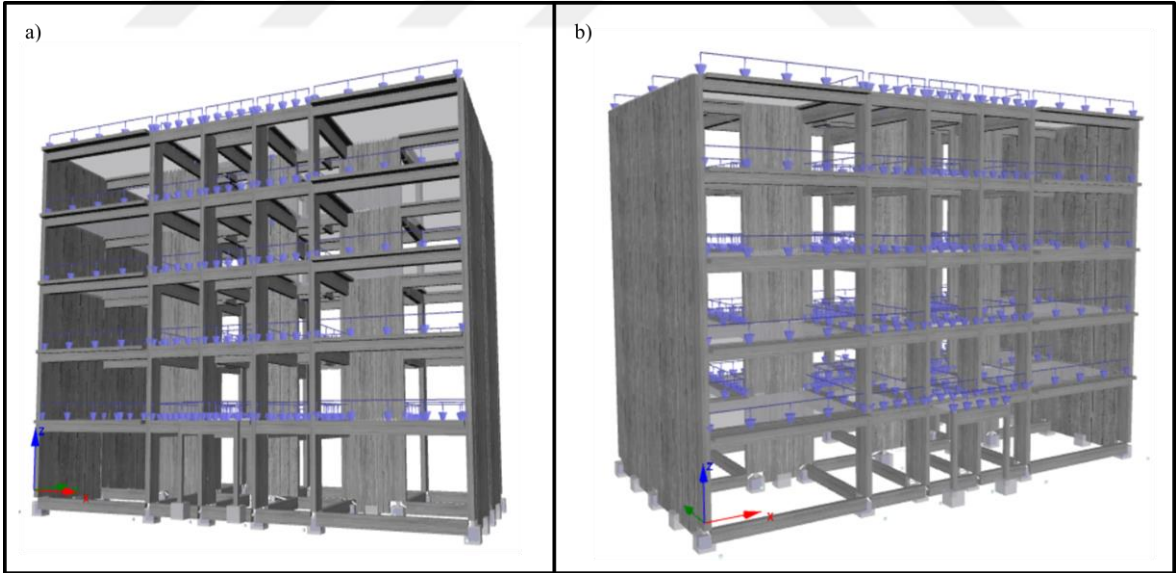
Bu analiz yönteminde, yapısal sistemin toplam kütleleri ile malzeme ve kesit tanımları yapıldıktan sonra; kolon ve perdelerin çatlamamış kesit rijitlikleri ile yapının kat seviyelerindeki kütleleri dikkate alınarak analiz gerçekleştirilmektedir. Modal analiz kapsamında, yapının doğal titreşim periyotları hesaplanmakta ve buna karşılık gelen mod şekilleri elde edilmektedir.

Modal analizin temel amacı; yapının hangi periyotlarda ve nasıl titreşim yaptığını belirlemek, yapısal düzensizlikleri tespit etmek, modal kütle katılım oranlarını hesaplamak ve gerçek deprem kayıtlarıyla yapılacak analizler öncesinde modelde oluşabilecek olası hataları ortaya çıkararak modeli bu hatalardan arındırmaktır.

Bu bağlamda, analiz sürecine modal analiz ile başlanması; güvenli tasarım ilkeleri doğrultusunda, TBDY 2018 hükümleri ile uyumlu ve gerçekçi deprem analizlerinin gerçekleştirilmesine olanak sağlamakta ve güvenilir sonuçların elde edilmesine katkıda bulunmaktadır.



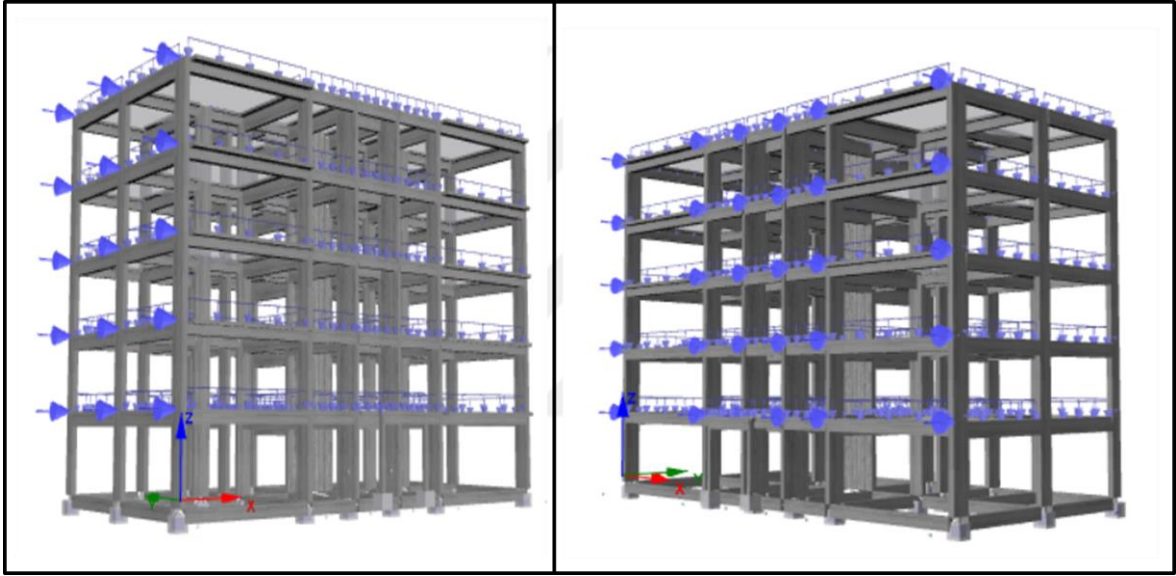
Şekil 6.1: M1 ve M4 modelleri için yapısal sistemin modal analize hazır hali.



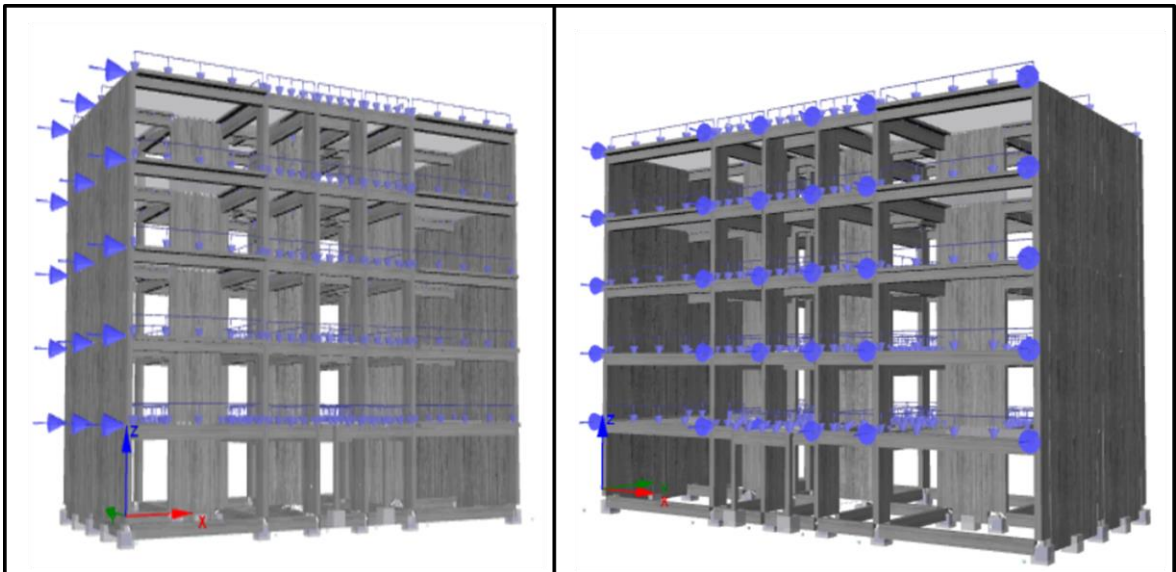
Şekil 6.2: M2 ve M3 modelleri için yapısal sistemin modal analize hazır hali.

6.2 Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi

Bu analiz de önce tüm modeller için yapısal sistemin eşdeğer deprem yükü yöntemi ile taban kesme kuvveti hesaplanmıştır. 2018 Bina Deprem Yönetmeliğinde bir yapı için eşdeğer deprem kuvveti ile hesap yapılabilmesi için gerekli bazı kriterler bulunmaktadır. Bu kriterler sağlandığı takdirde eşdeğer deprem yükü ile hesap yapılabilir. Eşdeğer deprem yükü ile hesap yapılarak bulunan taban kesme kuvvetleri tüm katlara ve çerçevelerin düğüm noktalarına dağıtılmış olup daha sonra bu kuvvetler kullanılarak yapıya doğrusal olmayan itme analizi yapılmıştır. Bunun için üçgensel bir yükleme tercih edilmiştir. Yapısal sisteme X ve Y yönünde tüm modeller için uygulanan doğrusal olmayan statik itme analizi Şekil.6.3 ve Şekil.6.4'te gösterilmiştir.



Şekil 6.3: M1 ve M4 modeli için yapısal sisteme X ve Y yönünde etki ettirilmiş kuvvetler.



Şekil 6.4: M2 ve M3 modeli için yapısal sistemin X ve Y yönünde etki ettirilmiş kuvvetler.

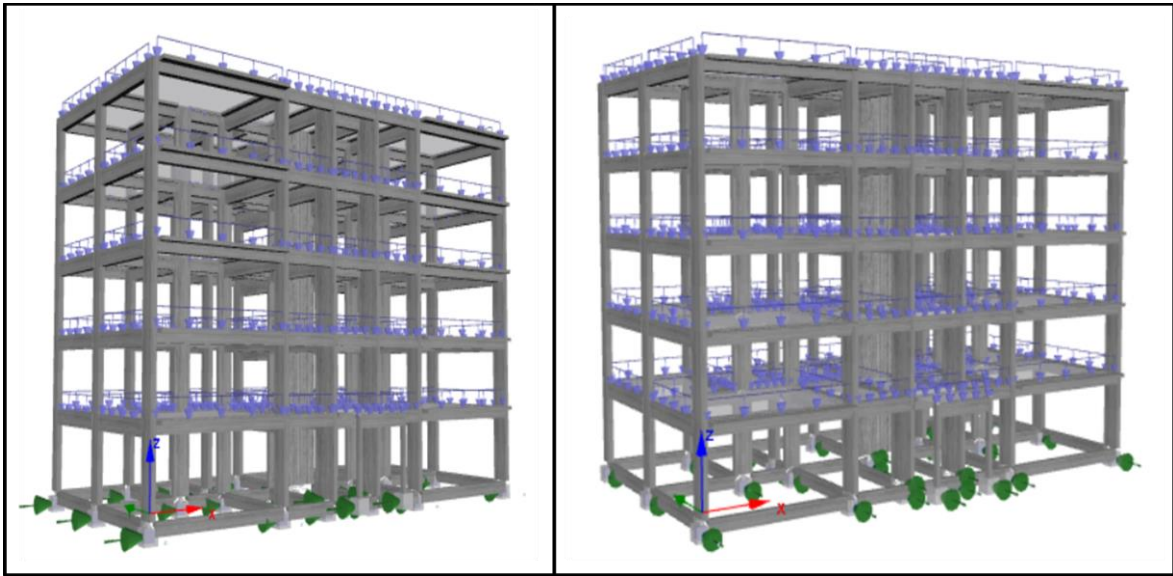
6.3 Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Dinamik Analiz

Deprem mühendisliğinde önemli bir çalışma alanı olan performansa dayalı analiz, yapıların deprem yükleri altındaki davranışlarını değerlendirmeye yönelik bir yaklaşımdır. Bu yöntem, yapının belirli bir performans düzeyinde göstereceği tepkileri tahmin etmeyi, maksimum tepe veya göreceli kat ötelemesi gibi yapısal talep düzeylerinin belirlenmesini ve belirli bir sınır durum kapasitesinin aşılma olasılığının yüzdelik olarak hesaplanmasını amaçlar [40].

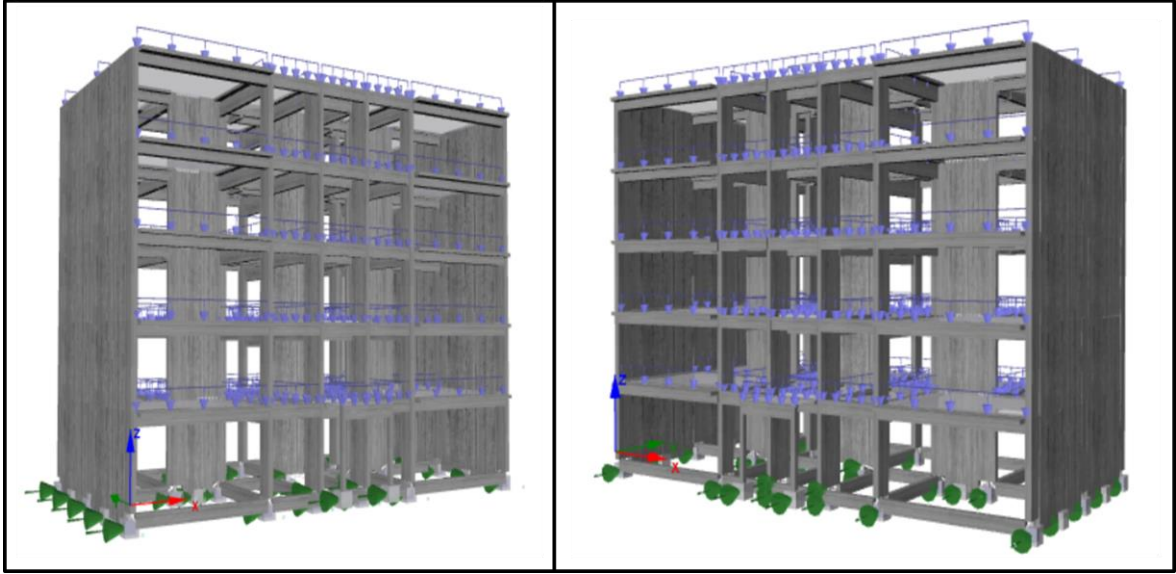
Dinamik analiz, sismik kayıtlar kullanılarak oluşturulan yapısal modellerin deprem etkisi altındaki davranışlarını gerçeğe en yakın biçimde incelemeye imkân tanıyan bir analiz yöntemidir. Bu yöntemin temel amacı, yapısal sistemlerin farklı performans seviyelerini ortaya koymaktır [29]. Analiz sürecinde, gerçek ivme kayıtları ölçeklendirilmeden incelenen yapıya uygulanır.

Yapıya uygulanan bu ivme kayıtları sayesinde, yapının doğrusal elastik bölgeden akma veya göçme bölgesine kadar olan davranışı incelenebilmekte; farklı deprem genliklerinde yapıda meydana gelebilecek hasarın düzeyi tahmin edilebilmektedir [41].

Bu analiz bölümünde, kuvvet tabanlı doğrusal olmayan dinamik analiz gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, tüm modeller için uygulanan analiz şemaları Şekil 6.5 ve Şekil 6.6'da gösterilmektedir.



Şekil 6.5: M1 ve M4 modeli için yapısal sistemin X ve Y yönünde uygulanan zemin ivmelerinin yönü.



Şekil 6.6: M2 ve M3 modeli için yapısal sistemin X ve Y yönünde uygulanan zemin ivmelerinin yönü.

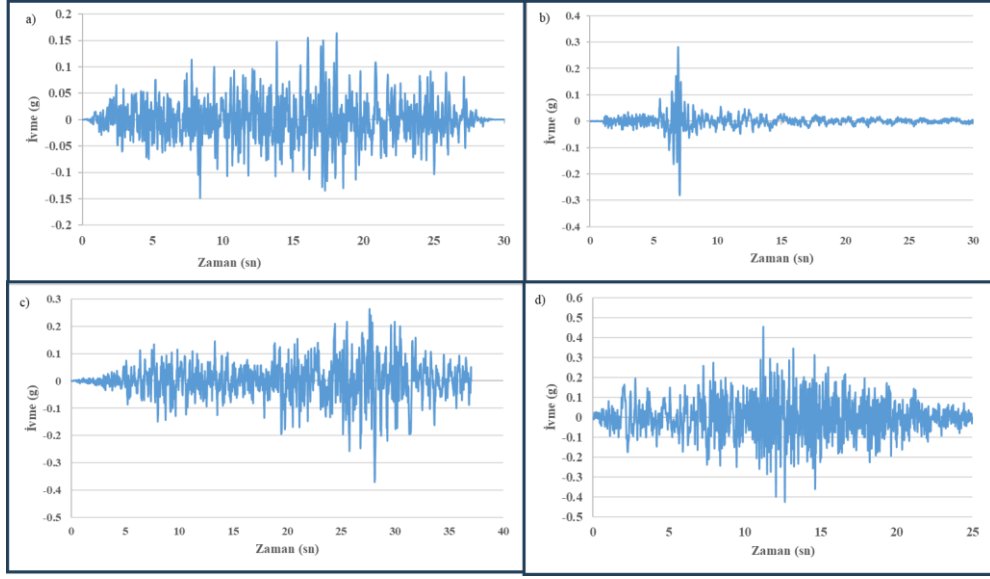
Bu analiz kapsamında, 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremlerine ait dört adet deprem ivme kaydı seçilmiştir. Söz konusu kayıtlar, yapının bulunduğu ZC sınıfı zemin koşulları ve yapının merkez üssüne olan uzaklığı dikkate alınarak belirlenmiştir.

Seçilen deprem kayıtlarının maksimum yer ivmeleri sırasıyla 0,16g, 0,27g, 0,36g ve 0,47g olup, tedrici olarak artan şiddet seviyelerini temsil etmektedir. Bu deprem kayıtlarına ait karakteristik özellikler Çizelge 6.1’de sunulmuştur.

Çizelge 6.1: Deprem karakteristikleri

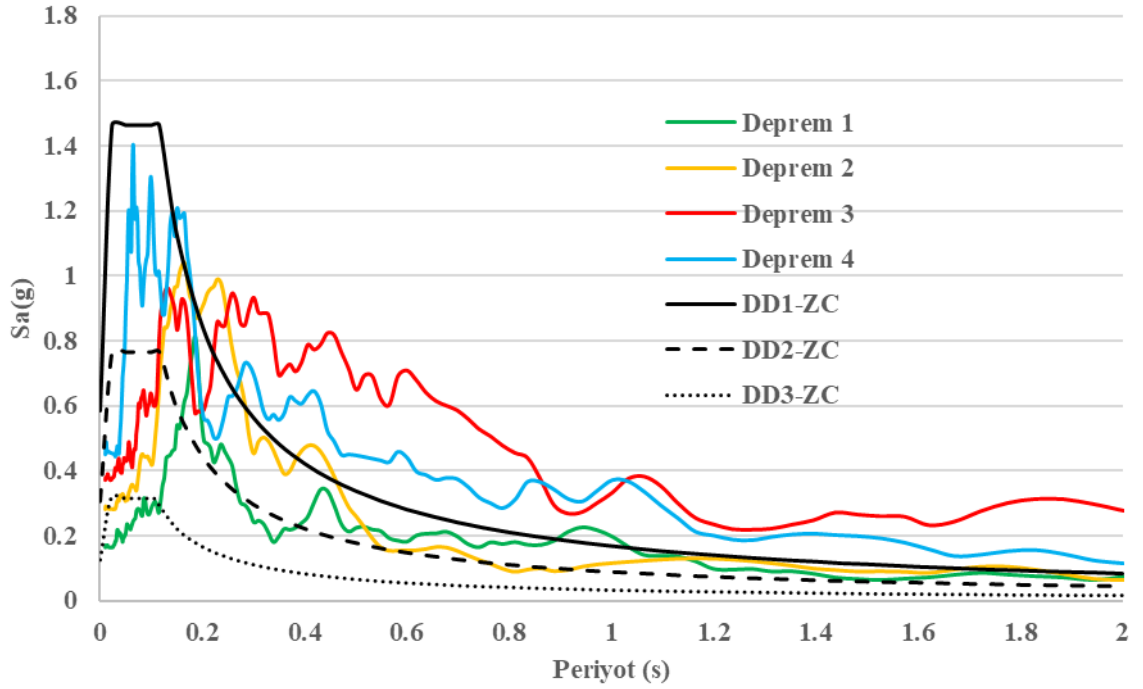
Kod	Tarih	Büyük- lük (Mw)	İstasyon Kodu	Merkez Üssüne Uzaklık (km)	Maks. Yer İvmesi (cm/sn ²)	Vs30 (m/sn)
D1	06-02-2023 01:17	7.7	2704	74.1	160.6	721
D2	06-02-2023 01:28	6.6	4621	32.2	275.4	714
D3	06-02-2023 01:17	7.7	4621	35.4	363.8	714
D4	06-02-2023 10:24	7.6	4406	70.2	467.2	815

Seçilen kayıtların zaman tanım alanındaki değişimleri Şekil 6.7’de gösterilmiştir.



Şekil 6.7: a)D1, b)D2, c)D3 ve d)D4

Seçilen deprem kayıtlarına ait tepki spektrumlarının tasarım spektrumu ile karşılaştırılması Şekil 6.8’de gösterilmektedir.



Şekil 6.8: Tasarım spektrumları ve tepki spektrumları kıyası

6.4 Bina Performans Düzeyleri

TBDY 2018 kapsamında, deprem etkisi altındaki yapıların davranışlarının değerlendirilmesi amacıyla farklı bina performans düzeyleri tanımlanmıştır. Bu performans

düzeyleri, deprem sonrası yapıların taşıyıcı sistem elemanlarında oluşabilecek hasarların boyutunu, yapının kullanım uygunluğunu ve can güvenliğini belirlemeye yöneliktir. Her bir performans düzeyi, yapının deprem etkisi altındaki davranışını farklı hasar sınırlarıyla tanımlamaktadır.

a) Kesintisiz Kullanım (KK) Performans Düzeyi

Bina taşıyıcı sistem elemanlarında herhangi bir yapısal hasarın meydana gelmediği veya oluşan hasarın ihmal edilebilir düzeyde kaldığı durumu ifade etmektedir. Bu performans düzeyinde yapı, deprem sonrasında taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlarıyla birlikte kullanımına hemen devam edilebilecek durumdadır.

b) Sınırlı Hasar (SH) Performans Düzeyi

Bina taşıyıcı sistem elemanlarında sınırlı düzeyde yapısal hasarın meydana geldiği ve doğrusal olmayan davranışın belirli sınırlar içerisinde kaldığı durumu ifade etmektedir. Bu performans düzeyinde yapı genel olarak elastik sınırlar içinde kalmakta olup, taşıyıcı sistem elemanlarında oluşan hasarlar yapının güvenliğini ve kullanım bütünlüğünü önemli ölçüde etkilememektedir.

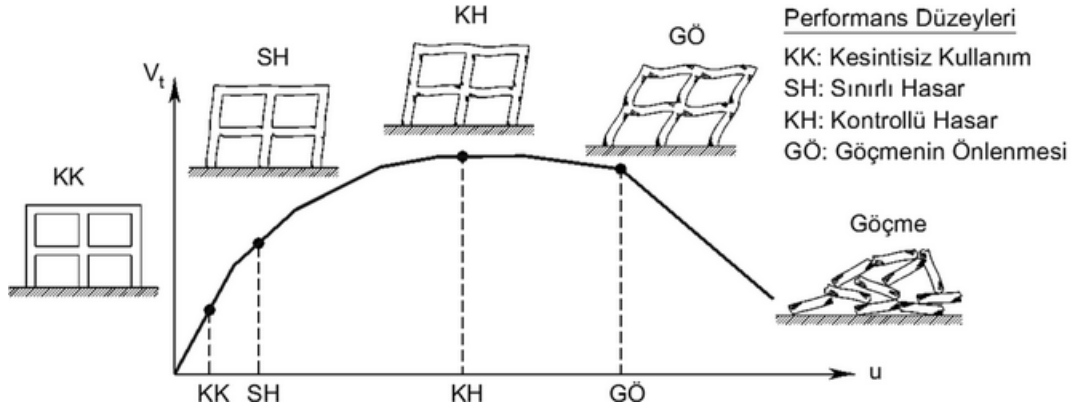
c) Kontrollü Hasar (KH) Performans Düzeyi

Bina taşıyıcı sistem elemanlarında can güvenliğini tehlikeye atmayacak düzeyde, çok ağır olmayan ve çoğunlukla onarılabilir nitelikteki hasarların meydana geldiği durumu ifade etmektedir. Bu performans düzeyinde yapı, deprem etkisi sonrasında genel stabilitesini korumakta ve taşıyıcı sistem elemanlarında meydana gelen hasarlar yapının göçmesine neden olacak boyutta olmamaktadır.

d) Göçmenin Önlenmesi (GÖ) Performans Düzeyi

Bina taşıyıcı sistem elemanlarında ileri düzeyde ve ağır hasarların meydana geldiği, ancak yapının tamamen göçmeye uğramadığı duruma karşılık gelmektedir. Bu performans düzeyinde, yapının kısmen ya da tamamen göçmesi kesinlikle kabul edilmemekte; oluşan ciddi yapısal hasarlara rağmen binanın stabilitesini koruyarak ayakta kalması ve can güvenliğinin sağlanması amaçlanmaktadır (TBDY, 2018).

Hasar sınır durumları gösteren bina performans düzeyleri Şekil 6.9’de verilmiştir.



Şekil 6.9: Bina performans düzeyleri (TBDY, 2018)

6.5 Seçilen şekil değiştirme ve iç kuvvet sınırları

Sayısal çalışmada kullanılan hasar sınırları, TBDY2018’de belirtilen yeni betonarme bina elemanları için izin verilen şekil değiştirme hasar sınır değerleri esas alınarak belirlenmiştir. Bu sınır değerleri, birim şekil değiştirme ölçütü temelinde tanımlanmış olup, beton ve çelik malzemeler için farklı performans düzeylerine göre sınıflandırılmıştır. Böylelikle, betonarme yapı elemanlarının deprem etkisi altında göstermesi beklenen davranış biçimi ile bu davranışın hangi sınırlar içerisinde kalması gerektiği yönetmelik kapsamında açıkça ortaya konulmuştur.

- a) Göçmenin önlenmesi (GÖ) performans düzeyinde beton ve donatı çeliği için izin verilen toplam birim şekil değiştirmeler sırasıyla $\epsilon_c^{(GÖ)}$ ve $\epsilon_s^{(GÖ)}$ olmak üzere, dikdörtgen kesitli kiriş, kolon ve perdeler için,

$$\epsilon_c^{(GÖ)} = 0,0035 + 0,04\sqrt{\omega_{WE}} \leq 0,018 \quad (6.1)$$

Yukarıdaki bağlantıda ilk terim sargısız betonun birim kısalmasını, ω_{WE} ise etkin sargı donatısının mekanik donatı oranını göstermektedir. ω_{WE} aşağıdaki bağıntıdan hesaplanmaktadır.

$$\omega_{WE} = \alpha_{se} \rho_{sh,min} \frac{f_{ywe}}{f_{ce}} \quad (6.2)$$

Yukarıdaki bağlantıda belirtilen α_{se} sargı donatısı etkinlik katsayısını, $\rho_{sh,min}$ dikdörtgen kesitte iki yatay doğrultuda hacimsel enine donatı oranının küçük olanını, f_{ywe} enine donatının ortalama akma dayanımını, f_{ce} ise betonun ortalama basınç dayanımını göstermektedir.

$$\alpha_{se} = \left(1 - \frac{\sqrt{a_i^2}}{6b_o h_o}\right) \left(1 - \frac{s}{2b_o}\right) \left(1 - \frac{s}{2h_o}\right) \quad ; \quad \rho_{sh} = \frac{A_{sh}}{b_k s} \quad (6.3)$$

Yukarıdaki bağlantılarda dikkate alınacak doğrultuda enine donatının alanı A_{sh} hacimsel oranı ρ_{sh} , dik doğrultudaki çekirdek boyutu b_k (en dıştaki enine donatı eksenleri arasındaki mesafe), enine donatı aralığı “s”, sargı donatısı eksenlerinden ölçülen sargılı beton boyutları b_o ve h_o , bir etriye kolu veya çiroz tarafından desteklenen boyuna donatıların eksenleri arasındaki mesafe a_i olarak ifade edilmektedir.

$$\varepsilon_S^{(GÖ)} = 0,4 \varepsilon_{SU} \quad (6.4)$$

Yukarıda verilen denklemde ε_{SU} maksimum dayanım anındaki donatının birim uzamasını ifade eder.

b) Kontrollü hasar (KH) performans düzeyinde beton ve donatı çeliği için izin verilen toplam birim şekil değiştirmeler sırasıyla $\varepsilon_C^{(KH)}$ ve $\varepsilon_S^{(KH)}$ olmak üzere;

$$\varepsilon_C^{(KH)} = 0,75 \varepsilon_C^{(GÖ)} \quad (6.5)$$

$$\varepsilon_S^{(KH)} = 0,75 \varepsilon_S^{(GÖ)} \quad (6.6)$$

c) Sınırlı hasar (SH) performans düzeyinde beton ve donatı çeliği için izin verilen toplam birim şekil değiştirmeler sırasıyla $\varepsilon_C^{(SH)}$ ve $\varepsilon_S^{(SH)}$ olmak üzere;

$$\varepsilon_C^{(SH)} = 0,0025 \quad (6.7)$$

$$\varepsilon_S^{(SH)} = 0,0075 \quad (6.8)$$

olarak belirtilmiştir.

6.6. Etkin görelî kat ötelemelerinin hesaplanması ve sınırlandırılması

TBDY-2018’de, azaltılmış görelî kat ötelemesi $\Delta_i^{(x)}$, (X) deprem doğrultusunda herhangi bir kolon veya perde için, birbirini takip eden katlar arasındaki yer değiştirme farkı olarak tanımlanmış olup, Denklem 6.13’te gösterilmiştir.

$$\Delta_i^{(x)} = u_i^{(x)} - u_{i-1}^{(x)} \quad (6.9)$$

Denklem 6.13’te tipik (X) deprem doğrultusu için, i’inci kattaki herhangi bir kolon veya perdenin uçlarında hesaplanan yatay yer değiştirmeler $u_i^{(x)}$, (i-1)’inci kattaki herhangi bir kolon veya perdenin uçlarında hesaplanan yatay değiştirmeler ise $u_{i-1}^{(x)}$ gösterilmiştir.

Tipik (X) deprem doğrultusunda, binanın i'inci katındaki kolon ve perdeler için etkin görelî kat ötelemesi, $\delta_i^{(x)}$, Denklem 6.14'te gösterilmiştir.

$$\delta_i^{(x)} = \frac{R}{I} \Delta_i^{(x)} \quad (6.10)$$

Her bir deprem doğrultusunda, binanın herhangi bir i'inci katındaki kolon veya perdelerde Denklem 6.14'le hesaplanan etkin görelî kat ötelemelerinin ($\delta_i^{(x)}$) kat içindeki en büyük değeri $\delta_{i,max}^{(x)}$, Denklem 6.15 ve Denklem 6.16'da verilen koşulları sağlamalıdır.

Gevrek malzemeden yapılmış dolgu duvarları veya cephe elemanları, çerçeve elemanlarına aralarında herhangi bir esnek derz veya bağlantı bulunmaksızın tamamen bitişik şekilde yerleştirilmiş ise;

$$\lambda \frac{\delta_{i,max}^{(x)}}{h_i} \leq 0,008K \quad (6.11)$$

Gevrek malzemeden yapılmış dolgu duvarları ile çerçeve elemanları arasında esnek derzler oluşturulması, cephe elemanlarının dış çerçevelere esnek bağlantılar ile bağlanması veya dolgu duvar elemanının çerçeveden bağımsız olarak yerleştirilmesi durumunda;

$$\lambda \frac{\delta_{i,max}^{(x)}}{h_i} \leq 0,016K \quad (6.12)$$

TBDY-2018'de Denklem (6.15) ve Denklem (6.16)'de yer alan katsayısı, binanın göz önüne alınan deprem doğrultusundaki hâkim titreşim periyodu için, DD-3 deprem yer hareketinin elastik spektral ivmesinin, DD-2 deprem yer hareketinin elastik spektral ivmesine oranı olarak ifade edilmiştir. Ayrıca Denklem (6.15) ve Denklem (6.16)'de yer alan K katsayısının ise betonarme binalar için K=1, çelik binalar için K=0,5 alınacağı belirtilmiştir.

TBDY-2018'de, Denklem (6.15) ve Denklem (6.16)'da verilen koşulların binanın herhangi bir katında sağlanamaması durumunda, taşıyıcı sistemin rijitliğinin artırılması ve deprem hesabının yeniden yapılması gerektiği belirtilmiştir.

7. BULGULAR

7.1 Modal Analiz

Modal analiz sonucunda hesaplanan periyot ve kütle katılım oranları tüm modeller için aşağıda tablo halinde gösterilmiştir.Yapılan modal analiz sonuçlarına göre M1 Modelin ilk altı moduna ait periyot ve kütle katılım oranları Çizelge 7.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 7.1:M1 modeli için periyot ve kütle katılım oranları.

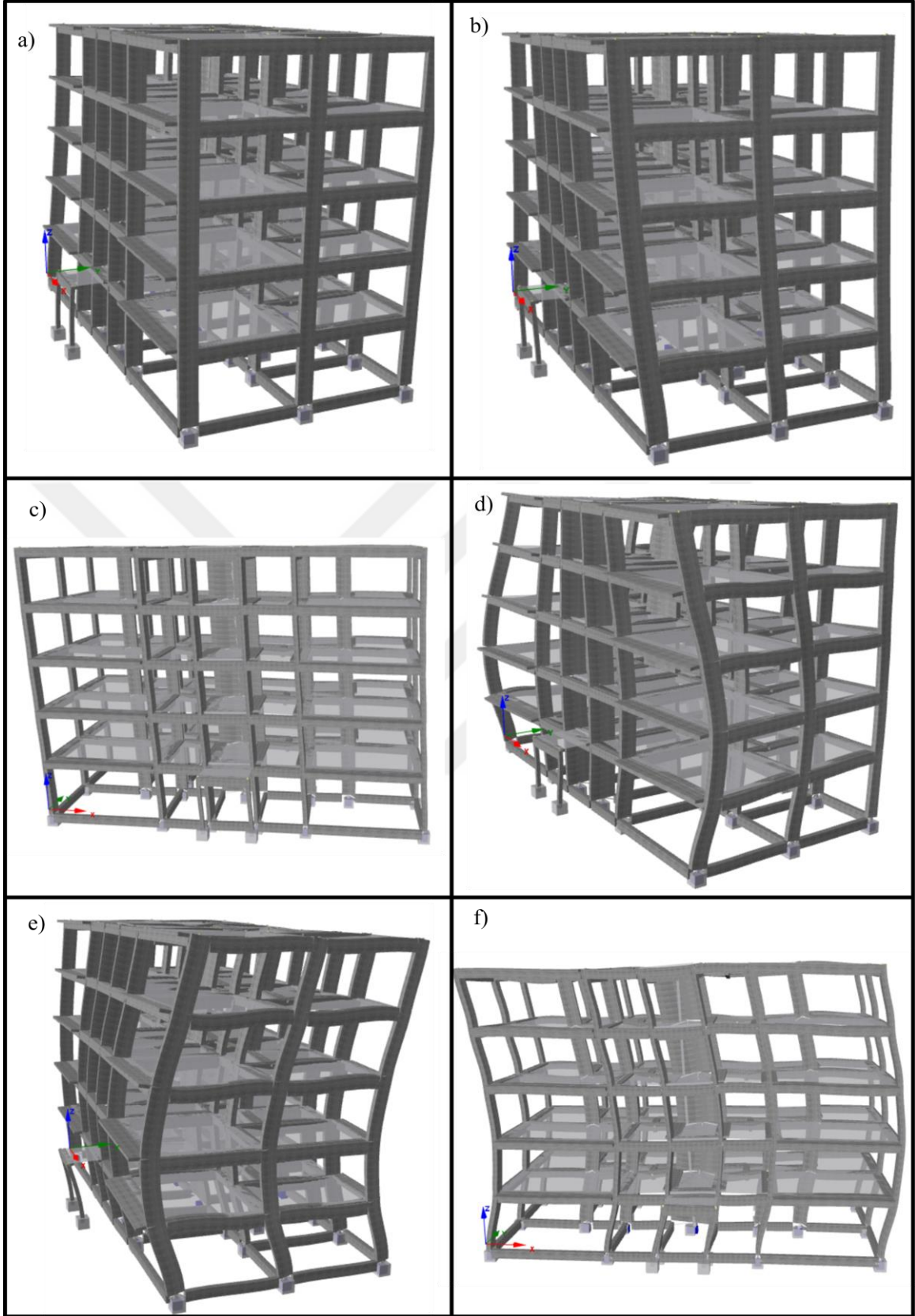
Mod No	Periyot (s)	X-yönü katılım oranı (%)	Y-yönü katılım oranı (%)
1	0,53	0,16	62,59
2	0,51	0,68	83,35
3	0,46	82,30	83,35
4	0,17	82,31	85,05
5	0,16	82,31	95,12
6	0,14	94,79	95,12

2018 TBDY göre Modal analiz ile yapılan deprem etkisi hesabında, toplam modal kütle katılım oranının her bir doğrultuda (X ve Y) en az %90 olması gerekmektedir. Yani, modal süperpozisyon yöntemiyle deprem yükleri hesaplanırken, seçilen modların toplam kütle katılım oranı:

- X yönü için $\geq \%90$
- Y yönü için $\geq \%90$ olmalıdır.

Bu bağlamda, M1 modelinin Modal analiz sonuçlarına göre, hem X hem de Y doğrultularında toplam modal kütle katılım oranları 6. modda kadar %90’ın üzerine çıkmaktadır. Bu, yapının dinamik davranışının modal analizde yeterli düzeyde temsil edildiğini göstermektedir. Ayrıca modların yönüne bakıldığında;

1. ve 2. modlar Y yönü katılım oranları (%62,59 ve %83,35) X yönündekinden çok daha yüksek. Yani, bu modlar yapının esas olarak Y doğrultusunda hareket ettiğini gösterir. Modal analiz sonucunda mod şekilleri Şekil 7.1’de gösterilmiştir.



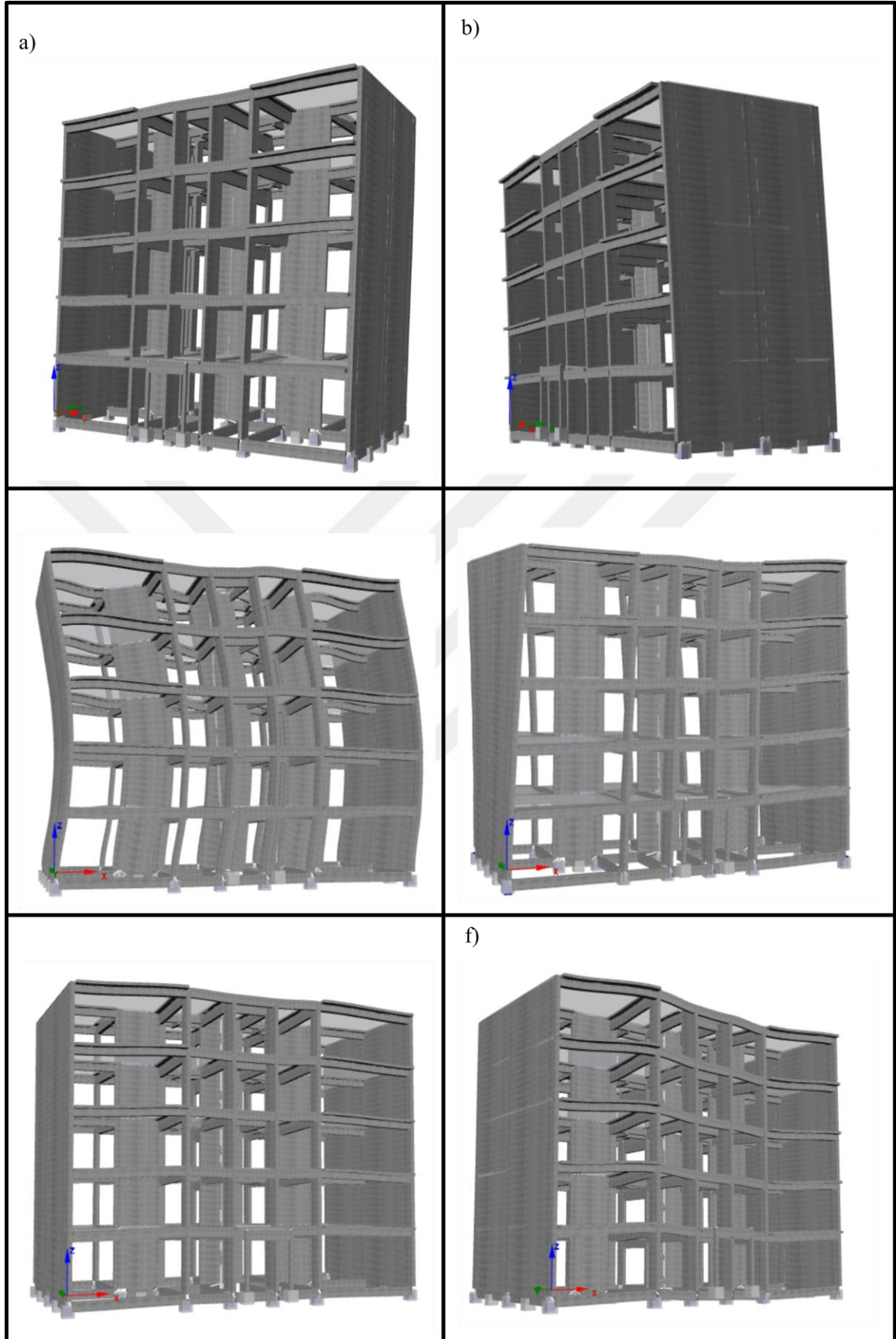
Şekil 7.1: M1'e ait modal şekilleri.

M2 modeline ait periyot ve kütle katılım oranları Çizelge 7.2’de, mod şekilleri ise Şekil 7.2’de gösterilmiştir.

Çizelge7.2: M2 modeli için periyot ve kütle katılım oranları.

Mod No	Periyot (s)	X-yönü katılım oranı (%)	Y-yönü katılım oranı (%)
1	0,39	80,89	0,00
2	0,15	80,89	67,52
3	0,11	94,00	67,52
4	0,10	94,02	67,54
5	0,09	94,02	67,76
6	0,08	94,03	67,79

M2 modelinin modal analiz sonucu, X yönünde modal kütle katılım oranı %94 ile bu şartı sağlamaktadır. Y yönünde modal katılım oranı ise %67-68 seviyelerinde kalmakta, bu da 2018 TBDY yönetmelik gerekliliğini karşılamamaktadır. Bu nedenle daha fazla modun modal analizde değerlendirilebilir. Ayrıca 1. Modda X yönünde 3, 4, 5 ve 6 modlarda X yönü baskın 2. Modda ise çift yönlü katılım vardır. Yapının burulma etkileri olabileceğini de 2. moddaki çift yönlü katılım oranından çıkarabiliriz. Bu bağlamda yapının ilk ve en baskın titreşim modu X yönünde gerçekleşmektedir.



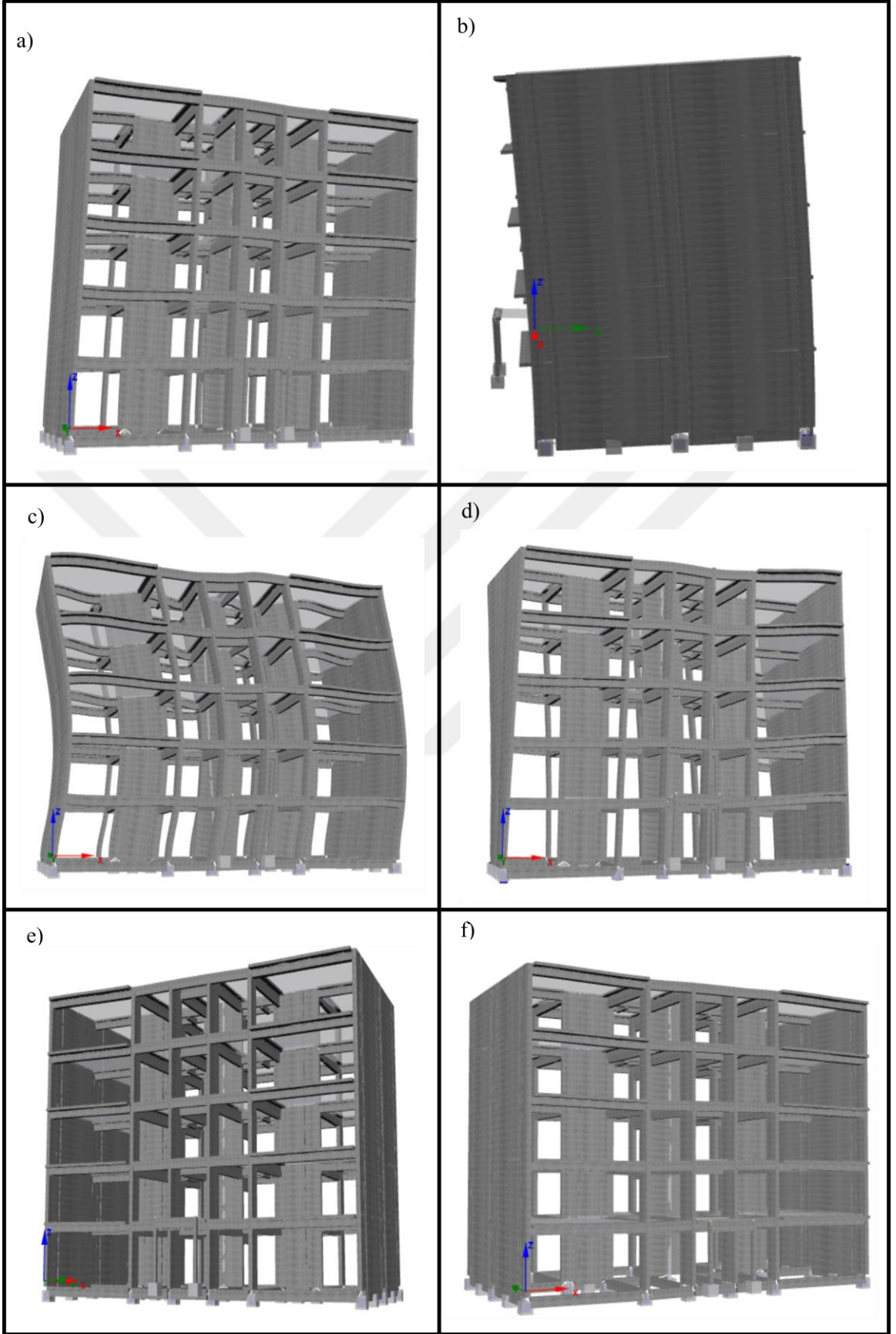
Şekil 7.2: M2'e ait mod şekilleri.

M3 modeline ait periyot ve kütle katılım oranları Çizelge 7.3'te, mod şekilleri ise Şekil 7.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 7.3: M3 modeli için periyot ve kütle katılım oranları.

Mod No	Periyot (s)	X-yönü katılım oranı (%)	Y-yönü katılım oranı (%)
1	0,39	80,92	0,00
2	0,15	80,92	67,56
3	0,11	94,02	67,57
4	0,10	94,04	67,59
5	0,09	94,04	67,80
6	0,08	94,05	67,83

Bu modal analiz sonucunda M3 modelin de M2 modeline benzer sonuç verdiği görülmektedir.



Şekil 7.3: M3'e ait mod şekilleri.

M4 modeline ait periyot ve kütle katılım oranları Çizelge 7.4'te, mod şekilleri ise Şekil 7.4'te gösterilmiştir.

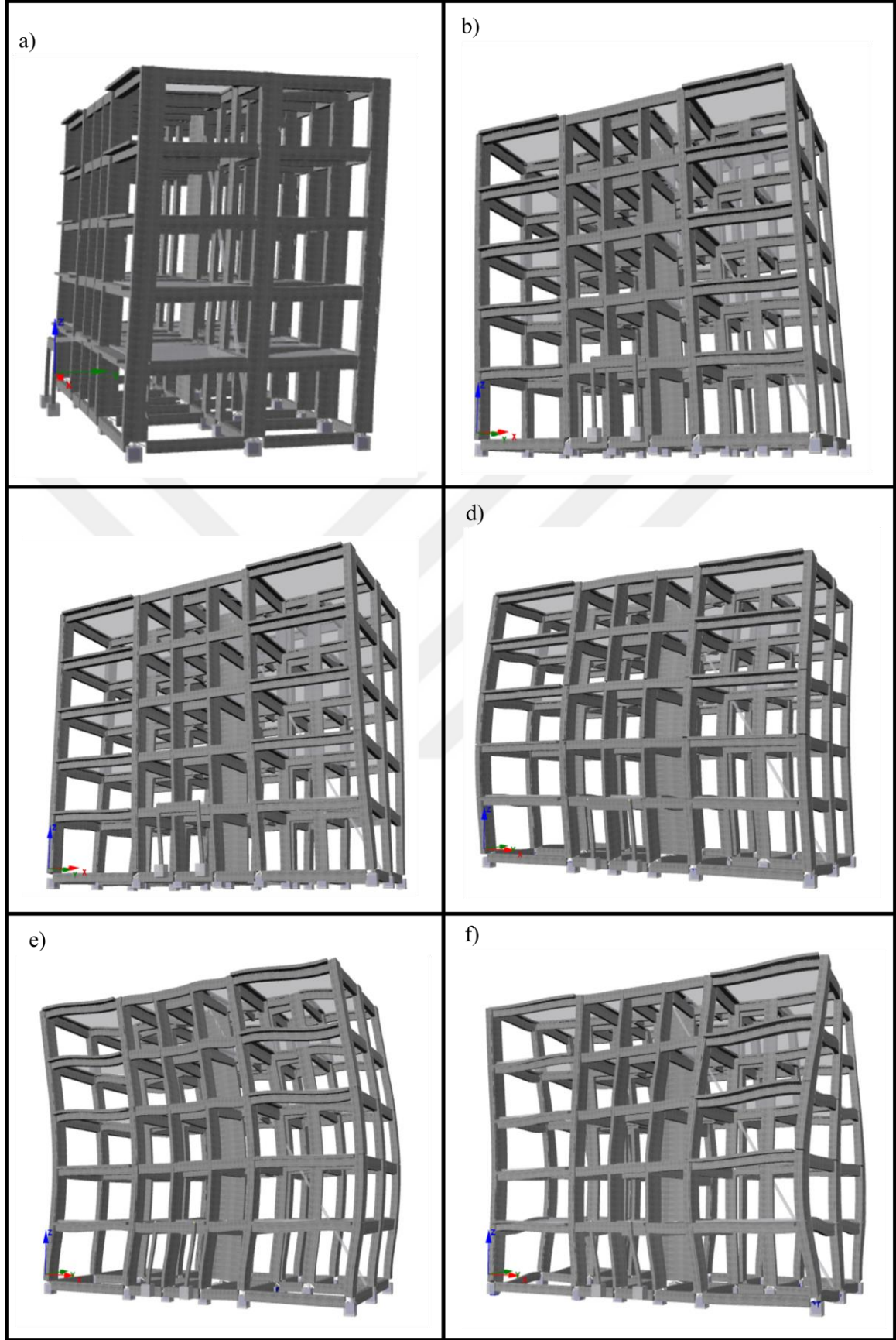
Çizelge 7.4: M4 modeli için periyot ve kütle katılım oranları.

Mod No	Periyot (s)	X-yönü katılım oranı (%)	Y-yönü katılım oranı (%)
1	0,45	0,13	81,56
2	0,41	81,25	81,70
3	0,29	81,25	81,71
4	0,13	81,32	94,12
5	0,12	93,49	94,19
6	0,09	93,49	94,19

M4 modelinin modal analiz sonucunda da,

- X yönünde toplam katılım oranı %93,49
- Y yönünde ise %94,19 seviyelerine ulaşılmıştır.

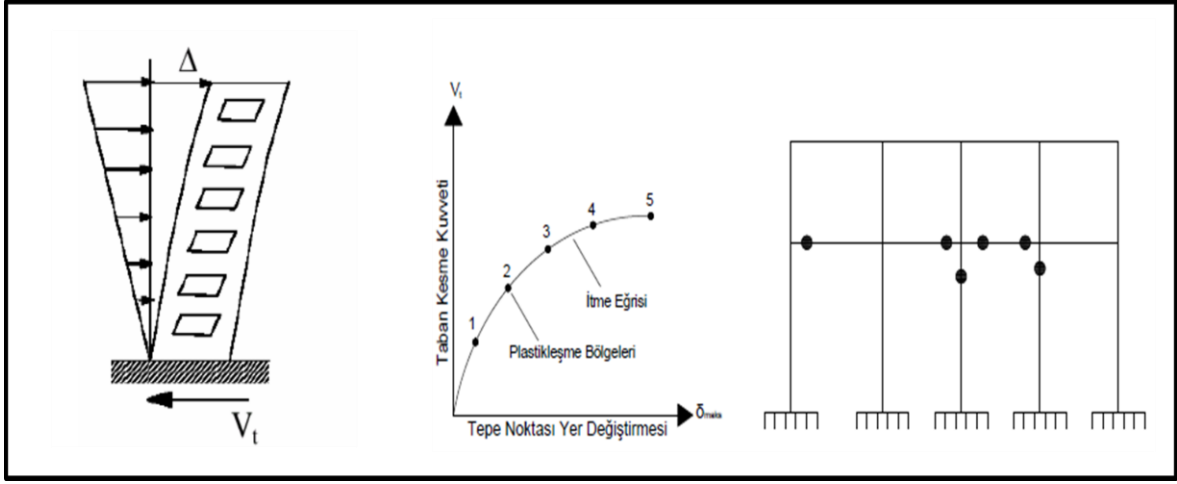
Bu sonuçlara göre yapı, TBDY 2018'in modal analiz için öngördüğü minimum kütle katılım şartlarını sağlamaktadır. Bu da analiz edilen modların yapı sisteminin deprem davranışını yeterli düzeyde temsil ettiğini göstermektedir. Modların yönününe bakıldığında ise, 1.modda yapı Y doğrultusunda baskın titreşim göstermekte, 2ve 3. modlar X ve Y yönlerinde hemen hemen eşit dinamik davranış içermekte, 4. mod, Y yönünde daha baskın, 5 ve 6. modlar ise her iki yönde de yüksek kütle katılımı içerdiğinden, yapının bu modlarda iki yönlü titreşim sergilediği anlaşılmaktadır.



Şekil 7.4: M4'e ait mod şekilleri.

7.2 Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi

Depreme dayanıklı yapı tasarımının temel performans hedefi, deprem etkileri sonucunda can kayıplarının meydana gelmemesi ve yapıların hedeflenen performans düzeylerini karşılamasıdır. Bu kapsamda belirlenen performans hedefleri; yapıların hasar görmemesi, meydana gelebilecek hasarların onarılabılır düzeyde kalması, can ve mal kaybının yaşanmaması ile yapıların göçmesinin önlenmesi olarak özetlenebilir. Doğrusal analiz yöntemleri, deprem sonrasında yapılarda oluşabilecek hasar düzeylerinin doğru biçimde tahmin edilmesi konusunda yetersiz kalmaktadır [42]. Bu eksikliği gidermek amacıyla kullanılan statik itme analizi, doğrusal olmayan bir analiz yöntemi olup, sabit düşey yükler altında yatay yüklerin kademeli olarak artırılması prensibine dayanmaktadır. Analiz süreci boyunca yatay yükler her adımda belirli oranlarda artırılmakta ve yapı, belirli bir yer değiştirme kapasitesine veya göçme durumuna ulaşmaya kadar bu işlem sürdürülmektedir. Bu yöntem sayesinde, yapının yatay yük-tepe noktası yer değiştirmesi arasındaki ilişki belirlenebilmekte ve yapının deprem etkileri altındaki davranışı ayrıntılı biçimde incelenebilmektedir [43]. Diğer bir ifadeyle, statik itme analizi; kuvvet artışına bağlı olarak ortaya çıkan kuvvet-deplasman ilişkisini detaylı biçimde değerlendirme olanağı sunmaktadır. Bu analizler aracılığıyla yapıların ve yapı elemanlarının deprem davranışları kapsamlı bir biçimde irdelenebilmekte ve gerekli yapısal kontroller gerçekleştirilebilmektedir [44]. Ayrıca söz konusu yöntem, hem yeni inşa edilen hem de güçlendirilmiş mevcut binaların doğrusal olmayan davranışlarının değerlendirilmesinde mühendisler için önemli avantajlar sağlamaktadır. Bu kapsamda, yapıların ve elemanlarının davranış özellikleri hakkında detaylı bilgiler elde edilmekte ve bu bilgiler doğrultusunda yapı performansı güvenilir biçimde değerlendirilebilmektedir [45-51]. Şekil 7.5’de statik itme analizi sonucunda yapının tepe noktası yer değiştirmesi ile taban kesme kuvveti arasındaki ilişkiyi göstermektedir.



Şekil 7.5: Statik itme eğrisi.

Analizi gerçekleştirilen yapıya ait enlem ve boylam değerlerinin AFAD Türkiye Deprem Tehlike Haritaları interaktif uygulaması'na enlem ve boylam bilgilerinin girilmesiyle bölgeye ait tasarım spektral ivme katsayıları, $S_S=0,797S_1=0,222S_{DS}=0,356S_{D1}=0,333$ olarak elde edilmiştir. Bu değerlere bağlı olarak yapılan eşdeğer deprem yükü hesabında, M1 modeli için doğal titreşim periyotları X yönünde 0,47 s, Y yönünde 0,53 s olarak belirlenmiştir. M2 ve M3 modellerinde periyotlar X yönünde 0,39 s, Y yönünde 0,15 s iken, M4 modelinde ise X yönünde 0,414 s ve Y yönünde 0,446 s olarak hesaplanmıştır. TBDY 2018'de Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi'nin uygulanabileceği binalar Çizelge 7.5'te verilmiştir.

Çizelge 7.5: Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi'nin Uygulanabileceği Binalar.

Bina Türü	İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfı	
	DTS = 1, 1a, 2, 2a	DTS = 3, 3a, 4, 4a
Her bir katta burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} \leq 2.0$ koşulunu sağladığı ve ayrıca B2 türü düzensizliğinin olmadığı binalar	$BYS \geq 4$	$BYS \geq 5$
Diğer tüm binalar	$BYS \geq 5$	$BYS \geq 6$

TBDY (2018) kapsamında Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi'nin uygulanabileceği yapı türleri Çizelge 7.5'te tanımlanmaktadır. İlgili sınırlamalar doğrultusunda yapılan değerlendirme sonucunda, modellenen yapı için deprem tasarım parametreleri,

BKS = 3, I = 1, DTS = 1 ve BYS = 6 olarak belirlenmiştir. Bu değerler, yapının eşdeğer deprem yükü yönteminin kullanımına uygun olduğunu göstermektedir.

Binanın 2018 Bina Deprem Yönetmeliğine göre dinamik karakteristikleri ve bulunduğu lokasyonun deprem tehlike parametreleri şu şekilde hesaplanmıştır.

M1 modeli için eşdeğer deprem yükü hesabı formülleri ve hesaplaması aşağıdaki gibidir.

Denklem (7.1) (Taban kesme kuvveti alt sınır şartı)

$$V_t = m_t * S_{aR}(T) \geq 0,04 * m_t * I * S_{DS} * g \quad (7.1)$$

Denklem (7.2) (Ağırlık–düşey merkez hesabında kullanılan ilişki)

$$\sum_j^N = 1 \quad m_j H_j \quad (7.2)$$

Burada m_j her bir katın kütlesi, H_j ise o katın referans yüksekliğidir; toplam kütle–yükseklik momenti modal kütle dağılımı veya yatay kuvvetlerin kademeleme hesabında kullanılır.

Toplam kütle: $m_t = 1256,89$ ton

- Kat sayısı: 5 (eşit kütle dağılımı kabulüyle)
- Her bir kata düşen kütle:

$$m_{kat} = 1256,89 \text{ ton} / 5 = 251,378 \text{ ton}$$

- Kat yüksekliği $H = 47,5$ m
- Verilen toplam kütle–yükseklik momenti hesabı:

$$\sum_j^N = m_j H_j = 11940,455 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

Yapının farklı doğrultulardaki (X ve Y yönleri) etkin spektral ivme değerlerinin belirlenebilmesi amacıyla aşağıdaki ifadeler kullanılmıştır.

X yönü için etkin spektral ivme değeri,

$$S_{ae}(T) = \frac{S_a(T)}{\text{X yönü periyodu}} \quad (7.3)$$

Y yönü için etkin spektral ivme değeri ise,

$$S_{ae}(T) = \frac{S_a(T)}{\text{Y yönü periyodu}} \quad (7.4)$$

şeklinde tanımlanmaktadır. Burada $S_a(T)$, yapının belirli bir periyot (T) değerinde hesaplanan elastik spektral ivme katsayısını ifade etmektedir.

Etkin spektral ivme değerinden indirgenmiş spektral ivme katsayısının elde edilmesi için aşağıdaki bağıntı kullanılmaktadır:

$$S_{aR}(T) = S_{ae}(T) / R(T) \quad (7.5)$$

Burada $S_{aR}(T)$, indirgenmiş spektral ivme katsayısını, $R(T)$ ise davranış katsayısının periyoda bağlı değerini göstermektedir.

Davranış katsayısının periyoda bağlı değeri şu şekilde tanımlanır:

$$R(T) = R/I \quad (7.6)$$

Bu formülde R , davranış katsayısını, I ise bina önem katsayısını temsil etmektedir. Bu çalışmada, davranış katsayısı $R=4$ ve bina önem katsayısı $I=1$ olarak alınmıştır. Ayrıca, belirli periyot için elastik spektral ivme katsayısı $S_a(T)=0,333$ olarak belirlenmiştir. Bu durumda, periyot yönlerine bağlı etkin ve indirgenmiş spektral ivme katsayıları aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$S_{ae}(T) = S_a(T)/1 = 0,333$$

$$S_{aR}(T) = S_{ae}(T) / R(T) = 0,333/4 = 0,083$$

Bu kapsamda, analiz kapsamında yapının davranış katsayısı ve bina önem katsayısı dikkate alınarak, indirgenmiş spektral ivme katsayısı $S_{aR}(T)=0,083$ olarak elde edilmiştir. Bu değer, yapının elastik sınır ötesi davranışını temsil eden ve performans değerlendirmelerinde kullanılan temel parametrelerden biridir.

$$F_i = (V_t - \Delta F_n) \frac{m_i * F_i}{\sum_{j=1}^N m_j * H_j} \quad (7.7)$$

Taban Kesme Kuvveti V_t Hesabı;

Önceki adımlarda elde edilen indirgenmiş spektral ivme değeri,

$S_{aR}(T) = 0,083$ bu değer kullanılarak,

$V_t = m_t * S_{aR}(T) = 1256,89 \text{ ton} * 0,083 = 104,32187 (\text{ton} \cdot g \text{ veya ton biriminde kütle} \times \text{ivme cinsinden})$

V_t (kN cinsinden);

1 ton = 1000 kg olduğundan:

$$V_t = m_t (\text{ton}) * 1000 \frac{\text{kg}}{\text{ton}} S_{aR}(T) * g \quad (7.8)$$

$$V_t = 256,89 \times 1000 \times 0,083 \times 9,81 = 1023397,545 \text{ N}$$

Bunu kN'a çevirirsek:

$$V_t \approx 1023,398 \text{ kN}$$

M1 modeli için eşdeğer deprem yükü hesaplaması çizelge 7.6'daki gibidir.

Çizelge 7.6: M1 modelinin toplam kesme kuvveti ve parametreleri.

Parametre	X yönü	Y yönü
S _{ae} (T)	0,709	0,628
S _{aR} (T)	0,177	0,157
R(T)	4	4
V_t	2184 kN	1937 kN

Kat yükü (X) Yönü için 4 katın yükseklik hesabı;

$$V_t(X) = m_{kat} * 4. katın yerden yüksekliği / \sum_j^N m_j * H_j \quad (7.9)$$

$$= 2184 \text{ kN} * 251,378 \text{ ton} * 15.5 / 11940,455 \text{ ton} * \text{m}$$

= 712,7 kN olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, diğer katların hesabında aynı formülle hesaplanarak aşağıda Çizelge 7.9 ve Çizelge 7.10'da yerleştirilmiştir.

M2 ve M3 modelleri için eşdeğer deprem yükü hesabı formülleri ve hesaplaması aşağıdaki gibidir.

$$\text{Toplam kütle: } m_t = 1388 \text{ ton}$$

$$\text{Her bir kata düşen kütle} = 277,6 \text{ ton}$$

$$\sum_j^N = 1 m_j H_j = 13186 \text{ ton} * \text{m}$$

Çizelge 7.7: M2 ve M3 modellerine ait yapının toplam kesme kuvveti ve parametreleri.

Parametre	X yönü	Y yönü
S _{ae} (T)	0,854	0,956
S _{aR} (T)	0,213	0,345
R(T)	4	4
V_t	2906,5 kN	4698

M4 modeli için eşdeğer deprem yükü hesabı formülleri ve hesaplaması aşağıdaki gibidir.

Toplam kütle: $m_t = 1363,04$ ton

Her bir kata düşen kütle = 272,608 ton

$$\sum_j^N = 1 m_j H_j == 12948,88 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

Çizelge7.8: M4 modelinin toplam kesme kuvveti ve parametreleri

Parametre	X yönü	Y yönü
Sae(T)	0,804	0,7471
SaR(T)	0,201	0,187
R(T)	4	4
V_t	2689 kN	2496 kN

Taban kesme kuvvetleri hesaplandıktan sonra, bulunan taban kesme kuvvetleri katlara dağıtılmıştır. Katlara dağıtılan taban kesme kuvvetleri sırasıyla Çizelge 7.9 ve 7.10'da gösterilmiştir.

Çizelge7.9: Sayısal modeller için katlara dağıtılan eşdeğer deprem yükleri X yönü.

Katlar	M1 (kN)	M2(kN)	M3(kN)	M4(kN)
4	712,7	948,5	948,5	877,4
3	574,7	764,9	764,9	707,6
2	436,8	581,3	581,3	537,8
1	298,9	397,7	397,7	367,9
Zemin	160,9	214,2	214,2	198,1

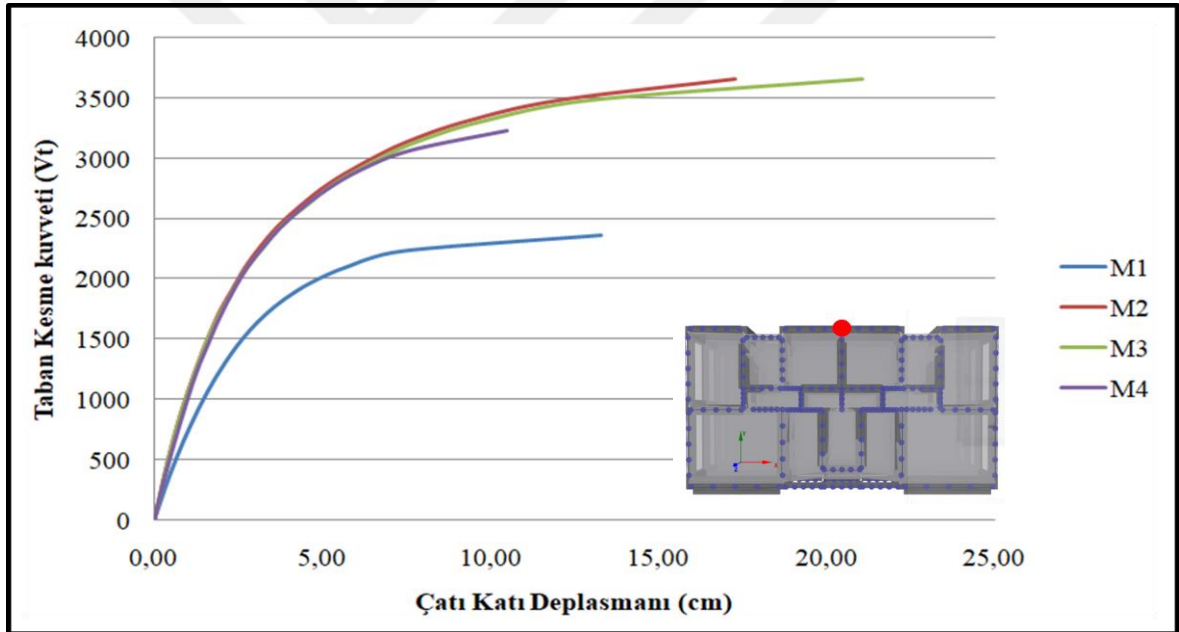
Çizelge7.10: Sayısal modeller için katlara dağıtılan eşdeğer deprem yükleri Y yönü.

Katlar	M1(kN)	M2(kN)	M3(kN)	M4(kN)
4	632,0	1532,9	1532,9	814,5
3	509,7	1236,2	1236,2	656,8

2	387,4	939,5	939,5	499,2
1	265,0	642,8	642,8	341,5
Zemin	142,7	346,1	346,1	183,9

7.2.1 Uzun doğrultuda (X) analiz sonuçları

Doğrusal olmayan statik itme analizinde, eşdeğer deprem yükü yöntemiyle hesaplanan taban kesme kuvvetleri katlara dağıtılmış ve bu kuvvetler düğüm noktalarına orantılı olarak paylaştırılmıştır. Çatı katında dikkate alınan düğüm noktası Şekil 6.5'te gösterilmiştir. Kuvvet esaslı olarak gerçekleştirilen analiz sonucunda, uzun doğrultuda yapılan doğrusal olmayan statik itme analizine ait sonuçlar Şekil 7.6 ve Şekil 7.7'de sunulmuştur.



Şekil 7.6: Uzun doğrultuda (X) taban kesme kuvveti ve çatı katı deplasman grafiği.

Şekil 7,6 incelendiğinde, yapı modelinin kırmızı nokta ile işaretlenen noktanın sistemde maksimum deplasman yapmıştır. M1 modeli diğer modellere kıyasla en düşük taban kesme kuvveti kapasitesine sahip olup, yaklaşık 13 cm'lik bir deplasmanda maksimum yaklaşık 2400 kN kuvvete ulaşmıştır. Bu modelin başlangıç rijitliğinin düşük olması, yapının yatay yükler altında daha erken plastik davranışa geçtiğini ve enerji sönümleme kapasitesinin sınırlı olduğunu göstermektedir. M2, M3 ve M4 modelleri ise daha yüksek taşıma kapasitesine sahip olup, yaklaşık 3200–3600 kN arasında değişen

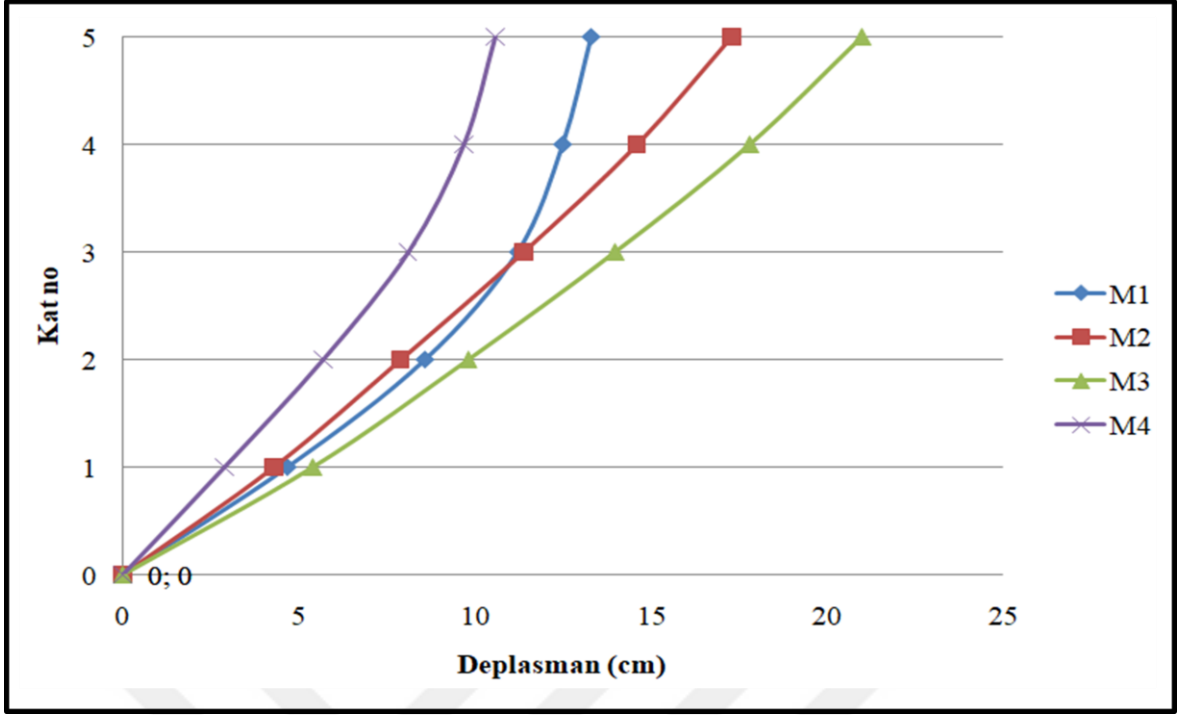
maksimum taban kesme kuvvetlerine ulaşmıştır. Bu modellerin başlangıç rijitliği M1'e kıyasla daha yüksek olup, deplasman kapasitesi açısından da daha iyi bir performans sergilemiştir.

M2 modelinde yaklaşık 17 cm'lik birdeplasman elde edilmiş olup, yaklaşık 3600 kN maksimum taşıma kapasitesine ulaşmıştır. Benzer şekilde M3 modeli ise yaklaşık 22 cm çatı katı deplasmanına kadar dayanımış olup, tüm modeller arasında en yüksek süneklik kapasitesinesahip bir model olmuştur. M4 modeli ise 11 cm civarındadeplasman yapmış olup, yaklaşık 3200 kN kuvvete ulaşmıştır. Bu durum, M4'ün yüksek dayanımına rağmen süneklik açısından M2 ve M3 modellerine göre daha sınırlı kaldığını göstermektedir.

Yapılan değerlendirmeler doğrultusunda;

- M1 modeli, düşük rijitlik, sınırlı dayanım ve süneklik kapasitesiyle diğer modellere kıyasla zayıf bir performans sergilemiştir.
- M2 ve M3 modelleri, yüksek rijitlik, dayanım ve süneklik kapasitesi ile yapı performansı açısından en başarılı modeller olarak öne çıkmaktadır.
- M4 modeli, başlangıçta yüksek rijitlik ve dayanım göstermesine rağmen, sınırlı süneklik nedeniyle görece daha düşük performans sergilemiştir.

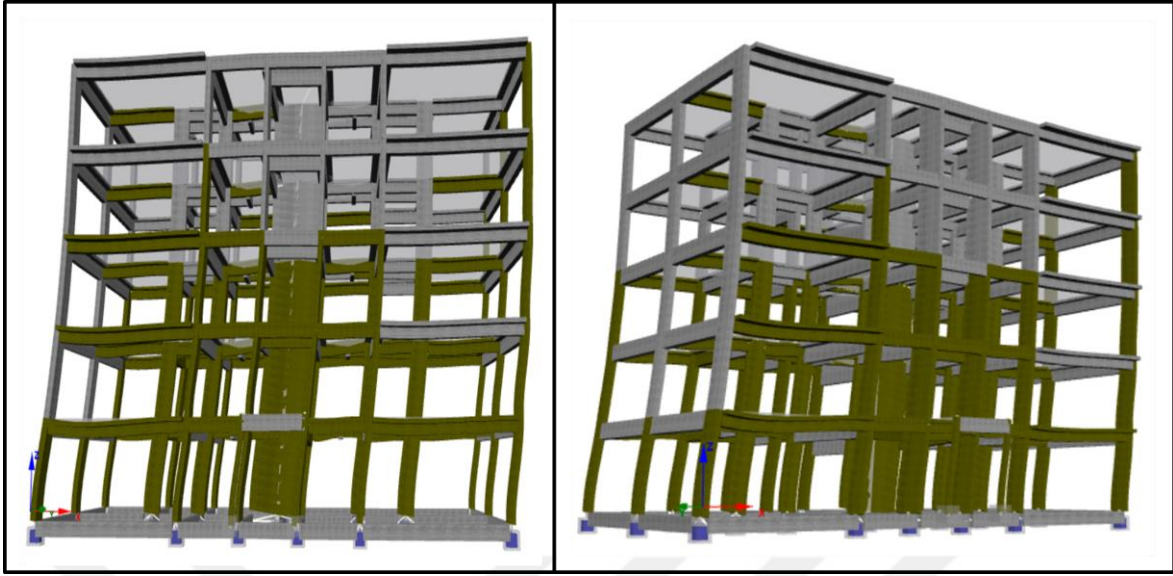
Analiz sonuçlarında, özellikle sünek davranışın ön planda olduğu performans hedeflerine ulaşmak adına, M2 ve M3 gibi modellerin tercih edilmesinin daha uygun olduğunu göstermektedir.



Şekil 7.7: Uzun doğrultuda (X) katlara göre çatı katı deplasman grafiği.

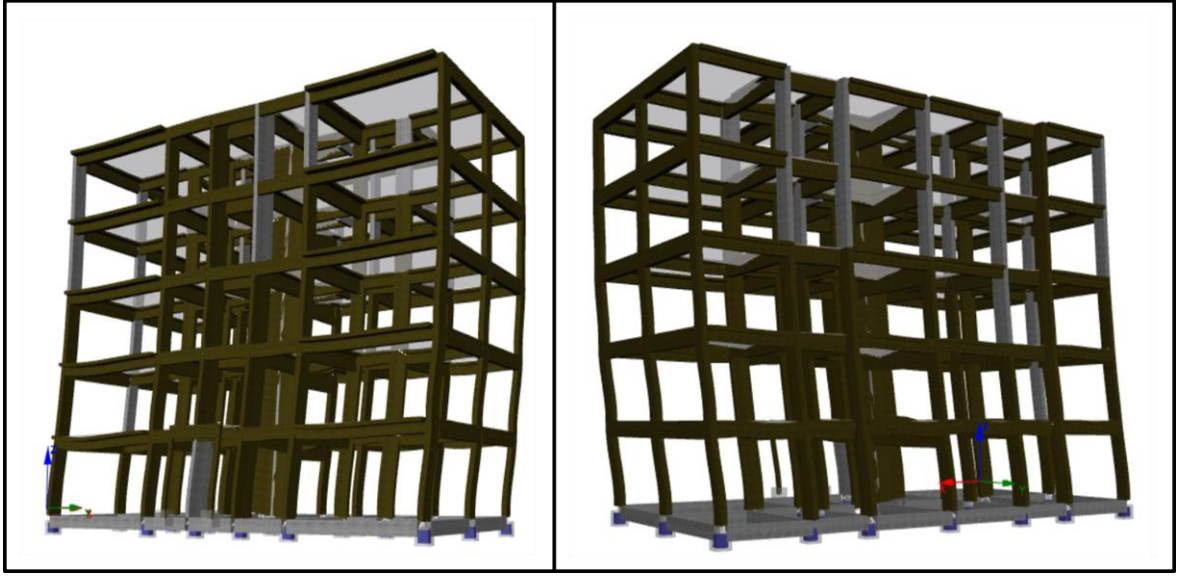
Şekil 7.7’de, uzun doğrultuda (X) yapılan analizler sonucunda, 5. kat deplasman değerleri M1 modelinde 13,3 cm, M2 modelinde 17,3 cm, M3 modelinde 21 cm ve M4 modelinde 10,6 cm olarak hesaplanmıştır. Analiz sonuçları incelendiğinde; M1 ve M4 modelleri, üst katlarda ani deplasman artışları nedeniyle düzensiz yer değiştirme profilleri göstermiş, bu durum üst katlarda performans kayıplarına yol açabilecek davranışları ortaya koymuştur. M2 modeli, rijit ve dengeli bir davranış sergileyerek tüm katlarda görece düzenli deplasman artışı göstermiştir. Bu durum yapısal kontrol açısından istenen bir özelliktir. M3 modeli ise yüksek süneklik kapasitesini alt katlara doğru yayarak farklı bir davranış tipi sergilemiştir. Ayrıca, uzun doğrultuda (X) doğrusal olmayan statik itme analizinde M1, M2, M3 ve M4 modelleri için yapılan kuvvet tabanlı analizler, koda ve performans kriterlerine dayalı sonuçlar doğrultusunda şekillerle sunulmuştur. M1 modelinde, dönme kapasitesi

yetersizliği olan elemanlar Şekil 7.8’de gösterilmiştir.



Şekil 7.8: M1 modelinde uzun doğrultuda(X) dönme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.

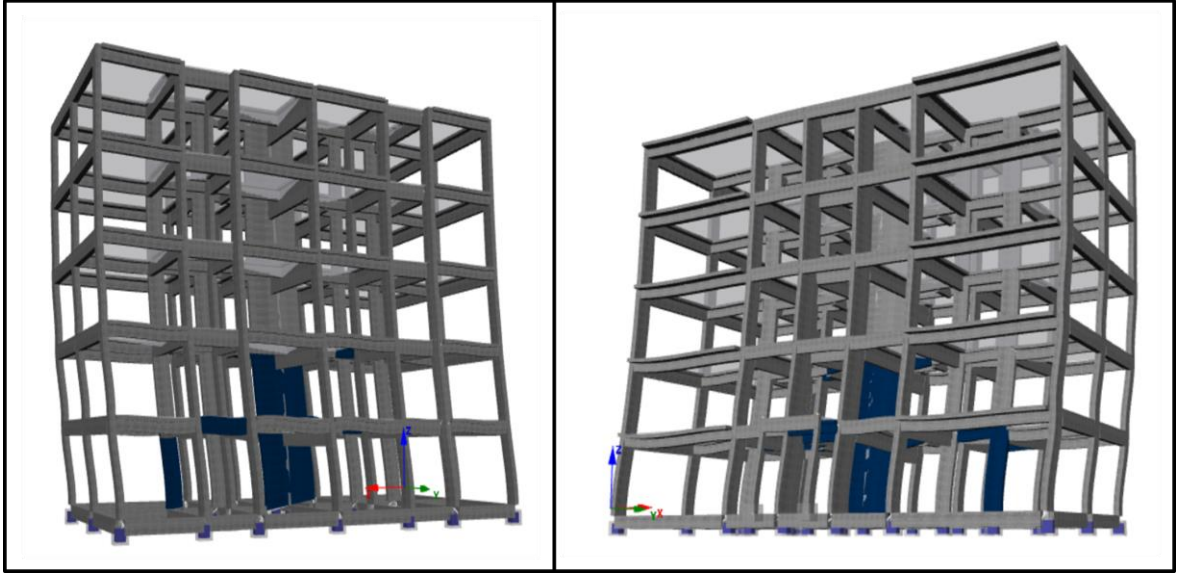
Şekil 7.8’de belirgin bir şekilde görüldüğü gibi, dönme kapasitesi yetersizliği ağırlıklı olarak kolonlarda meydana gelmiş ve yetersizliklerin binanın alt katlarında (özellikle zemin ve birinci kat) yoğunlaştığı gözlemlenmektedir. Elde edilen bu sonuçlar, M1 modelinin mevcut tasarımı veya eleman boyutlandırması ile uzun doğrultuda yüksek yatay yüklere karşı yeterli sismik performans sergileyemediğini ortaya koymaktadır. Özellikle alt kat kolonlarında görülen dönme kapasitesi yetersizliği, bu elemanlarda kesme kuvveti veya eğilme momenti talebinin kapasiteyi aştığını veya yeterli sünekliğin sağlanamadığını gösterir. Kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar ise Şekil.6.8’de gösterilmiştir.



Şekil 7.9:M1 modelinde uzun doğrultuda(X) kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.

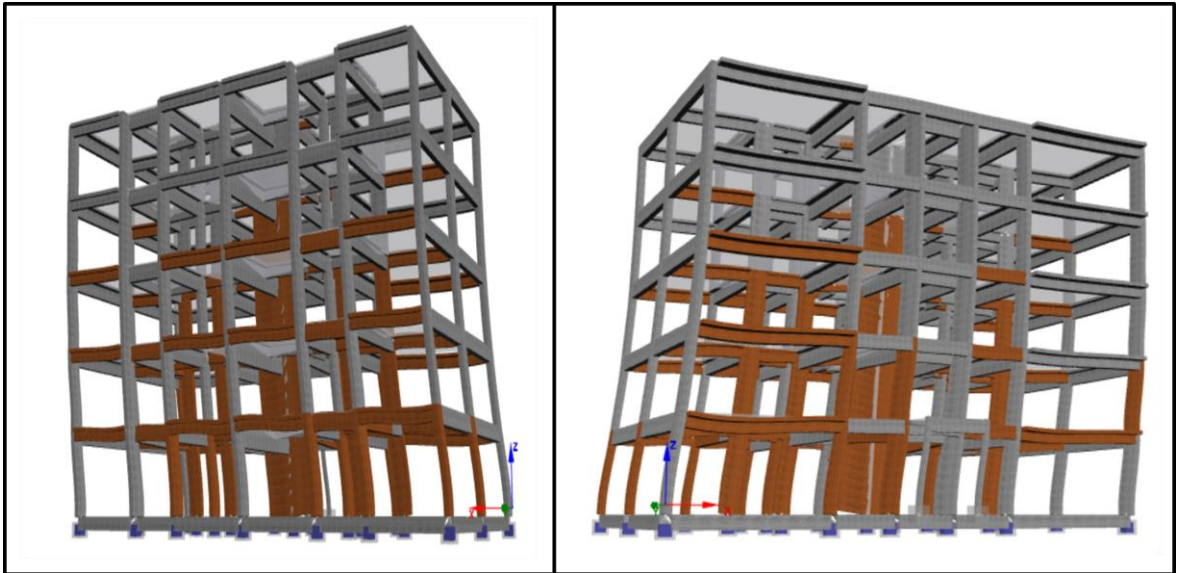
Şekil 7.9’da kesme yetersizlikleri, tıpkı dönme kapasitesi yetersizliklerinde olduğu gibi, ağırlıklı olarak yapının alt katlarında (zemin ve birinci kat) yoğunlaşmıştır. Bu durum, yapıdaki kesme kuvvetlerinin alt katlarda maksimum seviyelere ulaştığını ve bu kuvvetlerin mevcut kolon kesme dayanımını aştığını göstermektedir. Hem dönme hem de kesme kapasitesi yetersizliklerinin aynı bölgelerde (alt kat kolonları) yoğunlaşması, M1 modelinin bu kritik elemanlarda hem dayanım hem de süneklik açısından ciddi eksiklikleri olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle kesme yetersizliğinin varlığı, olası bir deprem anında ani ve hasar verici bir göçme riskini artırmaktadır.

M1 modelinde, uzun doğrultuda (X yönü) yapılan performans kriterlerine dayalı değerlendirme sonucunda, çekirdek betonunda ezilme meydana gelen elemanlar Şekil 7.10’da gösterilmiştir.



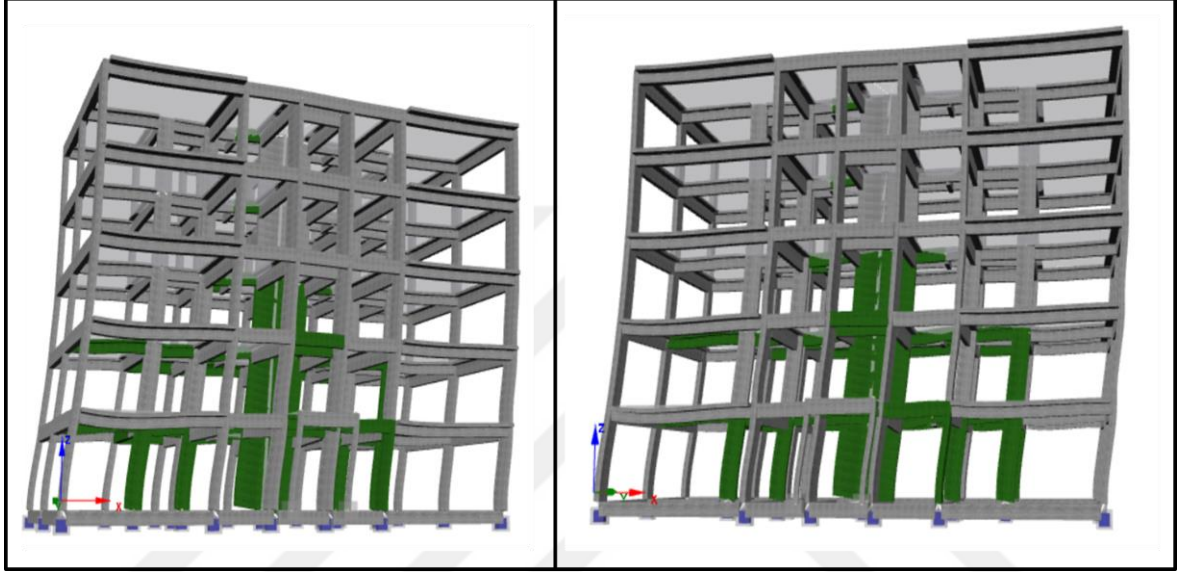
Şekil 7.10: M1 modelinde uzun doğrultuda (X) çekirdeği ezilen elemanlar.

Şekil 7.10'da, M1 modelinde çekirdek ezilmesi ağırlıklı olarak zemin ve birinci kat perde duvar ile kolonlarda yoğunlaşmıştır. Çekirdek ezilmesi, "Göçmenin Önlenmesi" performans seviyesini aşan ve yapısal bütünlüğü ciddi şekilde tehlikeye atan bir hasar modudur. M1 modelinin uzun doğrultuda bu hasarı göstermesi, mevcut tasarımının sismik güvenlik açısından kabul edilemez olduğunu ortaya koymaktadır. Analiz sonuçları, alt kat kolonlarda acilen yüksek sünekliğin sağlanması gerektiğini göstermektedir. Donatısı akan elemanlar ise Şekil.7.11'de gösterilmiştir.



Şekil 7.11: M1 modelinde uzun doğrultuda (X) donatısı akan elemanlar.

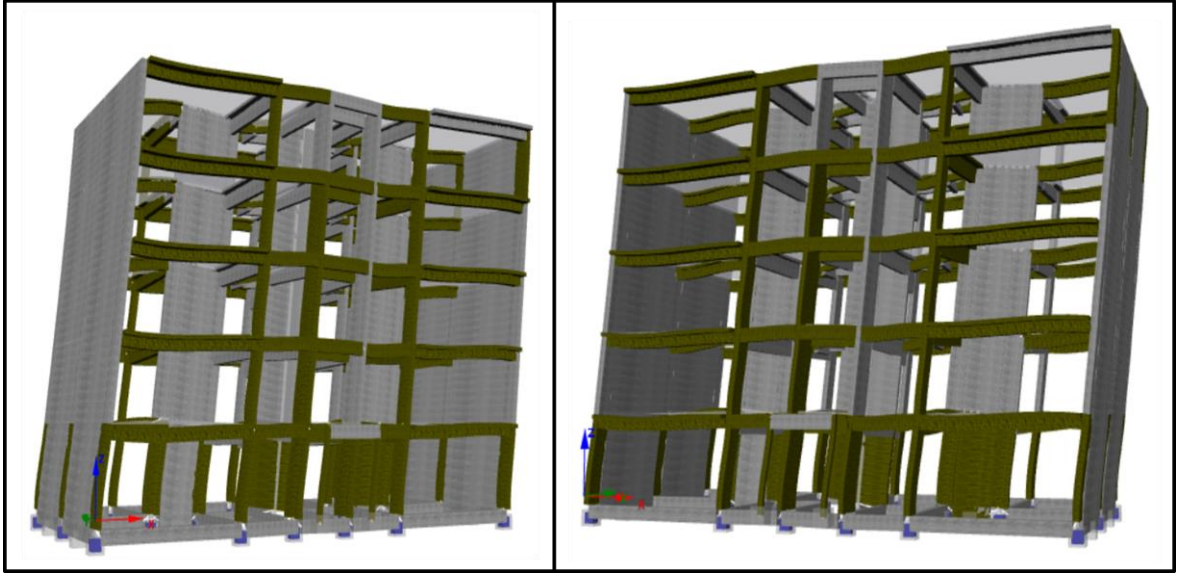
Şekil 7.11’de, M1 modelinde donatısı akma sınırına ulaşan elemanların hem kolonlarda hem de kirişlerde yaygın bir şekilde görüldüğü gözlemlenmektedir. Bu durum, deprem etkisi altında yapı sisteminin X doğrultusundaki sünek davranışını ve enerji tüketiminin yoğunlaştığı kritik elemanları ortaya koymaktadır. Özellikle alt katlardaki düşey taşıyıcı elemanlarda akma oluştuğu görülmekte olup, bu bölgeler yapının eşdeğer deprem yükleri altında maksimum iç kuvvetlere maruz kaldığını göstermektedir. Paspayı dökülen (kabuk atan) elemanlar aşağıdaki Şekil.7.12’de gösterilmiştir.



Şekil 7.12: M1 modelinde uzun doğrultuda (X) paspayı dökülen elemanlar.

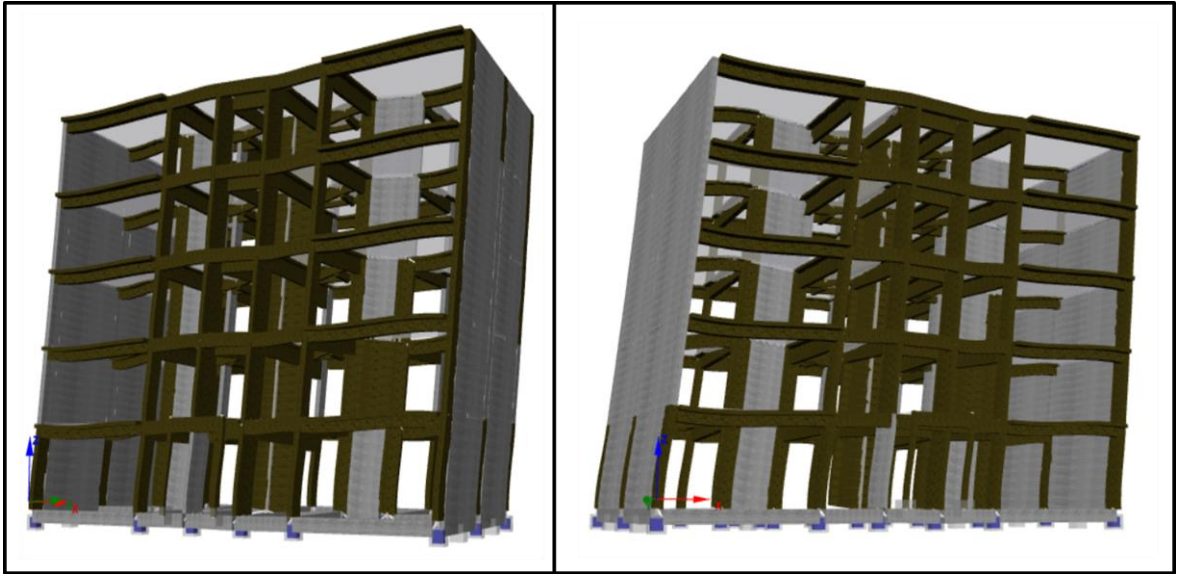
Şekil 7.12’de, M1 modelinde dökülme hasarı, özellikle zemin kat ve birinci kat kolonlarının alt ve üst uçlarında yoğunlaşmıştır. Şekilde deprem etkisi altında paspayı dökülmesine neden olan yüksek gerilme ve çatlama oluşumlarını temsil etmektedir. Bu durum özellikle alt katlardaki kolon ve kirişlerde yoğunlaşmakta olup, yapının X doğrultusundaki zorlanma dağılımını ve hasarın yüzeysel betondan başlayarak ilerlediğini göstermektedir.

M2 modelinde; uzun doğrultuda (X) koda dayalı kontrollerde çıkan sonuçlardan, dönme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar Şekil.7.13’te gösterilmiştir.



Şekil 7.13: M2 modelinde uzun doğrultuda (X) dönme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.

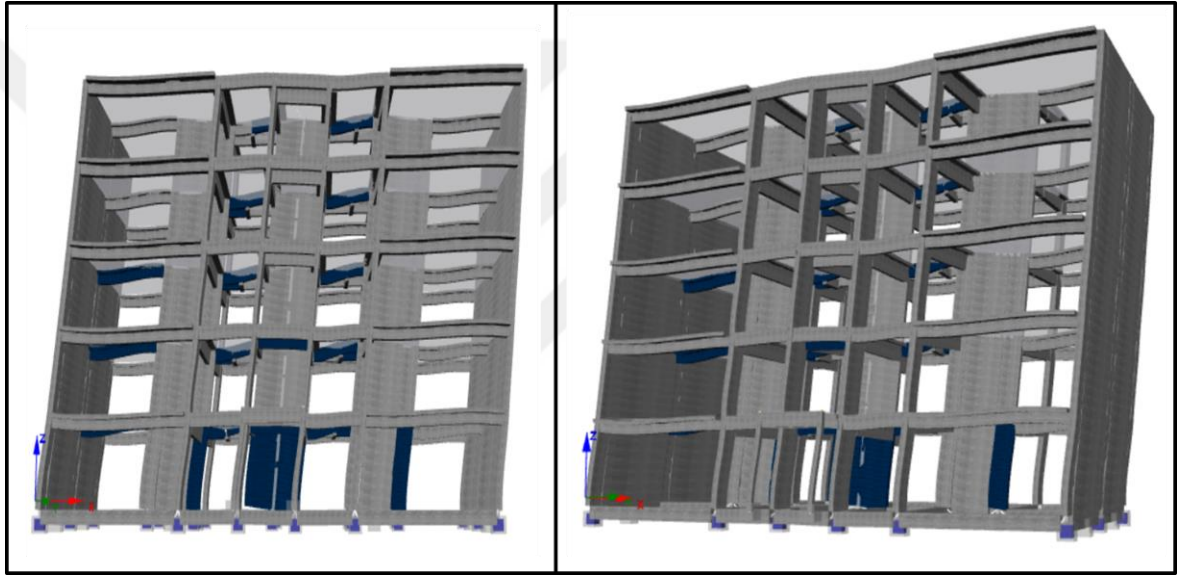
Şekil 7.13'te, M2 modelinde uzun doğrultuda (X yönünde) dönme kapasitesi yetersizliği oluşan elemanlar gösterilmektedir. Şekilde deprem etkisi altında plastik dönme taleplerinin kesit dönme kapasitelerini aştığı kritik elemanları temsil etmektedir. Özellikle alt katlarda yoğunlaşan bu yetersizlikler, M2 modelinin X doğrultusunda daha sınırlı bir süneklik performansı sergilediğini ve yapısal hasarın plastik mafsal oluşum bölgelerinde belirginleştiğini ortaya koymaktadır. Kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar Şekil.7.14'te gösterilmiştir.



Şekil 7.14: M2 modelinde uzun doğrultuda (X) kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.

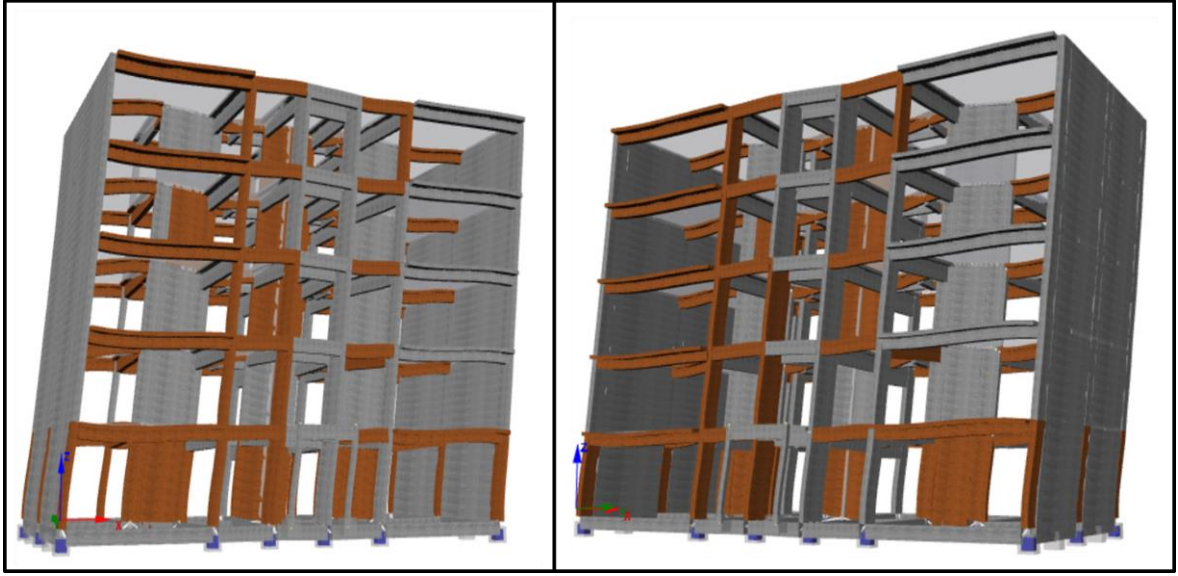
Şekil7.14'te, M2 modelinde gözlemlenen kesme yetersizlikleri, üst katlara yayılmış şekilde ve çoğunlukla kirişlerde yoğunlaşmaktadır. Bu durum, kirişlerin yatay yükten kaynaklanan yüksek kesme talebini karşılayamadığını göstermektedir. M2 modeline eklenen perde duvarlar, rijitlikleri sayesinde yatay yükün büyük kısmını üstlenmiş ve kolonlarda biriken kesme kuvvetini önemli ölçüde azaltmıştır. Kesme yetersizliklerinin alt kat kolonlarından kirişlere ve üst katlara kayması, sistemin genel güvenlik seviyesini yükseltmiş, hasarın daha az kritik bölgelerde yoğunlaşmasını sağlayarak daha güvenli bir göçme sırası oluşturmuştur.

Şekil 7.15'te, aynı analiz kapsamında, uzun doğrultuda (X) performans kriterlerine dayalı olarak çekirdeği ezilen elemanlar gösterilmiştir.



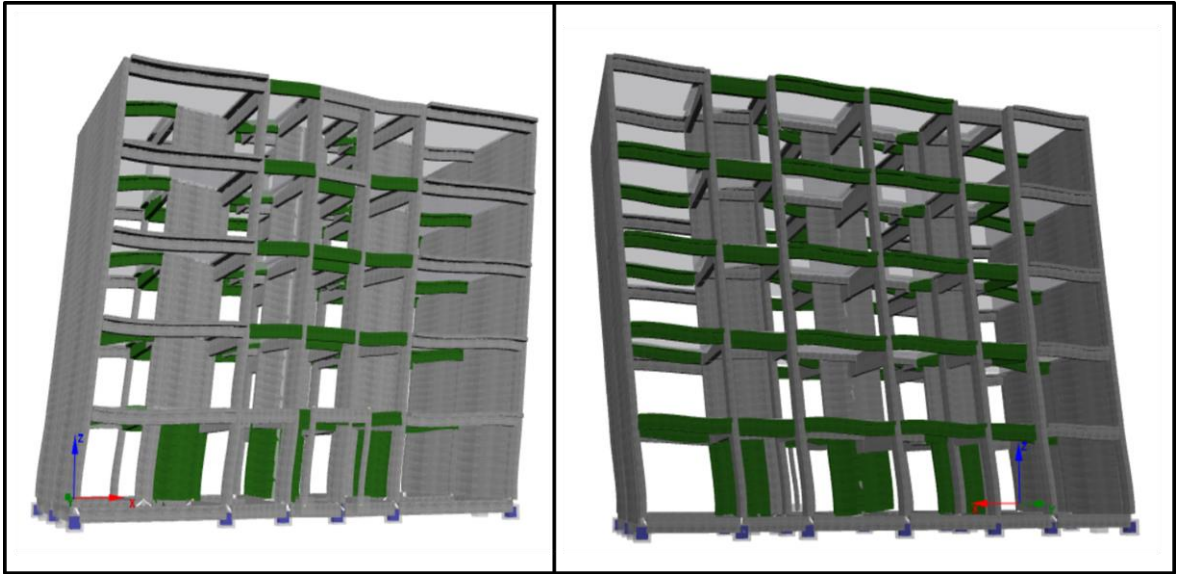
Şekil 7.15: M2 modelinde uzun doğrultuda (X) çekirdeği ezilen elemanlar.

Şekil7.15'te, M2 modelinde çekirdek ezilmesi hasarı ağırlıklı olarak kirişlerde ve özellikle kiriş uçlarında yoğunlaşmıştır. Bu durum, kirişlerin enerji yutma hedefi doğrultusunda sünek davranış sergilediğini, ancak yüksek deformasyon taleplerinin beton çekirdeğinde hasara yol açtığını göstermektedir. Perde duvarlar, rijitlikleri sayesinde alt kat kolonlarındaki eksenel yük ve dönme taleplerini azaltmış, böylece kolonlar çekirdek ezilmesi hasarından korunmuştur. Bu durum, olası bir depremde yapının genel bütünlüğünü ve ayakta kalma kapasitesini önemli ölçüde artırmaktadır. Donatısı akan elemanlar aşağıdaki Şekil7.16'da gösterilmiştir.



Şekil 7.16: M2 modelinde uzun doğrultuda (X) donatısı akan elemanlar.

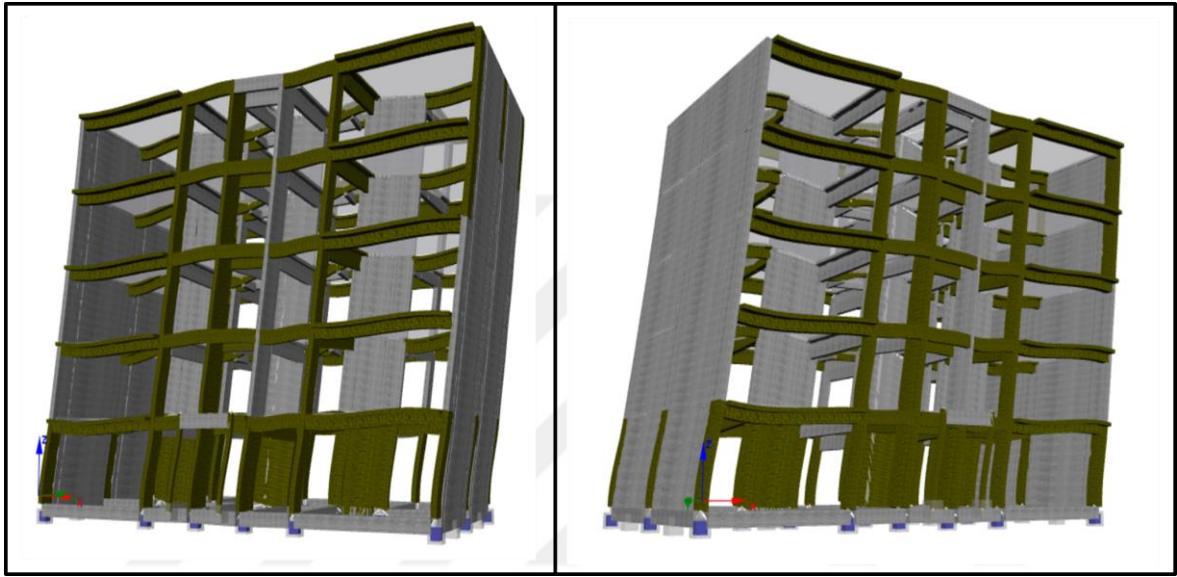
Şekil7.16’da, M2 yapı modelinin uzun doğrultuda (X) artımsal statik yükler altındaki nihai hasar dağılımı incelendiğinde, donatısında akma (plastikleşme) meydana gelmiş taşıyıcı elemanlar turuncu renkle gösterilmiştir. Plastik mafsallar özellikle alt kat kolonlarının uç bölgelerinde yoğunlaşmıştır. Bu durum, süneklik talebinin kolonlarda toplandığını ve potansiyel bir kolon hasar mekanizması oluşumu eğilimi gösterdiğini ortaya koymaktadır. Dolayısıyla, güçlü kolon–zayıf kiriş prensibi kısmen sağlanamamış olup, bu durum yapısal performans açısından kritik bir bulgu olarak değerlendirilmektedir. Paspayı dökülen (kabuk atan) elemanlar aşağıdaki Şekil.7.17’de gösterilmiştir.



Şekil 7.17: M2 modelinde uzun doğrultuda (X) paspayı dökülen elemanlar.

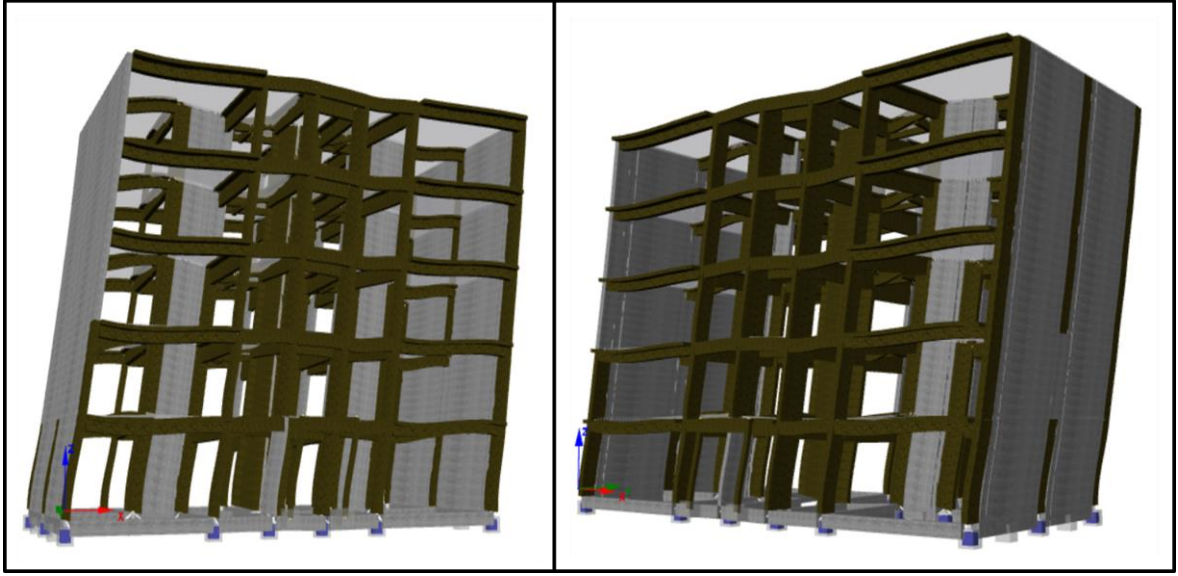
Şekil 7.17’de, M2 modelinde zemin kat kolonlarında paspayı dökülmesine rastlansa da M1 modeline kıyasla bu hasar çok daha sınırlı kalmıştır. Paspayı dökülmesinin az olması, kolonlarda biriken dönme ve deformasyon taleplerinin, eklenen perde duvarlar sayesinde önemli ölçüde azaltıldığını gösterir.

M3 modelinin analiz sonuçları incelendiğinde, uzun doğrultuda (X yönü) yapılan koda dayalı kontroller sonucunda dönme kapasitesi yetersizliği tespit edilen elemanlar Şekil 7.18’de gösterilmiştir.



Şekil 7.18: M3 modelinde uzun doğrultuda (X) dönme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.

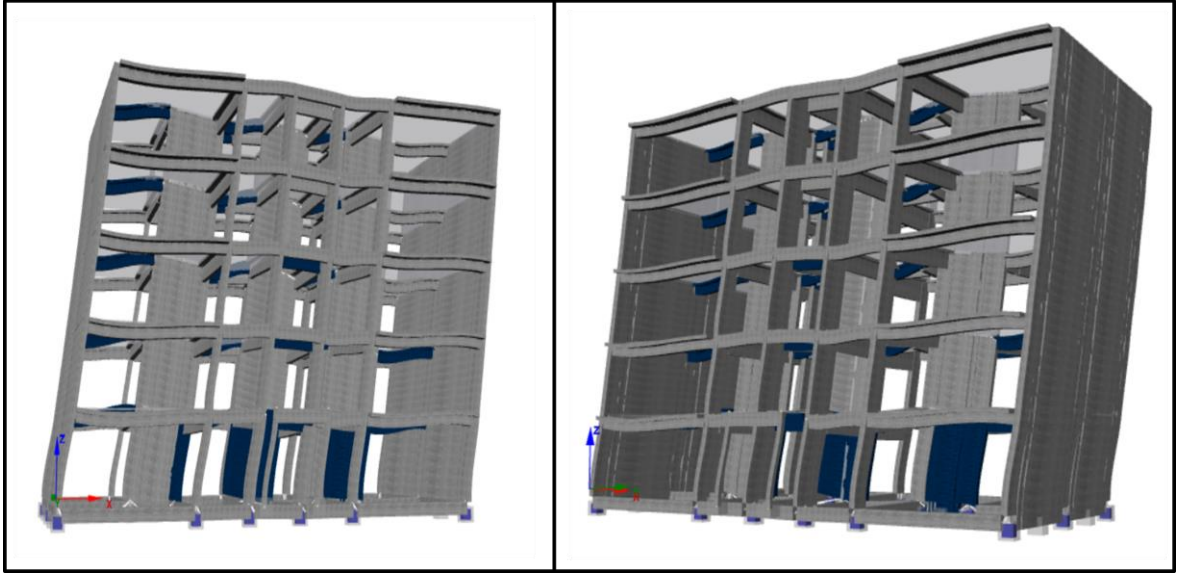
Şekil 7.18’de, M3 modelinde belirgin eğilme deformasyonları ve plastikleşme görülen elemanlar, genellikle zemin katlarda yoğunlaşmıştır. Uzun doğrultuda (X) yapıları yatay yükleme altında, kolon ve perdelerin taban ile alt kat uçlarında meydana gelen plastik dönmeler kapasite limitini aşmıştır. Özellikle zemin ve alt kat kolonları ile perde tabanlarındaki hasar, bu elemanların kritik olduğunu ve X yönündeki yer değiştirme taleplerini karşılamakta yetersiz kaldığını göstermektedir. Bu durum, M3 modelinin X doğrultusunda deprem performans hedefini sağlayamadığını ortaya koymaktadır. Kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar Şekil. 7.19’da gösterilmiştir.



Şekil 7.19: M3 modelinde uzun doğrultuda (X) kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.

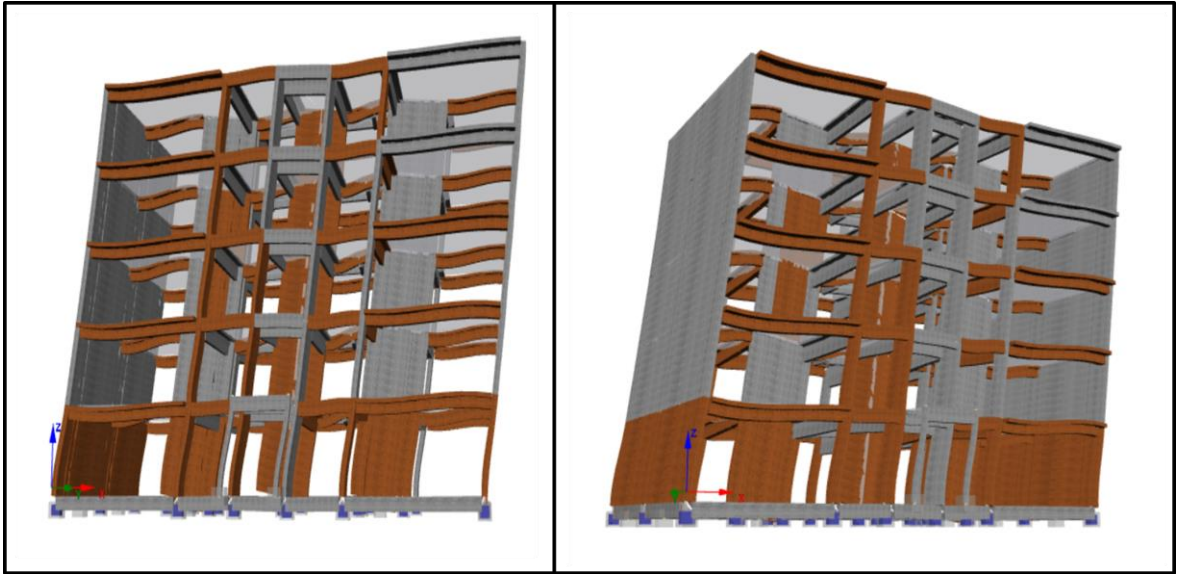
Şekil 7.19’da, özellikle zemin katta ve alt katlarda bulunan düşey taşıyıcı elemanlarda belirgin kesme yetersizliği olduğunu işaret etmektedir. Bu yetersizlikler, kolonların orta bölgelerinde yoğunlaşmış ve alt katlardaki bu yoğunlaşma, depremde oluşan büyük kat kesme kuvvetlerinin bu elemanlara aşırı yük bindirdiğini göstermektedir. Yapının uç bölgelerinde yer alan yapısal perdelerde kesme yetersizliği görülmemesi, perdelerin bu yöndeki kesme talebini karşıladığını düşündürülebilir. M3 modelinin X doğrultusunda can güvenliği performansı açısından ciddi riskler taşıdığını açıkça göstermektedir.

Ayrıca, M3 modelinde performans kriterlerine dayalı değerlendirme sonucunda çekirdek betonunda ezilme meydana gelen elemanlar Şekil 7.20’de gösterilmiştir.



Şekil 7.20: M3 modelinde uzun doğrultuda (X) çekirdeği ezilen elemanlar.

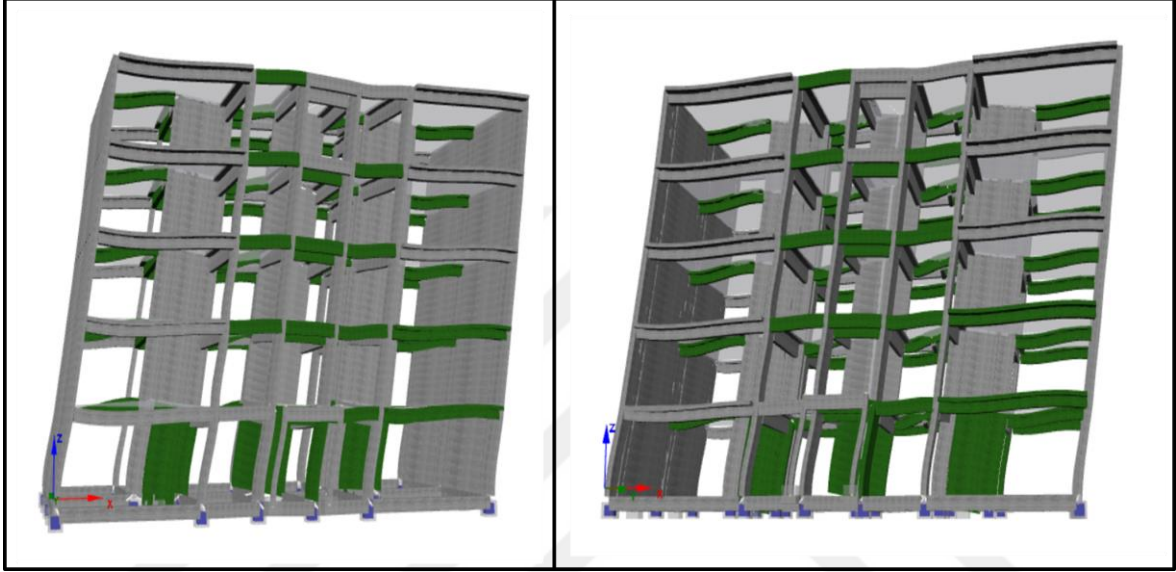
Şekil 7.20’de, M3 modelinde çekirdeği ezilen elemanların büyük bir çoğunluğu, zemin kat ve üst katlardaki düşey taşıyıcı elemanların uçlarında yoğunlaşmıştır. Özellikle zemin kat perde duvarların tabanlarında ve üst katlara doğru devam eden perde duvarların mafsallı bölgelerinde yoğunlaşan ezilmeler, bu elemanların X yönündeki yüksek eğilme momentleri ve aksel kuvvetler altında aşırı zorlandığını göstermektedir. Donatısı akan elemanlar aşağıdaki Şekil.7.21’de gösterilmiştir.



Şekil 7.21: M3 modelinde uzun doğrultuda (X) donatısı akan elemanlar.

Şekil 7.21’de, özellikle zemin katta bulunan tüm düşey taşıyıcı elemanların yani hem güçlendirme için eklenen perdelerin hem de yapının ilk tasarımına esas elemanlarının

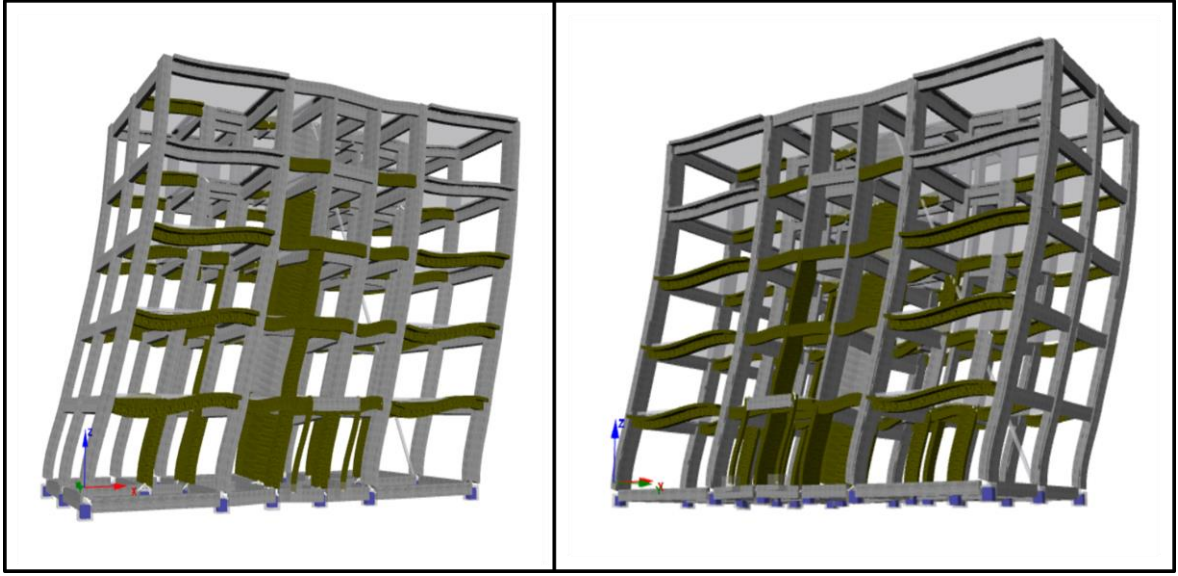
perde duvarlarının uçlarında yaygın bir donatı akması olduğunu göstermektedir. Bu, perde duvarların eğilme momentlerinin akma momentini aştığını ve plastik mafsalların burada oluştuğunu belirtir. Yatay taşıyıcı elemanları olan kirişlerde de donatı akması görülmektedir. Bu, çerçeve sistemin bir kısmının beklenen kiriş uçlarında mafsallaşma oluştuğunu gösterir. Ancak, perde duvarlarındaki donatı akmasının yaygınlığı, kirişlerdeki mafsallaşmanın yeterli sistem sünekliğini sağlamakta yetersiz kaldığını gösterir. Paspayı dökülen (kabuk atan) elemanlar aşağıdaki Şekil.7.22’de gösterilmiştir.



Şekil 7.22: M3 modelinde uzun doğrultuda (X) paspayı dökülen elemanlar.

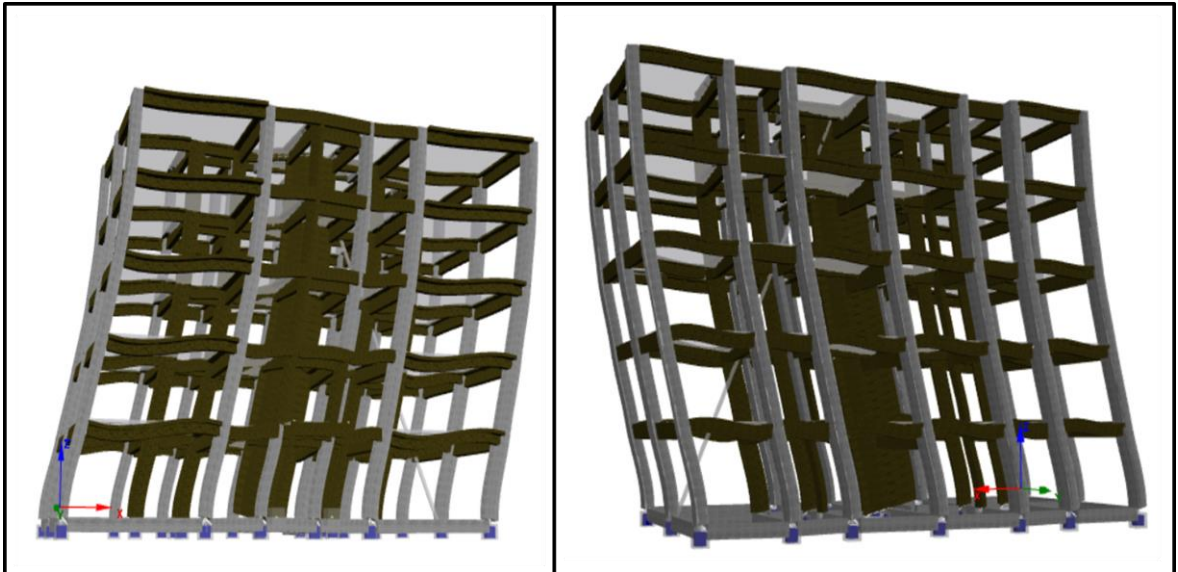
Şekil 7.22’de, M3 modelinin uzun doğrultuda (X yönü) paspayı dökülen elemanlar, özellikle zemin kat kolon-kiriş birleşim bölgelerinde ve orta akslardaki perdelerde paspayı dökülmesi meydana gelmiştir. Bu durum, deprem etkisi altında söz konusu bölgelerde kesme kuvveti ve eğilme momenti taleplerinin arttığını, dolayısıyla beton örtüsünün zarar görerek döküldüğünü göstermektedir. Üst katlarda ise paspayı dökülmesi daha sınırlı olup hasarın ağırlıklı olarak alt katlarda yoğunlaştığı izlenmektedir. Bu dağılım, taşıyıcı sistemde uzun doğrultuda oluşan talep seviyelerinin katlar arasında farklılaştığını ve alt kat elemanlarının daha yüksek hasar oranlarına maruz kaldığını ortaya koymaktadır.

M4 modelinde yapılan analizler sonucunda, uzun doğrultuda (X yönü) koda dayalı kontrollerde dönme kapasitesi yetersizliği tespit edilen elemanlar Şekil 7.23’te gösterilmiştir.



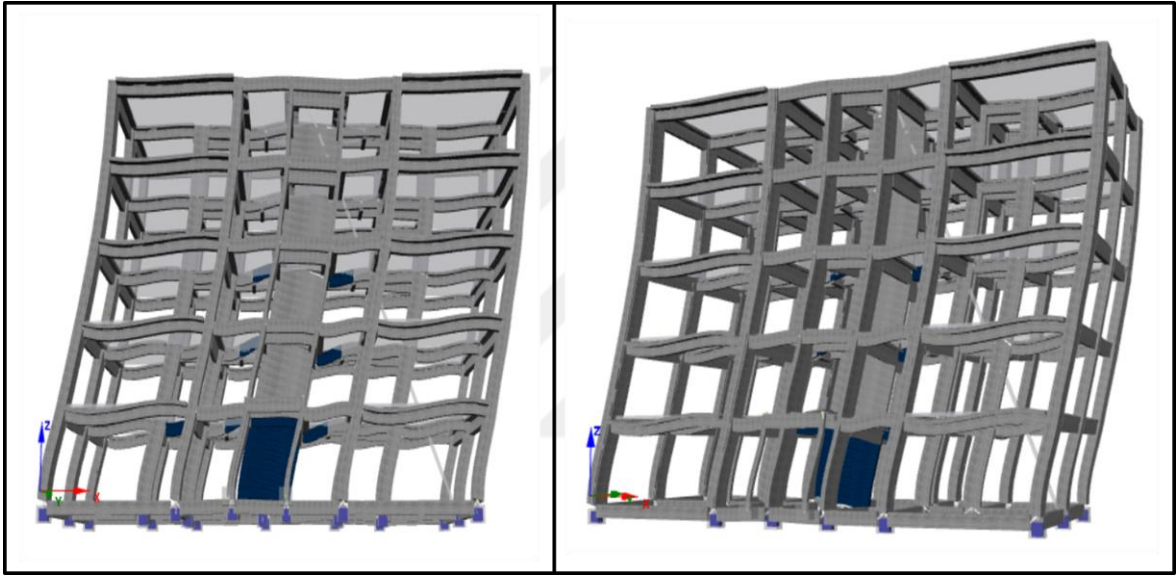
Şekil 7.23: M4 modelinde uzun doğrultuda (X) dönme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.

M4 modelinde gerçekleştirilen doğrusal olmayan statik itme analizi sonucunda, Şekil 7.23'te görüldüğü üzere maksimum yük faktörü altında dönme kapasitesi yetersizliği gösteren elemanların, zemin katta perde duvarlarda ve bazı taşıyıcı elemanlarda yoğunlaştığı belirlenmiştir. Üst katlarda ise özellikle 2. ve 3. kat perde duvarlarında ve yapısal sistemin tüm katlarında bulunan bazı iç taşıyıcı elemanlarda hasar oluştuğu gözlenmiştir. Kiriş uçlarında meydana gelen plastikleşme ve dönme kapasitesi yetersizliği, kirişlerin yeterli süneklik düzeyine sahip olmadığını ya da aşırı yüksek dönme taleplerine maruz kaldığını göstermektedir. Kesme kapasitesi yetersizliği tespit edilen elemanlar ise Şekil 7.24'te gösterilmiştir.



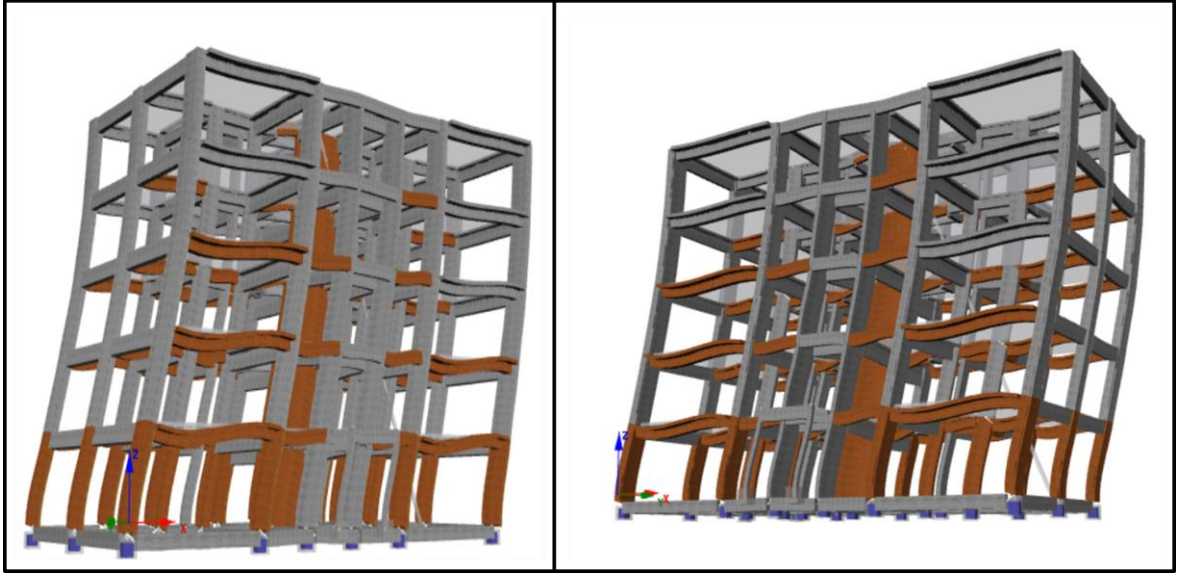
Şekil 7.24: M4 modelinde uzun doğrultuda (X) kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.

Şekil 7.24'te, M4 modelinde uzun doğrultuda (X) maksimum yük altında kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar ise yapısal sistemin tüm katlardaki perde duvarında ve iç kısımda bulunan taşıyıcı elemanlarında hasar olmuştur. Ayrıca X doğrultusunda, özellikle kirişlerdeki yaygın kesme yetersizliği nedeniyle can güvenliği performans hedefini karşılayamayacağını güçlü bir şekilde göstermektedir. M4 modelinde, uzun doğrultuda (X) performans kriterlerine dayalı çıkan sonuçlardan, çekideği ezilen elemanlar aşağıdaki Şekil 7.25'te gösterilmiştir.



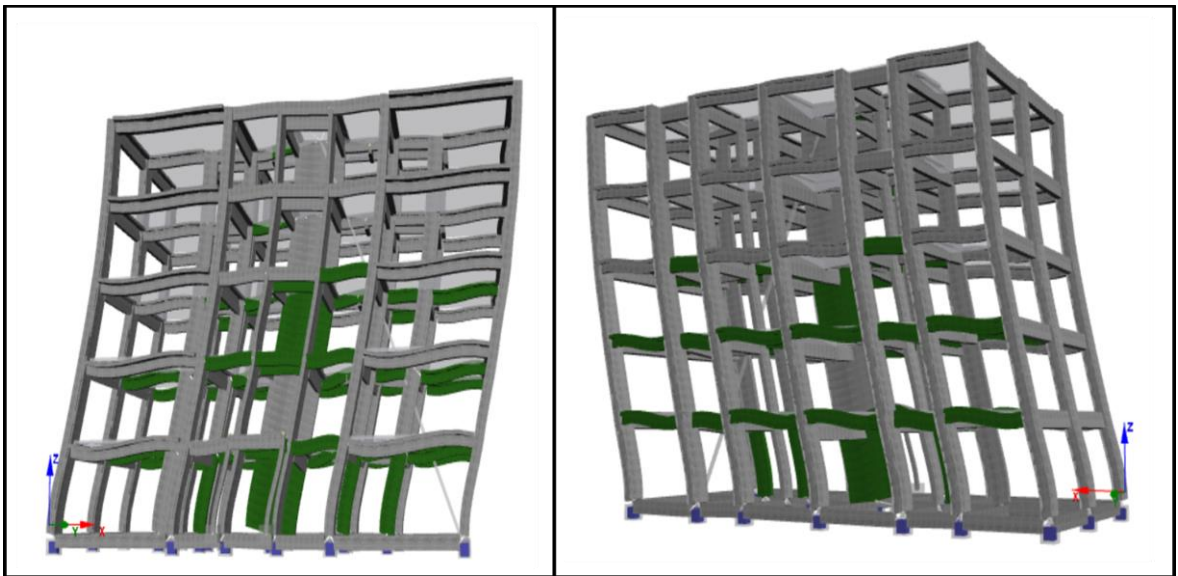
Şekil 7.25: M4 modelinde uzun doğrultuda (X) çekirdeği ezilen elemanlar.

Şekil 7.25'te, M4 modelinde maksimum kuvvet düzeyi altında çekirdek betonunda ezilme meydana gelen elemanlar gösterilmektedir. Bu kapsamda, zemin kattaki perde duvarda ile 1. ve 2. kat kirişlerinde belirgin hasar olduğu görülmektedir. Perde duvarın özellikle basınç kuvvetlerinin etkili olduğu uç bölgelerinde çekirdek betonun ezilmesi, bu elemanların X doğrultusunda maruz kaldığı yüksek eksenel yük ve eğilme momentleri altında sargı donatısının yetersiz kaldığını veya beton kalitesinin düşük olduğunu göstermektedir. Donatısı akan elemanlar ise Şekil 7.26'da sunulmuştur.



Şekil 7.26: M4 modelinde uzun doğrultuda (X) donatısı akan elemanlar.

Şekil 7.26’da, M4 modelinin uzun doğrultuda (X yönü) donatısı akan elemanlar, donatı akması özellikle zemin kat kolonları ile perde uç bölgelerinde yoğunlaşmaktadır. Alt katlarda oluşan yüksek eğilme momentleri ve eksenel kuvvet talepleri, bu bölgelerde donatıların akma sınırına ulaşmasına neden olmuştur. Üst katlarda ise akma daha sınırlı olup hasarın büyük ölçüde alt kat elemanlarında toplandığı görülmektedir. Bu durum, M4 modelinde uzun doğrultudaki deprem taleplerinin alt katlarda daha belirgin şekilde büyüdüğünü ve taşıyıcı sistem davranışının bu doğrultuda plastik şekil değiştirmeye yöneldiğini göstermektedir. Paspayı dökülen (kabuk atan) elemanlar aşağıdaki Şekil 7.27’de gösterilmiştir.

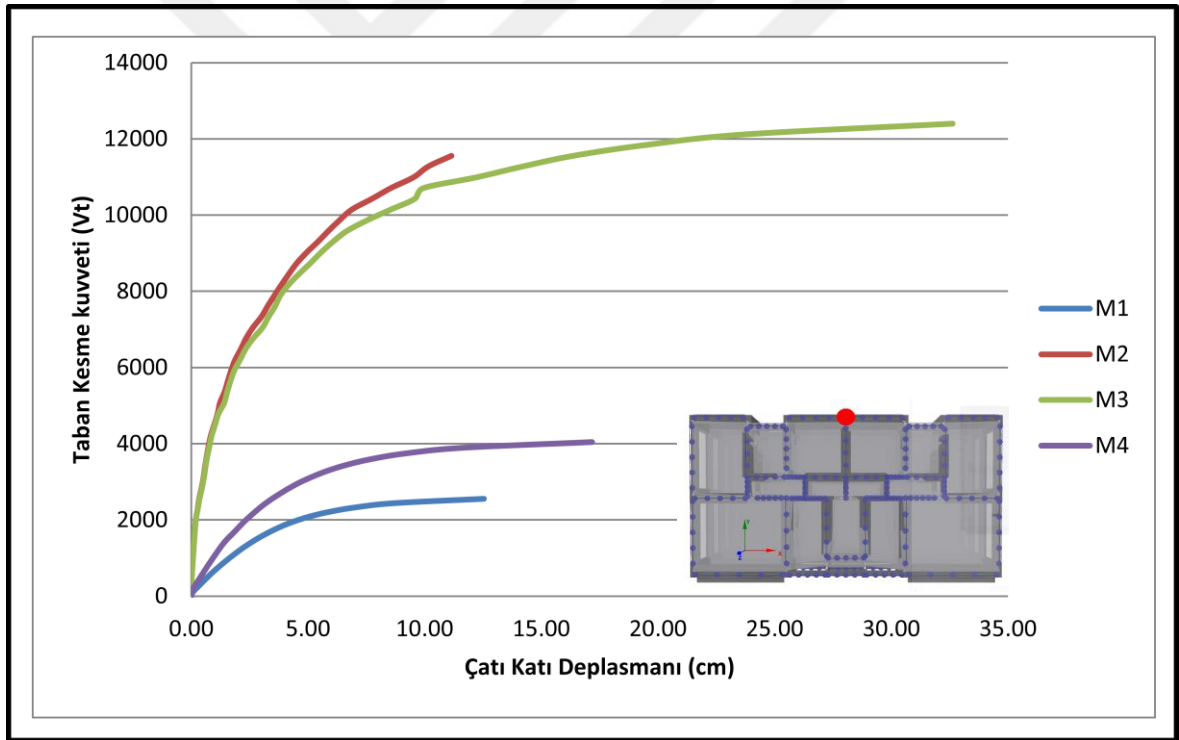


Şekil 7.28: M4 modelinde uzun doğrultuda (X) paspayı dökülen elemanlar.

Şekil 7.28’de, M4 modelinde uzun doğrultuda (X yönü) paspayı dökülmesi meydana gelen elemanlar gösterilmektedir. Bu kapsamda, zemin kat ve 2. kat perde duvarlarında; ayrıca zemin kattaki bazı iç kolon ve kirişlerde ile 1. ve 2. katlardaki iç kirişlerde hasar olduğu belirlenmiştir. Kirişlerde gözlenen paspayı dökülmesi, plastik mafsallık bölgelerinin yüksek dönme talepleri altında zorlandığını göstermektedir. Bununla birlikte, perde duvarın taban bölgesinde meydana gelen paspayı dökülmesi, bu bölgelerdeki sargı donatısının kritik düzeyde yetersiz olduğunu veya elemanın maruz kaldığı aksel yüklerin oldukça yüksek olduğunu işaret etmektedir.

7.2.2 Kısa doğrultudaki (Y) analiz sonuçları

İncelenen yapının tüm modelleri için kısa doğrultuda kuvvet esaslı olarak gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen doğrusal olmayan statik itme analizi sonuçları Şekil 7.29 ve Şekil 7.30’da gösterilmiştir.



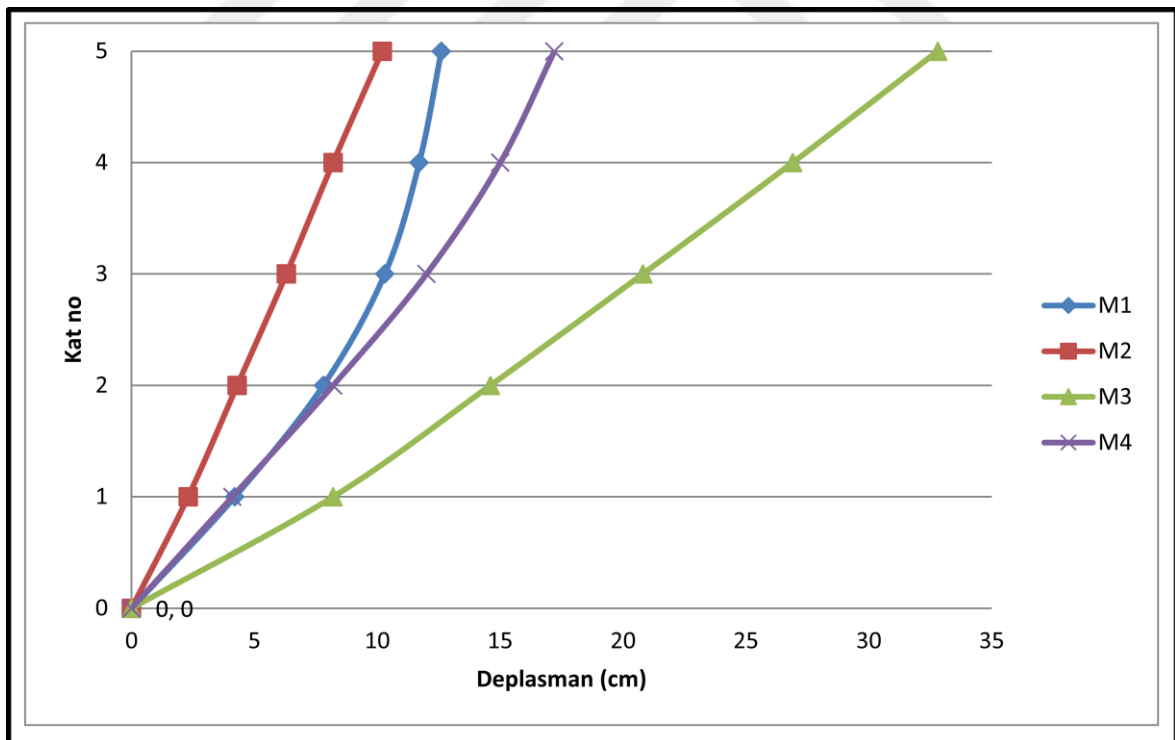
Şekil 7.29: Kısa doğrultudaki (Y) taban kesme kuvveti ve çatı katı deplasman grafiği.

Şekil 7.29 incelendiğinde, yapılan analizler sonucunda M3 modelinin en yüksek taşıma kapasitesine sahip yapı modeli olarak öne çıktığı görülmektedir. Bu modelde çatı katı deplasmanı yaklaşık 32 cm’ye ulaşırken, taban kesme kuvveti yaklaşık 12.500 kN olarak hesaplanmıştır. Elde edilen bu sonuçlar, M3 modelinin yüksek enerji yutma kapasitesine ve süneklik düzeyine sahip olduğunu göstermektedir. Eklenen güçlendirme

perdeleri ve perde başlıklarının, yapısal sisteme hem taşıma kapasitesi hem de süneklik kazandırdığı anlaşılmaktadır.

M2 modeli, başlangıçta M3 modeline benzer bir rijitlik sergilemekle birlikte, taban kesme kuvvetinin yaklaşık 11.000 kN seviyesinde kaldığı ve deplasman kapasitesinin daha sınırlı olduğu görülmektedir. Bu durum, M2 modelinin M3'e kıyasla daha düşük süneklik düzeyine sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Güçlendirme amacıyla eklenen perde duvarların başlıksız olarak düzenlenmesinin, yapının sünek davranışını olumsuz etkilediği değerlendirilmektedir.

M4 modeli ise yaklaşık 4.000 kN taban kesme kuvveti ve 14 cm çatı katı deplasmanı ile orta düzeyde rijitlik ve süneklik sergilemektedir. En düşük taşıma kapasitesi ve deplasman değerleri ise M1 modeline, yani yapının güçlendirme öncesi ilk durumuna aittir. Bu modelde çatı katı deplasmanı yaklaşık 11 cm, taban kesme kuvveti ise yaklaşık 2.500 kN olarak belirlenmiştir. Genel olarak, yapıya eklenen rijit elemanların kısa doğrultudaki yatay taşıma kapasitesini ve sünekliği önemli ölçüde artırdığı görülmektedir



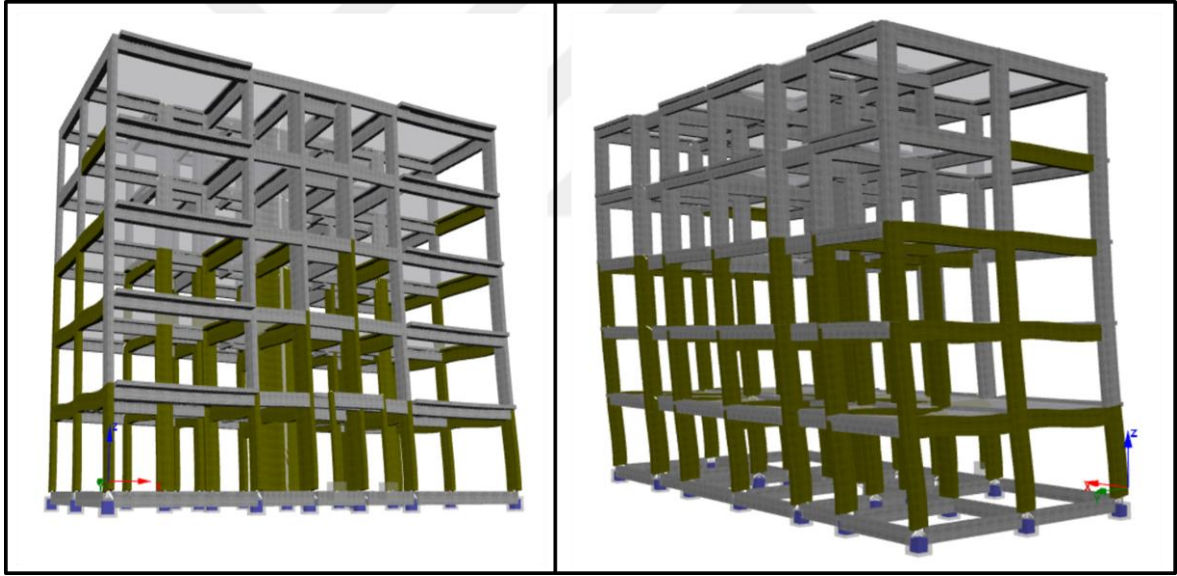
Şekil 7.30: Kısa doğrultudaki (Y) katlara göre çatı katı deplasman grafiği.

Şekil 7.30 grafiği incelendiğinde, M3 modeli, en büyük çatı katı deplasmanına (32 cm) ulaşan yapı olarak dikkat çekmektedir. M3 modelinin katlara göre neredeyse doğrusal

artan bir deplasman profiline sahip olduğu gör÷lmektedir. Bu durumda yapı s÷nek bir davranış sergilemiştir. Buna karşın, M2 modeli, en düşük çatı katı deplasmanına (12 cm) ulaşmış ve daha dik bir eğri göstermiştir.

M1 ve M4 modelleri ise orta seviyede yatay deplasmanlara ulaşmakta olup, M1 yaklaşık 11 cm, M4 ise 18 cm seviyesinde çatı deplasmanına sahiptir. M4 modelinin eğrisi, alt katlarda daha rijit bir davranış sergilerken, üst katlarda daha fazla deplasman meydana geldiğini göstermektedir. Bu durum, üst katlarda rijitliğin azaldığını ya da yük aktarımının farklılaştığını işaret eder.

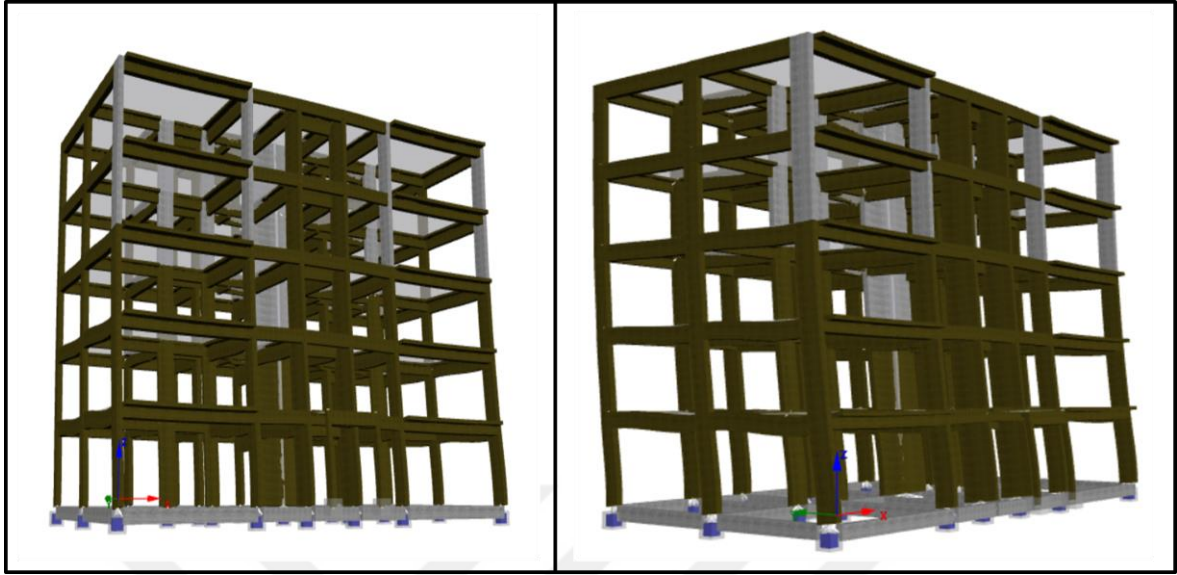
Ayrıca, kısa doğrultuda (Y yönü) kuvvet esaslı olarak gerçekleştirilen analizlerde, M1, M2, M3 ve M4 modelleri için koda ve performans kriterlerine dayalı analiz sonuçlarına ait şekiller aşağıda sunulmuştur. Bu kapsamda, M1 modelinde kuvvet esaslı yapılan analizler sonucunda, kısa doğrultuda (Y yönü) koda dayalı kontrollerde dönme kapasitesi yetersizliği tespit edilen elemanlar Şekil 7.31’de gösterilmiştir.



Şekil 7.31: M1 modelinde kısa doğrultudaki (Y) dönme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.

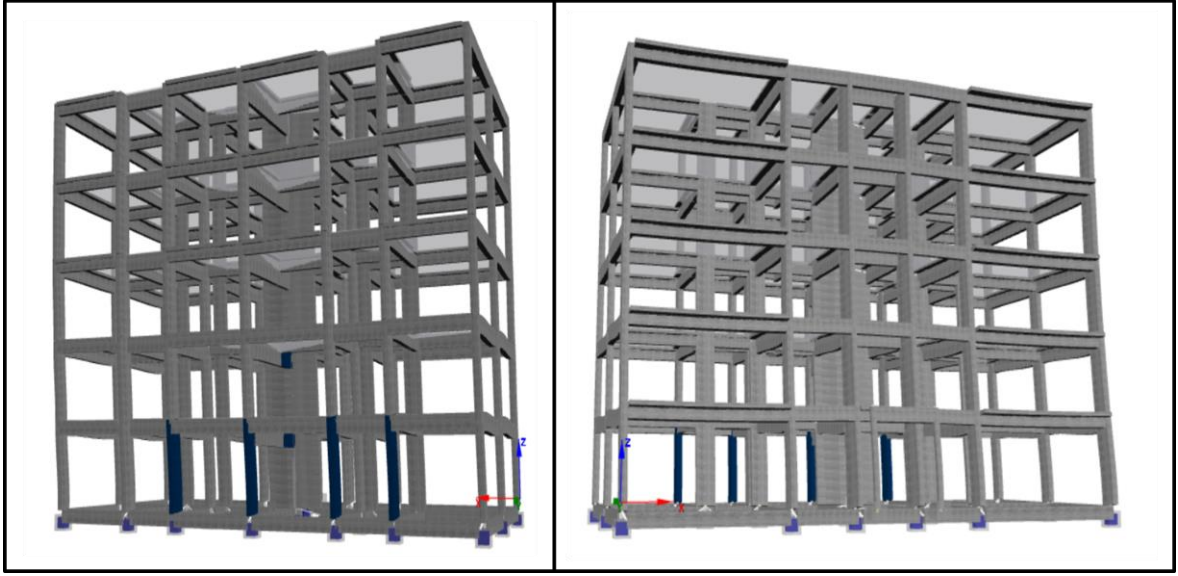
Şekil 7.31’de, analizler sonucunda, özellikle zemin kat ve birinci kat seviyesindeki kolonlar ile bazı kirişlerin Y doğrultusunda yetersiz dönme kapasitesine sahip olduğu gör÷lmüştür. Bu elemanlar, plastik mafsallık oluşumunun ardından tasarlanan sınır değerleri aşmakta ve yapının s÷neklik taleplerine yanıt verememektedir. Orta aksta yoğunlaşan bu yetersizlikler, M1 modelinin kısa doğrultuda düşük rijitlik ve sınırlı s÷neklik sergilediğini göstermektedir. Dolayısıyla, M1 modelinde kritik elemanların deprem etkileri altında

güvenli performans düzeyini sağlayamayabileceği sonucuna ulaşılmıştır. M1 modelinde kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar Şekil 7.32’de gösterilmiştir.



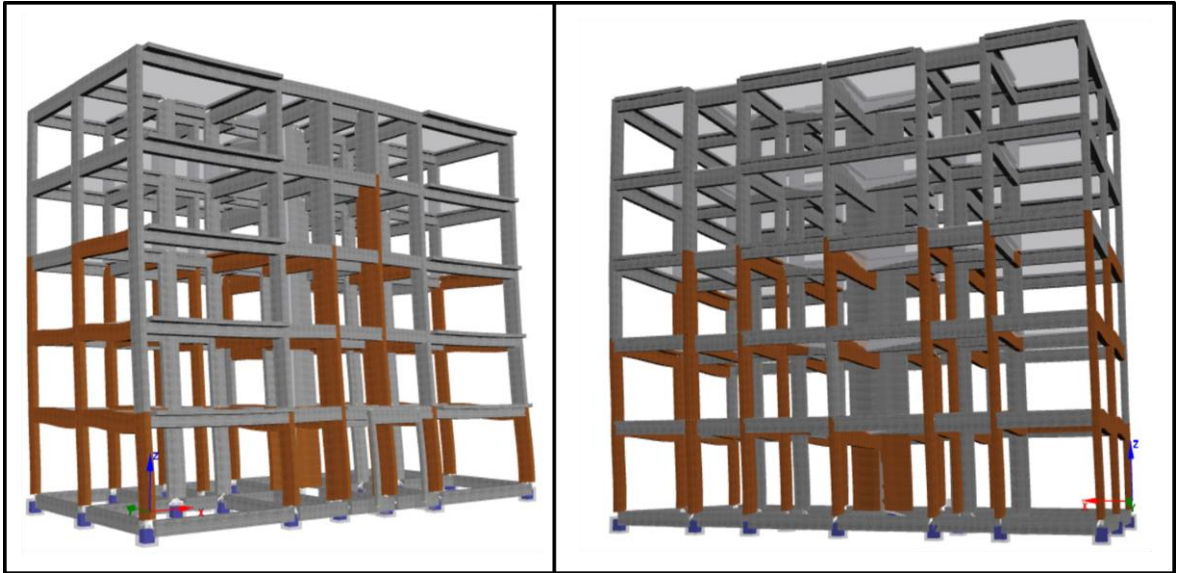
Şekil 7.32: M1 modelinde kısa doğrultudaki (Y) kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.

Şekil 7.32 incelendiğinde, M1 modelinin kısa doğrultuda (Y) kesme kapasitesi yetersiz elemanlarının dağılımını göstermektedir. Yetersizlikler özellikle zemin kat kolonlarında yoğunlaşmakta olup, yapının sismik yükler altında “zayıf kat” mekanizması geliştirme eğilimi taşıdığını ortaya koymaktadır. Bu durum, M1 modelinin kısa doğrultudaki deprem performansının güvenli seviyede olmadığını ve kolon kesme kapasitelerinin artırılmasının zorunlu olduğunu göstermektedir. M1 modelinin kısa doğrultuda (Y yönü) performans kriterlerine göre yapılan değerlendirmesi sonucunda, çekirdek betonunda ezilme oluşan elemanlar Şekil 7.33’te sunulmuştur.



Şekil 7.34: M1 modelinde kısa doğrultudaki (Y) çekirdeği ezilen elemanlar.

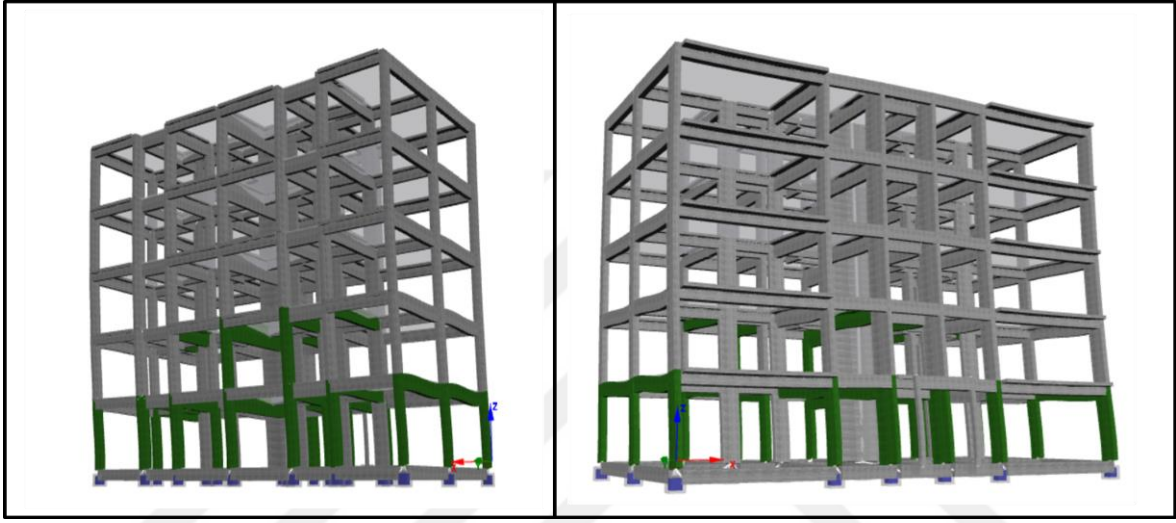
Şekil 7.34'te, M1 modelinde çekirdek ezilmesi hasarı gösteren elemanların tamamının zemin katta yer aldığı gözlemlenmektedir. Bu durum, yapının kısa doğrultuda taban kesme kuvvetlerini taşıyan alt kat kolonlarının kapasitelerinin yetersiz olduğunu ortaya koymaktadır. Model, mevcut haliyle 2018 TB DY'in öngördüğü can güvenliği performansını sağlamaktan uzaktır. Donatısı akan elemanlar aşağıdaki Şekil 7.35'te gösterilmiştir.



Şekil 7.35: M1 modelinde kısa doğrultuda (Y) donatısı akan elemanlar.

Şekil 7.35'te, M1 modelinde akma davranışı gösteren elemanların zemin kat, birinci kat ve ikinci kat kolonlarında yoğunlaştığı görülmektedir. Bu yaygın donatı akması,

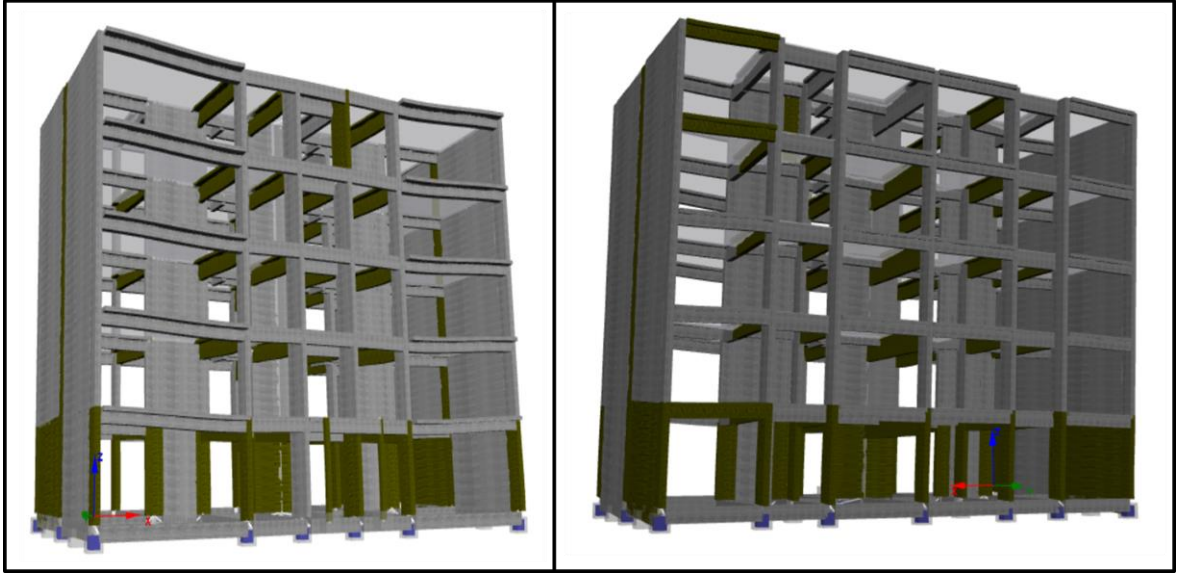
yapının tabanında oluşan yüksek eğilme momentlerinin elemanların moment kapasitelerini aştığını ve plastik mafsalların bu seviyelerde oluşmaya başladığını gösterir. Ayrıca donatı akması, özellikle alt ve orta katlarda yoğunlaşmıştır. Buda enerjinin büyük bir kısmının bu katlarda plastik deformasyon yoluyla sönmölenmeye çalıştığı anlamına gelir ve akmanın hem kolonlarda hem de bazı kirişlerde meydana geldiği gözlemlenmektedir. İdeal bir tasarımda "güçlü kolon-zayıf kiriş" prensibi hedeflenir. Ancak, alt katlarda kolonlarda yoğun akmanın görülmesi, bu prensibin tam olarak sağlanamadığını görölmüştür. Paspayı dökölen elemanlar aşağıdaki Şekil 7.36'da gösterilmiştir.



Şekil 7.36: M1 modelinde kısa doğrultuda (Y) paspayı dökölen elemanlar.

Şekil 7.36'da, M1 modelinde paspayı dökölmesinin, önceki hasar tiplerinde olduğu gibi, büyük oranda zemin kat kolonlarında ve buna ek olarak zemin kat ile birinci kat arasındaki kiriş uçlarında meydana geldiği gözlemlenmektedir ve alt kat elemanlarında görölen yaygın paspayı dökölmesi, yapının sismik enerji sönmöleme kapasitesinin kritik seviyede olduğunu göstermektedir. Bu hasar M1 modelinin mevcut sismik tasarımının can güvenliği performans hedefini karşılayamadığını açıkça ortaya koymaktadır.

M2 modelinde, kısa doğrultuda (Y yönü) koda dayalı kontroller sonucunda dönme kapasitesi yetersizliği tespit edilen elemanlar Şekil 7.37'de gösterilmiştir.



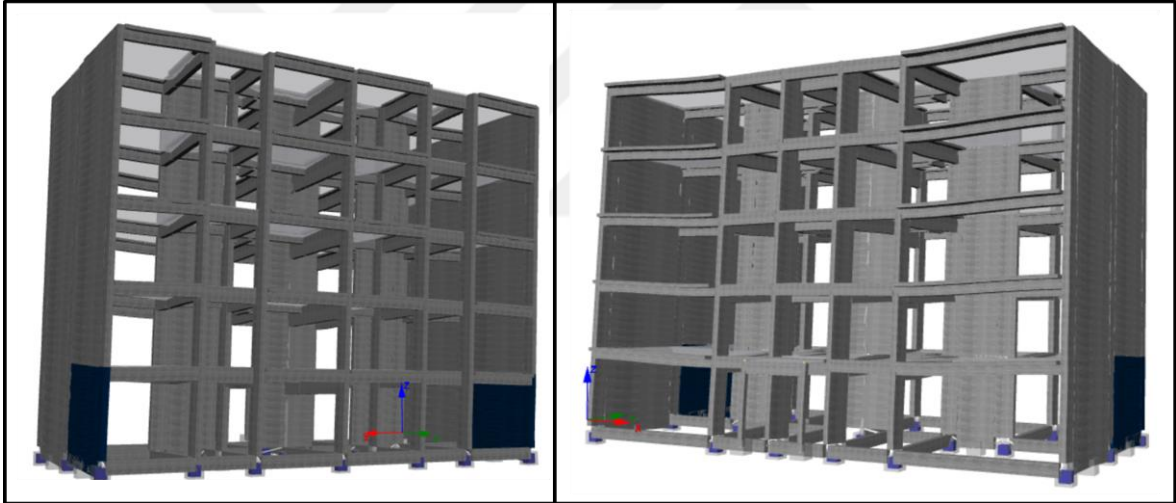
Şekil 7.37: M2 modelinde kısa doğrultudaki (Y) dönme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.

Şekil 7.37’de, M2 modelinde yapılan analizler, dönme kapasitesi yetersizliklerinin zemin kat kolonları ve üst kat kirişlerinde yoğunlaştığını göstermektedir. Yetersizliklerin üst kat kirişlerine yayılması, kuvvetlerin elemanlar arasında yeniden dağıldığını ve eklenen perdelerle birlikte yapının davranışının değiştiğini göstermektedir. Zemin kat kolonlarındaki yetersizlikler ise, yapının kısa doğrultuda zayıf kat mekanizması geliştirme potansiyelinin tamamen ortadan kaldırılamadığını ve süneklik taleplerini karşılayamadığını doğrulamaktadır. Aslında yapının güçlendirme esnasında kısa doğrultuda orta aksa da perde duvar eklenmesinin zaruri olduğunu göstermektedir. Kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar Şekil 7.38’de gösterilmiştir.



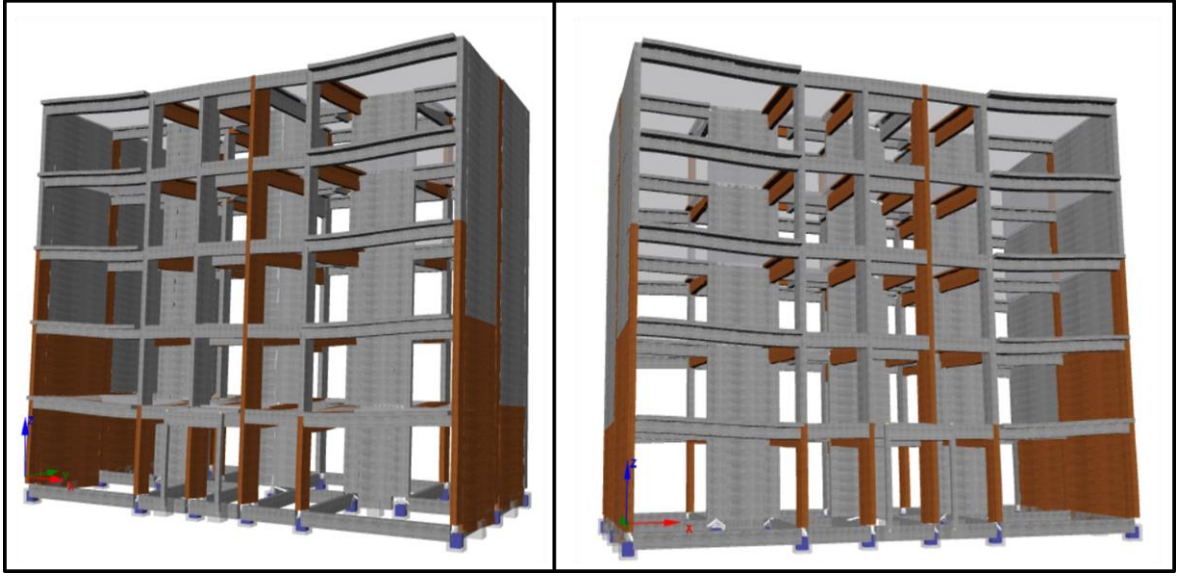
Şekil 7.38: M2 modelinde kısa doğrultudaki (Y) kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.

Şekil 7.38’de, kesme kapasitesi yetersizliği gösteren elemanların büyük çoğunluğunun kirişlerde yoğunlaştığı ve özellikle orta ve üst katlarda yaygınlaştığı görülmektedir. Önceki M1 modelinde kesme yetersizlikleri alt kat kolonlarında yoğunlaşmışken, M2 modelinde bu yetersizlik kirişlere ve üst katlara kaymıştır. Bu durum, M2 modeline yapılan tasarım revizyonları ile kolonların kesme kapasitelerinin başarıyla artırıldığını, ancak kuvvet taleplerinin kirişlere yönlendirilerek ideal sismik davranış hedefine tam olarak ulaşamadığını göstermektedir. Alt kat kolonlarındaki kesme yetersizliklerinin belirgin şekilde azalması ise olumlu bir gelişme olarak değerlendirilmektedir. M2 modelinde kısa doğrultuda (Y yönü) performans kriterlerine dayalı değerlendirme sonucunda, çekirdek betonunda ezilme meydana gelen elemanlar Şekil 7.39’da gösterilmiştir.



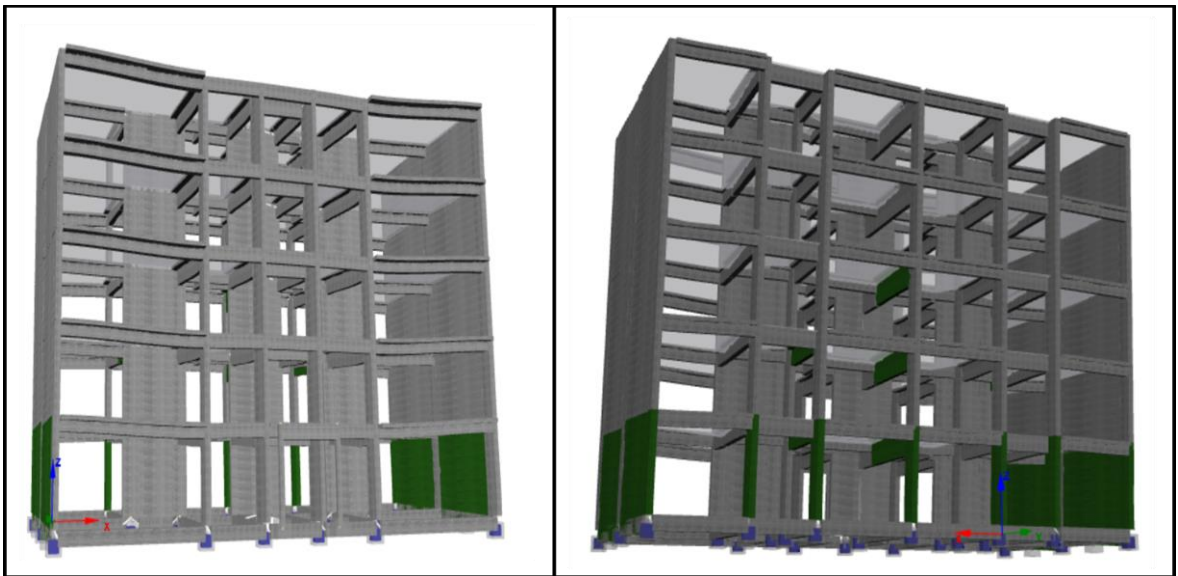
Şekil 7.39: M2 modelinde kısa doğrultudaki (Y) çekirdeği ezilen elemanlar.

Şekil 7.39’da, çekirdek ezilmesi hasarı, M2 modelinde yalnızca zemin katın dış kenarlarındaki yeni eklenen perde elemanlarında gözlemlenmiştir. İç bölgelerdeki kolonlarda bu hasar tipi görülmemektedir. Ezilme, en büyük sismik yükleri taşıyan ve burulma etkilerine daha açık olan dış kenar elemanlarında devam etmektedir. M2 modelinin bile Y doğrultusundaki en büyük deprem talebi altında sadece bu kritik dış elemanlarda can güvenliği performans sınırını zorladığını göstermektedir. Bunun temel sebebi ise perde başlıklarının olmaması. Donatısı akan elemanlar aşağıdaki Şekil 7.40’da gösterilmiştir.



Şekil 7.40: M2 modelinde kısa doğrultudaki (Y) donatısı akan elemanlar.

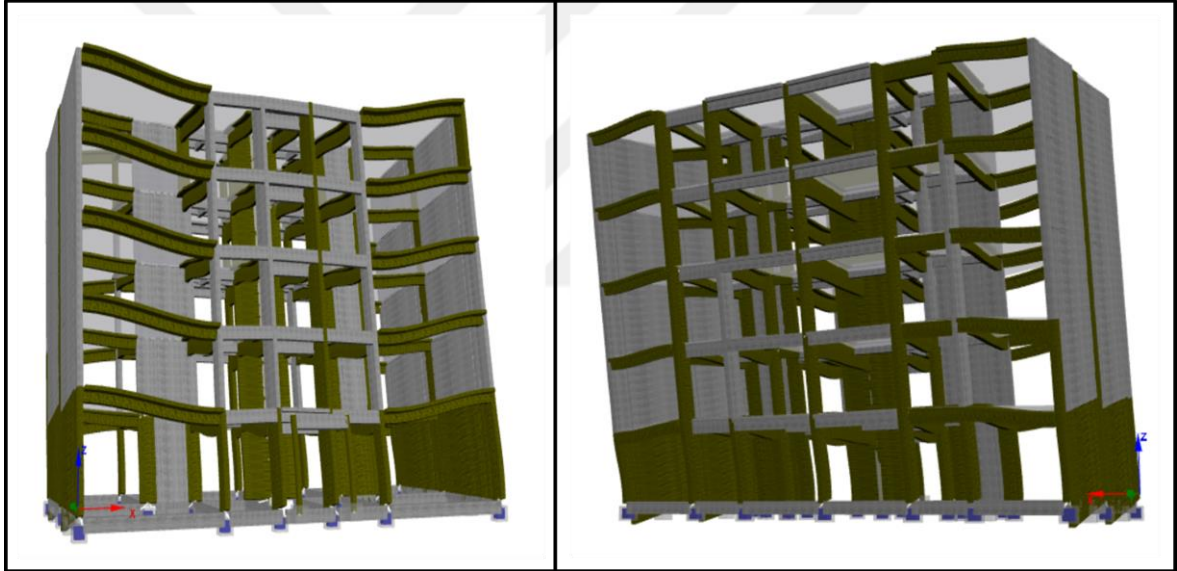
Şekil 7.40'ta, M2 modelinde donatısı akan elemanların; zemin kattaki güçlendirme yapılan tüm dış perde duvarlarında, 1. kattaki bazı dış perde duvarlarında ve tüm katlardaki belirli taşıyıcı elemanlarda meydana geldiği görülmektedir. Donatı akması, yapısal elemanların enerji yutma kapasitesini gösteren önemli bir performans göstergesidir ve özellikle kirişlerde kontrollü donatı akması tercih edilen bir davranış olarak değerlendirilmektedir. Ancak alt kat kolonlarında yaygın donatı akmasının gözlenmesi, olası bir yumuşak kat oluşumuna veya göçme mekanizmasının gelişimine işaret edebilmektedir. Paspayı dökülmesi (kabuk atma) meydana gelen elemanlar ise Şekil 7.41'de gösterilmiştir.



Şekil 7.41: M2 modelinde kısa doğrultudaki (Y) paspayı dökülen elemanlar.

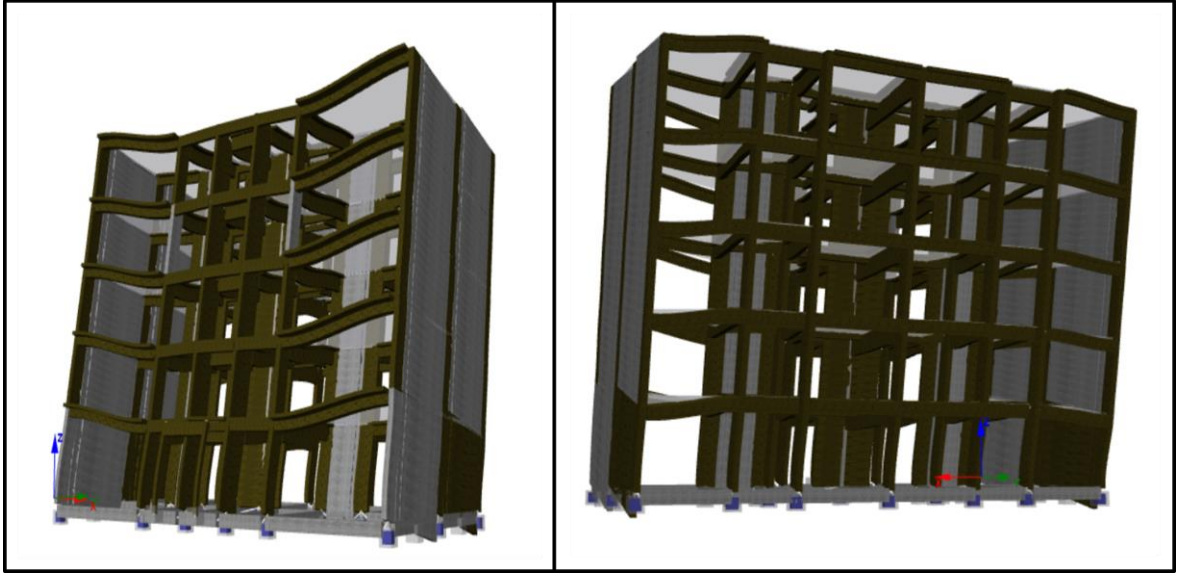
Şekil 7.41’de, kısa doğrultuda (Y yönü) paspayı dökülmesi meydana gelen elemanların; zemin kattaki güçlendirme yapılan dış perde duvarlarında ve bazı taşıyıcı elemanlarda, ayrıca 1. ve 2. katlarda yalnızca kiriş elemanlarında olduğu görülmektedir. Zemin kattaki kolon ve perde duvarlarında bu tür bir hasarın meydana gelmesi, söz konusu elemanların önemli plastik şekil değiştirmelere maruz kaldığını ve yapının deprem enerjisinin büyük bir bölümünü bu bölgeler aracılığıyla yuttuğunu göstermektedir. Şekilde yeşil renkle gösterilen bu bölgeler, paspayı dökülmesi hasar seviyesini temsil etmekte olup, betonarme elemanlarda sargı donatısının etkinleşmeye başladığını ve eksenel yük taşıma kapasitesinde azalma potansiyelinin oluştuğunu işaret etmektedir.

M3 modelinde ise kısa doğrultuda (Y yönü) gerçekleştirilen koda dayalı kontroller sonucunda, dönme kapasitesi yetersizliği tespit edilen elemanlar Şekil 7.42’de gösterilmiştir.



Şekil 7.42: M3 modelinde kısa doğrultudaki (Y) dönme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.

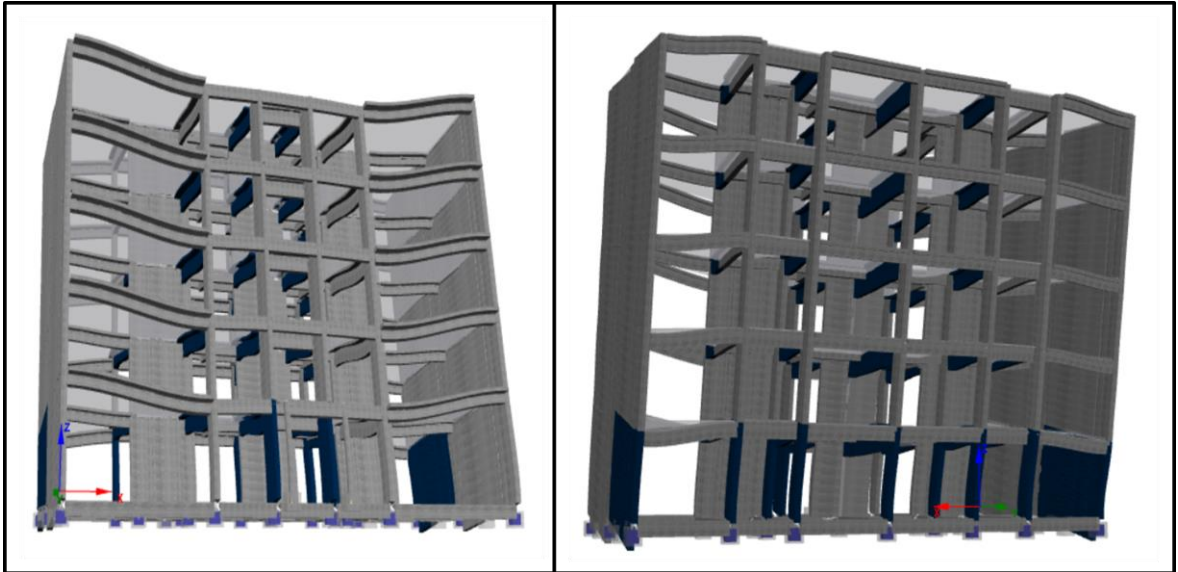
Şekil 7.42’de, M3 modelinde kısa doğrultuda (Y yönü) dönme kapasitesi yetersizliği gösteren elemanların; zemin katta güçlendirme yapılan perde duvarlarında ve bazı diğer taşıyıcı elemanlarda, ayrıca üst katlarda ise güçlendirme yapılmamış perde duvarlarında ve çeşitli taşıyıcı elemanlarda meydana geldiği görülmektedir. Bu durum, söz konusu yapısal elemanların göçmenin önlenmesi performans düzeyinin dahi ötesine geçerek yıkılma sınırına yaklaştığını ya da bu sınırı aştığını işaret etmektedir. Kesme kapasitesi yetersizliği tespit edilen elemanlar ise Şekil 7.43’te gösterilmiştir.



Şekil 7.43: M3 modelinde kısa doğrultudaki (Y) kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.

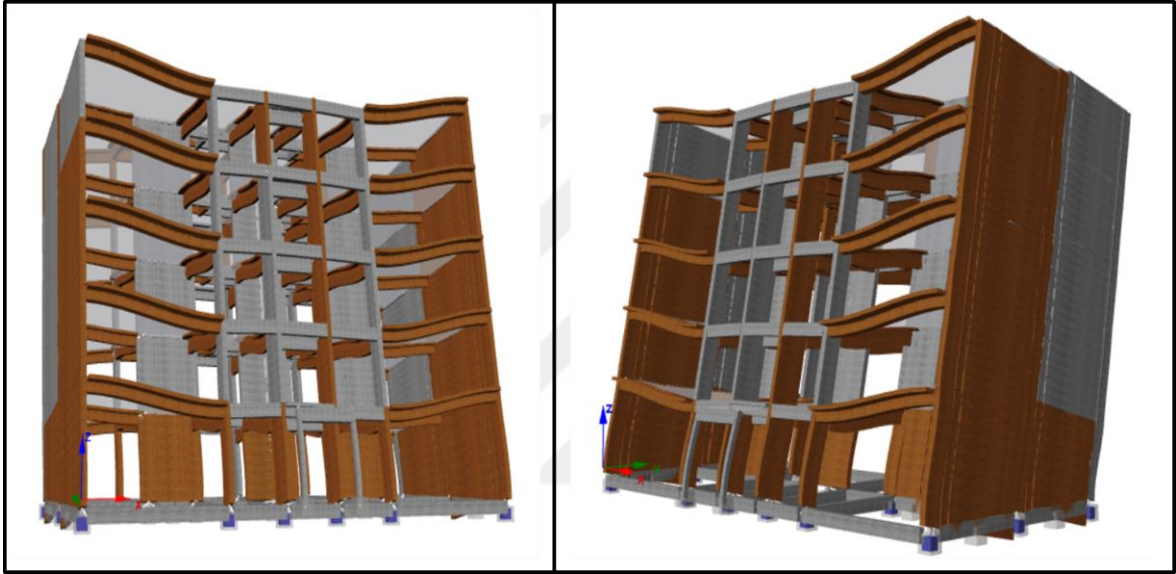
Şekil 7.43'te, M3 modelinde kısa doğrultudaki (Y) statik itme analizinin maksimum yük altında kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar, zemin kattın güçlendirme yapılan belirli dış duvarında ve tüm katlardaki güçlendirme olamayan perde duvarında ile belirli taşıyıcı elemanlarında görülmüştür.

M3 modelinde kısa doğrultuda (Y yönü) performans kriterlerine dayalı değerlendirme sonucunda, çekirdek betonunda ezilme meydana gelen elemanlar Şekil 7.44'te gösterilmiştir.



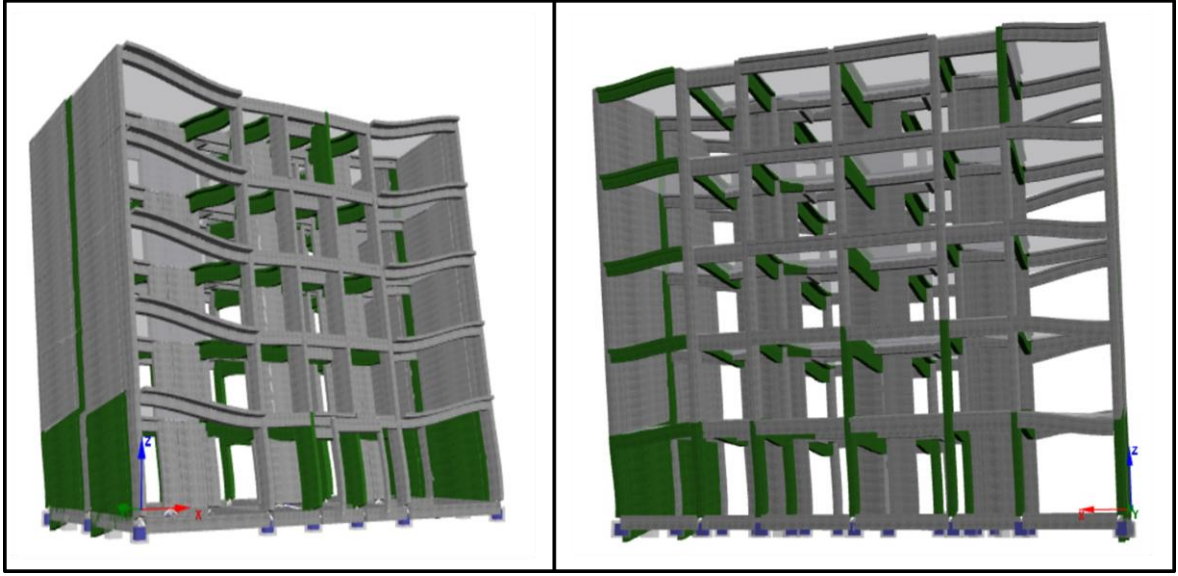
Şekil 7.44: M3 modelinde kısa doğrultudaki (Y) çekirdeği ezilen elemanlar.

Şekil 7.44'te, M3 modelinde çekirdek betonunda ezilme meydana gelen elemanların; zemin katta yer alan güçlendirme yapılan iki dış perde duvarında ve bazı taşıyıcı elemanlarda, ayrıca üst katlarda ise belirli iç kiriş elemanlarında olduğu görülmektedir. Analiz sonuçlarına göre, çekirdek bölgesinde bulunan düşey taşıyıcı elemanların özellikle alt kat seviyelerinde basınç etkisi altında ezilme davranışı sergilediği gözlemlenmiştir. Bu durum, kısa doğrultudaki yatay yüklerin etkisiyle çekirdeğin maruz kaldığı yüksek basınç gerilmelerinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca, yapı genelinde rijitlik dağılımının dengesiz olması, bu bölgelerde gerilme yığılmasına neden olmuştur. Donatısı akan elemanlar ise Şekil 7.45'te gösterilmiştir.



Şekil 7.45: M3 modelinde kısa doğrultudaki (Y) donatısı akan elemanlar.

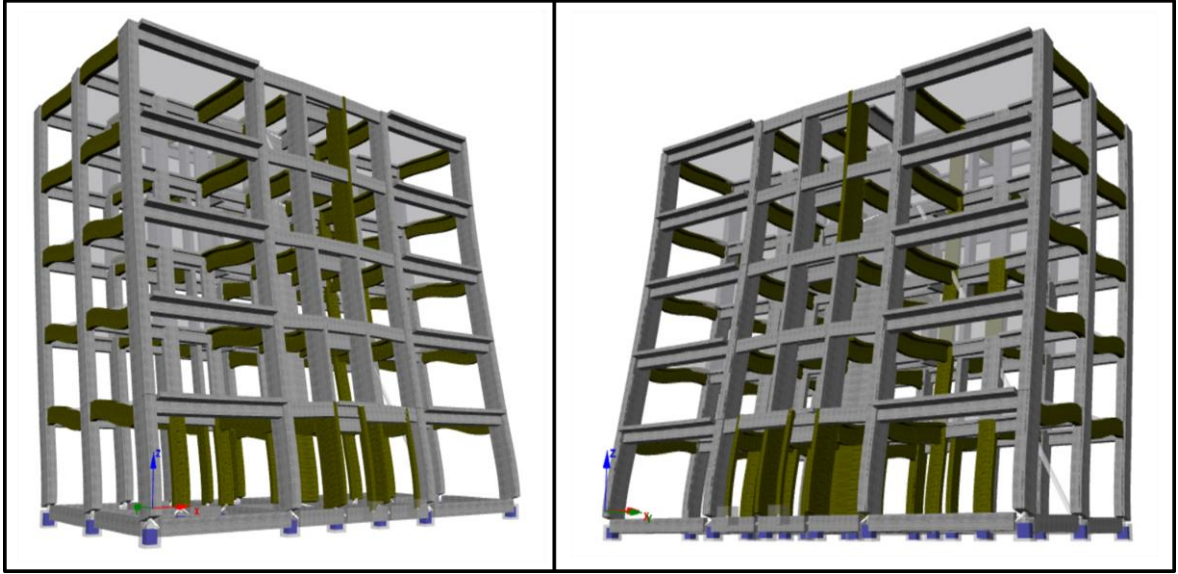
Şekil 7.45'te, M3 modelinde donatısı akan elemanların; zemin kattaki tüm perde duvarlarında, üst katlarda ise yalnızca belirli dış perde duvarlarında ve ayrıca tüm katlarda bazı taşıyıcı elemanlarda meydana geldiği görülmektedir. Yapının katlar arasında büyük görelî yer değiştirmeler sergileyerek belirgin bir yanal deformasyon davranışı gösterdiği tespit edilmiştir. Paspayı dökülmesi (kabuk atma) meydana gelen elemanlar ise Şekil 7.46'da gösterilmiştir.



Şekil 7.46: M3 modelinde kısa doğrultudaki (Y) paspayı döküle nelemanlar.

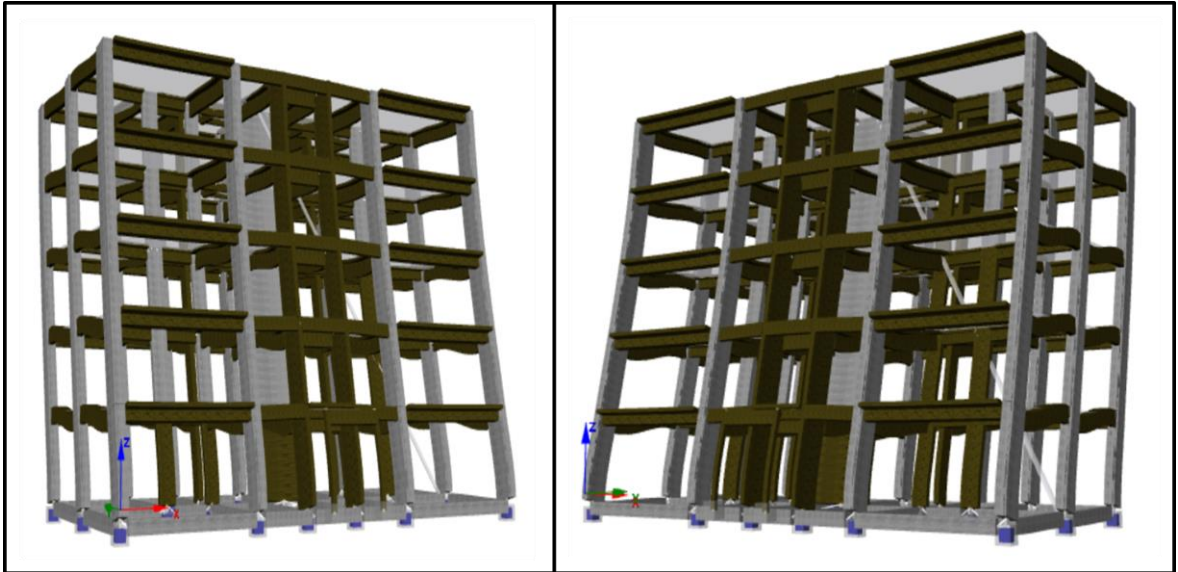
Şekil 7.46’da, M3 modelinde kısa doğrultuda (Y yönü) paspayı dökülmesi meydana gelen elemanların; zemin katta güçlendirme yapılan dış perde duvarlarında ve bazı taşıyıcı elemanlarda, ayrıca tüm katlarda belirli taşıyıcı elemanlarda olduğu görülmektedir. Bu hasar dağılımı, yapının kısa doğrultudaki (Y yönü) yükleme altında hasarın ağırlıklı olarak alt katlarda yoğunlaştığını ve plastik mafsallaşmaya dayalı bir hasar mekanizmasının geliştiğini göstermektedir.

M4 modelinde ise kısa doğrultuda (Y yönü) gerçekleştirilen koda dayalı kontroller sonucunda, dönme kapasitesi yetersizliği tespit edilen elemanlar Şekil 7.47’de gösterilmiştir.



Şekil 7.47: M4 modelinde kısa doğrultudaki (Y) dönme kapasitesi yetersiz olan elemanlar.

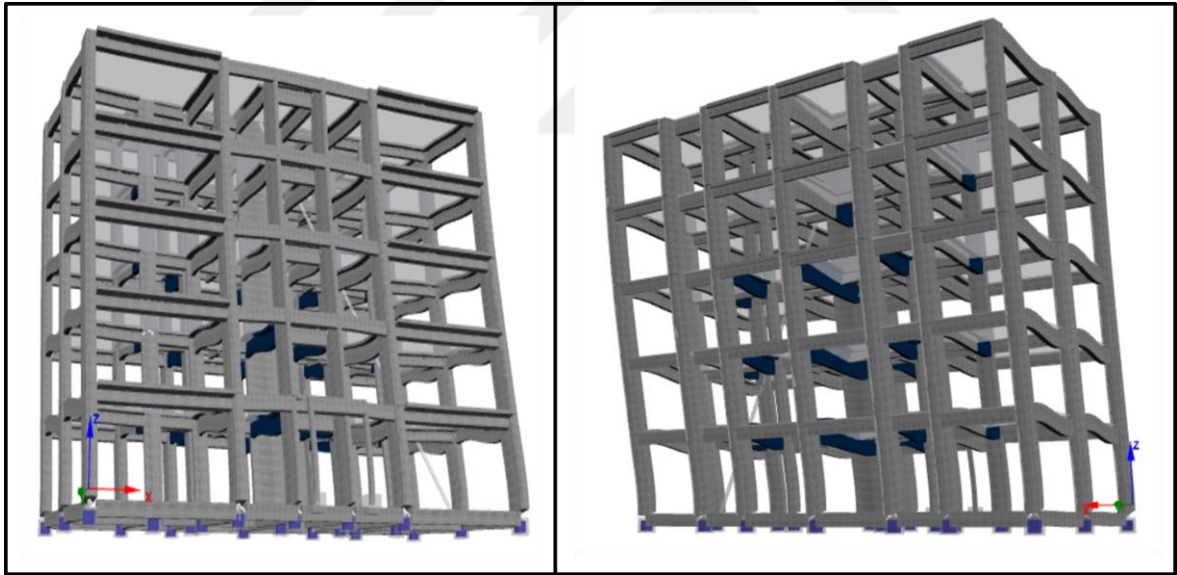
Şekil 7.47’de, M4 modelinde kısa doğrultuda (Y yönü) dönme kapasitesi yetersizliği gösteren elemanların; zemin katta bulunan perde duvarlarda ve bazı diğer taşıyıcı elemanlarda, ayrıca üst katlarda da belirli taşıyıcı elemanlarda meydana geldiği görülmektedir. Bu hasar dağılımı, M4 modelinin kısa doğrultudaki yükleme altında güçlü kiriş–zayıf kolon mekanizmasına yakın bir göçme eğilimi sergilediğini ve özellikle alt katlarda kesme ve eğilme kapasitesi yetersizlikleri nedeniyle kritik hasarların oluştuğunu işaret etmektedir. Kesme kapasitesi yetersizliği tespit edilen elemanlar ise Şekil 7.48’de gösterilmiştir.



Şekil 7.48: M4 modelinde kısa doğrultudaki (Y) kesme kapasitesi yetersiz olan elemanlar.

Şekil 7.48’de, M4 modelinde kısa doğrultudaki (Y) statik itme analizinin maksimum yük altında kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar, zemin kattın perde duvar ile tüm katlardaki belirli taşıyıcı elemanlarda görülmüştür. Hasar dağılımı zemin kat kolon ve perde duvarlarının alt ve üst uçlarında geniş ve yaygın bir plastikleşme bulunmakta olup ayrıca üst katlardaki kiriş uçlarında da önemli ölçüde dönme kapasitesi yetersizliği ve bu hasar dağılımı, M4 modelinin kısa doğrultudaki yükleme altında güçlü kiriş-zayıf kolon mekanizmasına yakın bir göçme eğilimi gösterdiğini, özellikle alt katlarda kesme ve eğilme kapasitesi sorunları nedeniyle kritik hasarlar aldığını işaret etmektedir. Bu hasar dağılımı, M4 modelinin kısa doğrultudaki yükleme altında güçlü kiriş-zayıf kolon mekanizmasına yakın bir göçme eğilimi gösterdiğini, özellikle alt katlarda kesme ve eğilme kapasitesi sorunları nedeniyle kritik hasarlar aldığını işaret etmektedir.

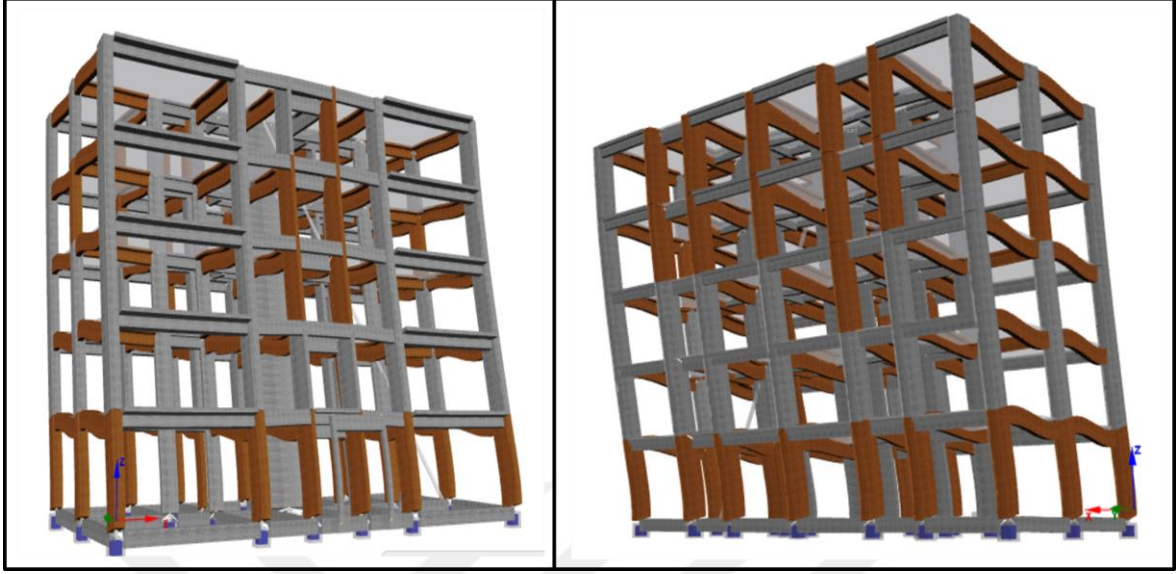
M4 modelinde, kuvvet esaslı olarak gerçekleştirilen doğrusal olmayan statik itme analizi sonucunda, kısa doğrultuda (Y yönü) performans kriterlerine dayalı değerlendirmede çekirdek betonunda ezilme meydana gelen elemanlar Şekil 7.49’da gösterilmiştir.



Şekil 7.49: M4 modelinde kısa doğrultuda (Y) statik itme analizinde çekirdeği ezilen elemanlar.

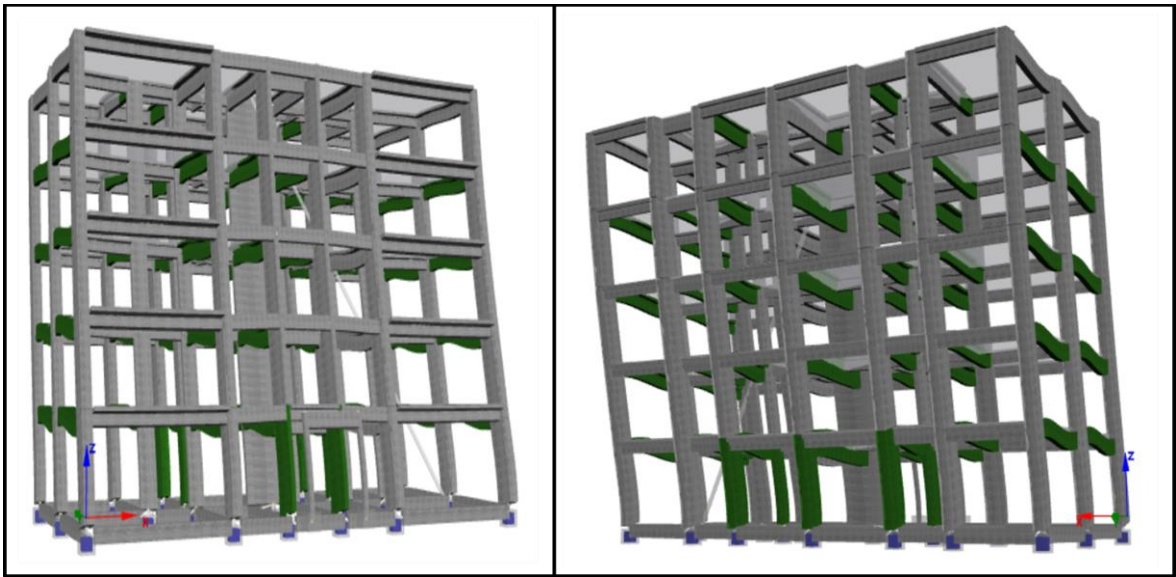
Şekil 7.49’da, M4 modelinde doğrusal olmayan statik itme analizinde maksimum kuvvet düzeyi altında çekirdek betonunda ezilme meydana gelen elemanların; 1., 2. ve 3. katlarda yer alan belirli iç kiriş elemanlarında olduğu görülmektedir. Bu hasar deseni, yanal yükler etkisi altında yapının orta rijitlik bölgelerinde yüksek gerilme yığılmasına işaret etmektedir. Merkezi elemanlarda gözlenen bu ileri düzey hasar, yanal rijitliğin ve

buna bağı olarak yatay yük taşıma kapasitesinin önemli bir bölümünün bu bölgelerde azaldığını göstermektedir. Donatısı akan elemanlar ise Şekil 7.50’de gösterilmiştir.



Şekil 7.50: M4 modelinde kısa doğrultuda (Y) donatısı akan elemanlar.

Şekil 7.50’de, M4 modelinde doğrusal olmayan statik itme analizinde maksimum kuvvet düzeyi altında donatısı akan elemanların; tüm katlarda belirli kolon ve kiriş elemanlarında meydana geldiği, akma bölgelerinin ise büyük ölçüde zemin kat kolonlarının alt ve üst uçlarında yoğunlaştığı görülmektedir. Bu durum, yapının alt katlarında belirgin bir yumuşak kat veya kat mekanizması oluşma eğilimini açıkça ortaya koymaktadır. Paspayı dökülmesi (kabuk atma) meydana gelen elemanlar ise Şekil 7.51’de gösterilmiştir.



Şekil 7.51: M4 modelinde kısa doğrultuda (Y) statik itme analizde paspayı dökülen elemanlar.

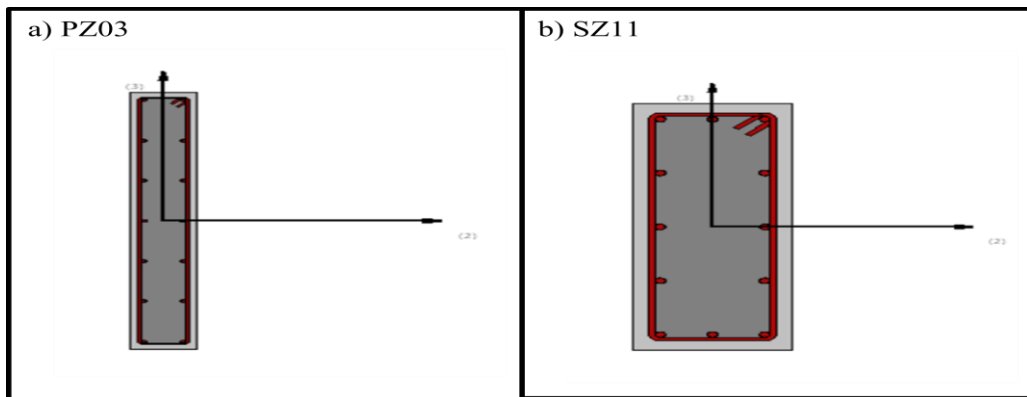
Şekil 7.51’de, M4 modelinde kısa doğrultuda (Y yönü) gerçekleştirilen doğrusal olmayan statik itme analizi sonucunda paspayı dökülmesi meydana gelen elemanların, zemin kat kolonlarının alt ve üst uçlarında yoğunlaştığı görülmektedir. Bu durum, yapının alt katlarında belirgin bir plastik mafsallaşma ve hasar geliştiğini ve yumuşak kat mekanizması riskinin devam ettiğini göstermektedir. Ayrıca, özellikle dış cephe kirişleri ile orta ve üst katlardaki kiriş uçlarında da belirgin paspayı dökülmesi hasarları tespit edilmiştir. Bu bulgular, kirişlerin yanal yüklerin taşınmasında önemli bir rol üstlendiğini ve söz konusu yükler altında hasara maruz kaldığını ortaya koymaktadır.

7.3 Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Dinamik Analiz

Bu bölümde, yapının hem kısa hem de uzun doğrultuda zaman tanım alanında gerçekleştirilen doğrusal olmayan dinamik analiz sonuçları sunulmaktadır. Analizler, dört adet deprem kaydı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Uzun doğrultu için bir kolon ve bir perde duvar olmak üzere iki adet taşıyıcı eleman; kısa doğrultu için ise iki kolon ve bir perde duvar olmak üzere toplam üç adet taşıyıcı eleman dikkate alınarak sonuçlar değerlendirilmiştir.

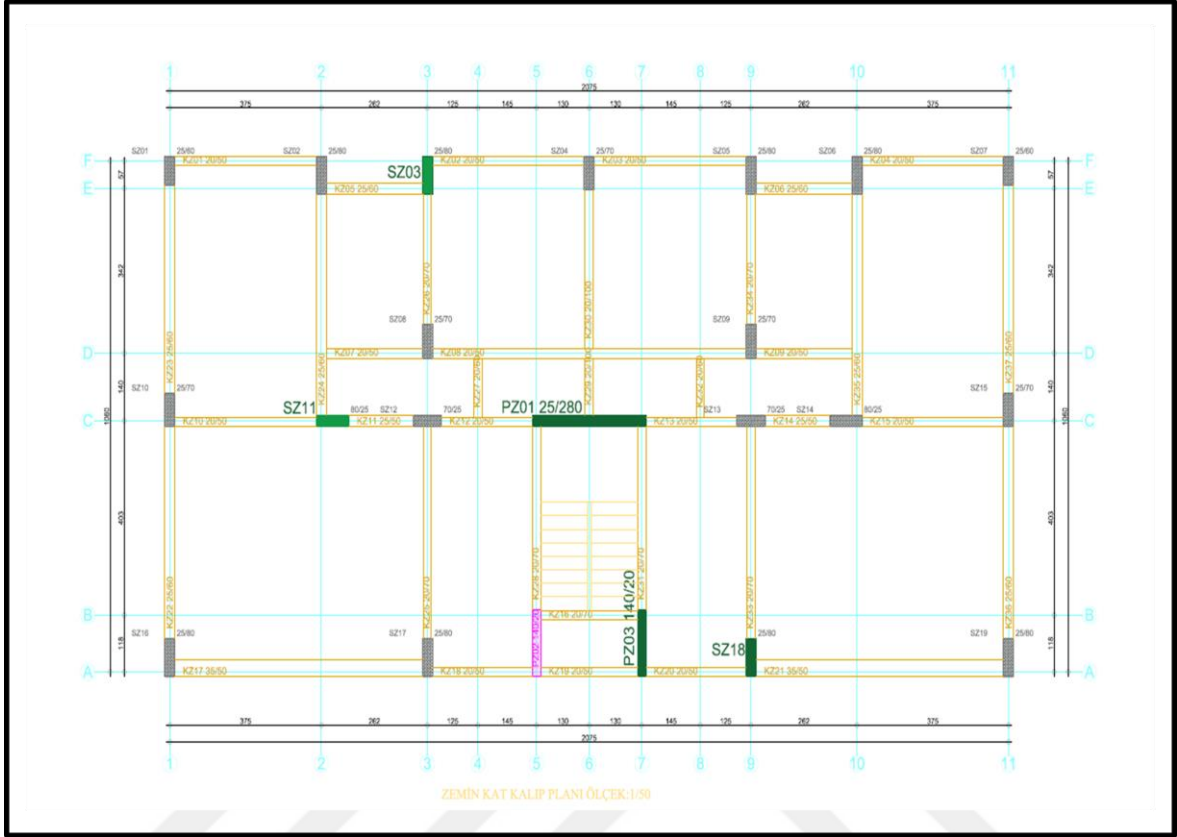
7.3.1 Uzun doğrultuda (X) analiz sonuçları

Bu bölümde, dört adet ivme kaydı kullanılarak gerçekleştirilen analizler kapsamında, yapısal sistemin güçlendirme öncesi planda uzun doğrultuda yer alan bir adet perde duvar ve bir adet kolon dikkate alınarak moment–dönme ve kesme kuvveti grafiklerinin elde edilmesi amaçlanmıştır. İncelenen düşey taşıyıcı elemanlar Şekil 7.52’de gösterilmiştir.



Şekil 7.52: Perde (PZ01) ve Kolon (SZ11)

Yapısal sistemde bulunan PZ01 numaralı perde duvar ile SZ11 numaralı kolonun kat planı üzerinde görseli aşağıda Şekil 7.53'te gibi sunulmuştur.



Şekil 7.53: PZ01 ve SZ11 numaralı elemanların kolonların kat planı üzerinde görseli

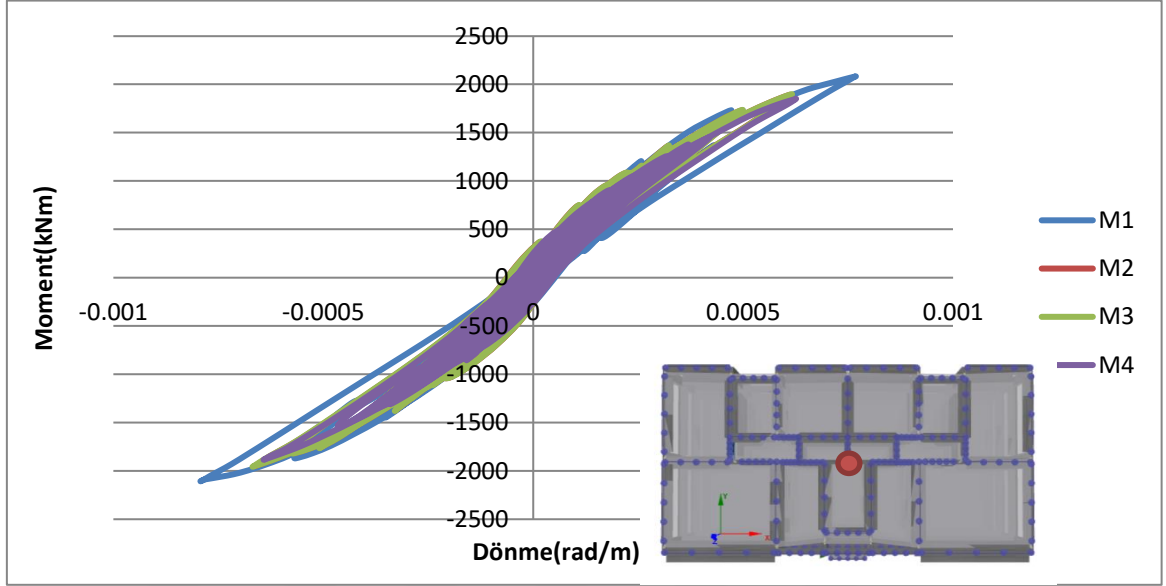
Şekil 7.53'te, PZ01 numaralı perde duvar ile SZ11 numaralı kolon için doğrusal olmayan dinamik analiz sonucunda, uzun doğrultuda (X) zaman tanım alanında D1, D2, D3 ve D4 deprem kayıtları kullanılarak elde edilen analiz sonuçları birlikte değerlendirilmiştir.

M1 modelinin uzun doğrultuda (X) D1, D2, D3 ve D4 kayıtları ile yapılan analizlerinde çatı katında oluşan maksimum yer değiştirmeler sırasıyla 2 cm, 2 cm, 7,6 cm ve 4 cm olarak hesaplanmıştır.

M2 ve M3 modellerinin uzun doğrultuda (X) D1, D2, D3 ve D4 kayıtları ile yapılan analizlerinde çatı katı maksimum yer değiştirmeleri sırasıyla 1,8 cm, 2 cm, 6,8 cm ve 3,7 cm olarak elde edilmiştir.

M4 modelinin uzun doğrultuda (X) D1, D2, D3 ve D4 kayıtları ile yapılan analizlerinde ise çatı katında oluşan maksimum yer değiştirmeler sırasıyla 1,9 cm, 1,9 cm, 6,9 cm ve 3,7 cm olarak hesaplanmıştır.

Öncelikle, PZ01 numaralı perde duvar için elde edilen moment–dönme grafiği Şekil 7.54’te sunulmuştur.



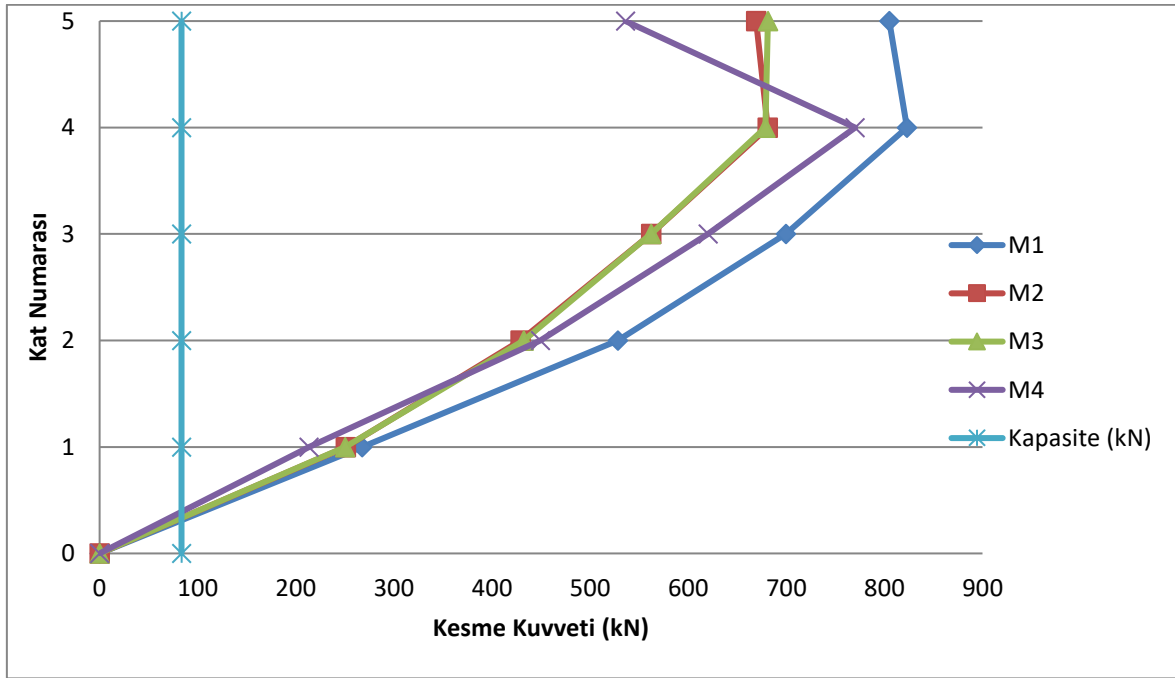
Şekil 7.54:Uzun doğrultuda (X) PZ01 numaralı perde duvarın D1 deprem kaydı ile yapılan analizin moment-dönme grafiği.

Şekil 7.54’te, PZ01 numaralı perde duvarın D1 deprem kaydı altında yapılan doğrusal olmayan dinamik analiz sonuçlarına ait moment–dönme ilişkisi sunulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre; M1 modelinde yapısal sistemde negatif yönde maksimum $-2106,52$ kNm moment ve $-0,00079254$ rad/m dönme meydana gelmiştir. M2 modelinde negatif yönde maksimum moment $-1950,134$ kNm, buna karşılık maksimum dönme $-0,00066424$ rad/m olarak gözlemlenmiştir. M3 modelinde ise negatif yönde maksimum moment $-1955,811$ kNm ve maksimum dönme $-0,00066864$ rad/m olarak tespit edilmiştir. M4 modelinde negatif yönde oluşan maksimum moment $-1883,866$ kNm ve buna karşılık gelen maksimum dönme değeri $-0,00064231$ rad/m olarak belirlenmiştir.

Analiz sonuçları değerlendirildiğinde, M1 modelinde yapısal sistemin M2 modeline göre yaklaşık %16,2, M3 modeline göre %15,6 ve M4 modeline göre yaklaşık %19 daha fazla dönme gerçekleştirdiği belirlenmiştir. Bu durum, maksimum moment ve dönmenin en yüksek değerlerini M1 modelinde meydana getirirken, en az dönme ve daha rijit davranışın M4 modelinde gerçekleştiğini göstermektedir. Ayrıca, M1 modelinde moment ve dönme değerlerinin diğer modellere kıyasla bir miktar daha yüksek olduğu; M2, M3 ve M4 modellerinin ise birbirine yakın değerler sergilediği gözlemlenmiştir. Eğrilerdeki

daralma, sistemin enerji sönümleme kapasitesinde azalmayı ifade etmektedir. Genel olarak, tüm modellerin sünek davranış gösterdiği anlaşılmaktadır.

Yine PZ01 numaralı perde duvarda, D1 deprem kaydı ile yapılan analiz sonuçlarına bağlı olarak, kat numaralarına göre kesme kuvvetlerinin dağılımını gösteren grafik Şekil 7.55'te sunulmuştur. Bu grafik, yapısal sistemde katlar boyunca kesme kuvvetlerinin nasıl değiştiğini ve her modelin yatay yük taşıma davranışını görsel olarak ortaya koymaktadır.

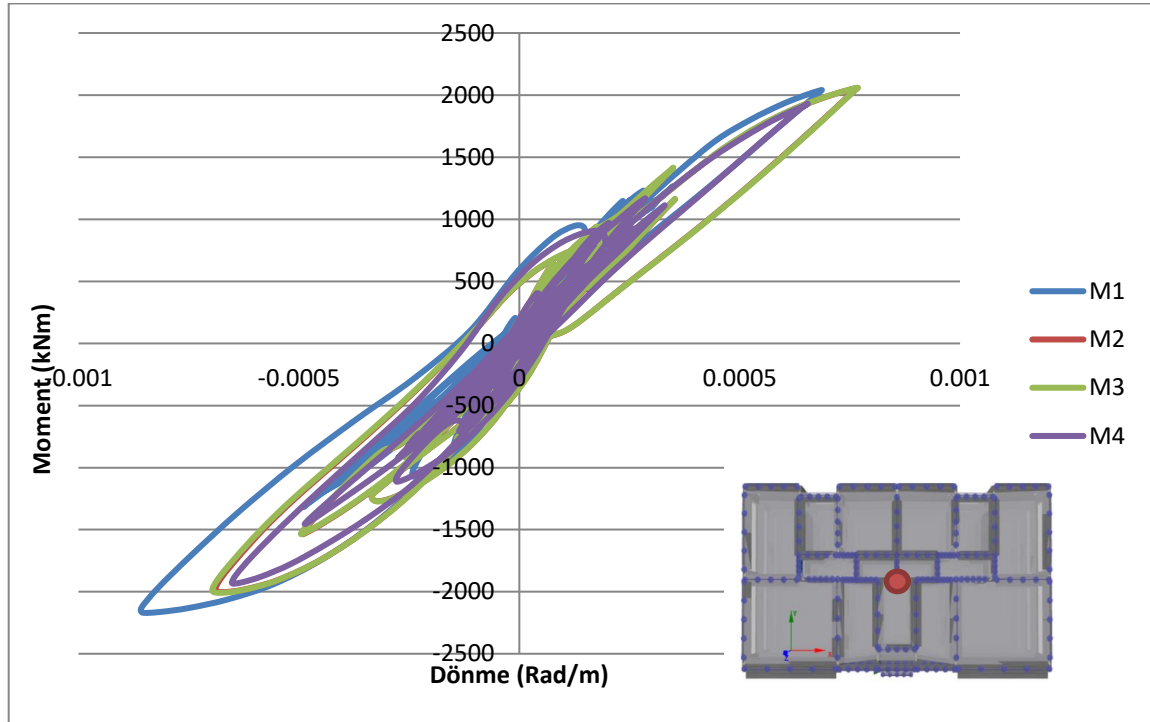


Şekil 7.55: Uzun doğrultuda (X) PZ01 numaralı perde duvarının D1 deprem kaydı ile yapılan analizin katlara göre kesme kuvveti grafiği.

Şekil 7.55'de, uzun doğrultuda (X) PZ01 numaralı perde duvarın D1 deprem kaydı ile yapılan analizinde, perde duvarının kapasite değeri 83,46 kN olarak hesaplanmıştır. Analiz sonuçlarına göre; M1 modelinde 4.katta maksimum kesme kuvveti 822,991 kN, M2 modelinde 4. kat kesme kuvveti 681,07 kN, M3 modelinde 5. kat maksimum kesme kuvveti 681,24 kN ve M4 modelinde 4. kat maksimum kesme kuvveti 770,18 kN olarak elde edilmiştir.

Grafik incelendiğinde, M1 modelinde üst katlara doğru kesme kuvvetlerinde belirgin bir artış olduğu gözlenmiştir. Buna karşılık, M2, M3 ve M4 modellerinde kesme kuvvetlerinin dağılımı birbirine oldukça yakın gerçekleşmiş ve üst katlarda maksimum kesme kuvvetlerinin olduğu görülmüştür. M1 modelinin diğer modellere kıyasla daha yüksek kesme değerine ulaşması, yapısal rijitliğin bu modelde daha az olmasından

kaynaklanmaktadır. Genel olarak, tüm modellerin kesme kuvveti profili benzer eğilim göstermektedir. PZ01 numaralı perde duvarda, D2 deprem kaydı ile yapılan analize ait moment–dönme grafiği Şekil 7.56’da gösterilmiştir.

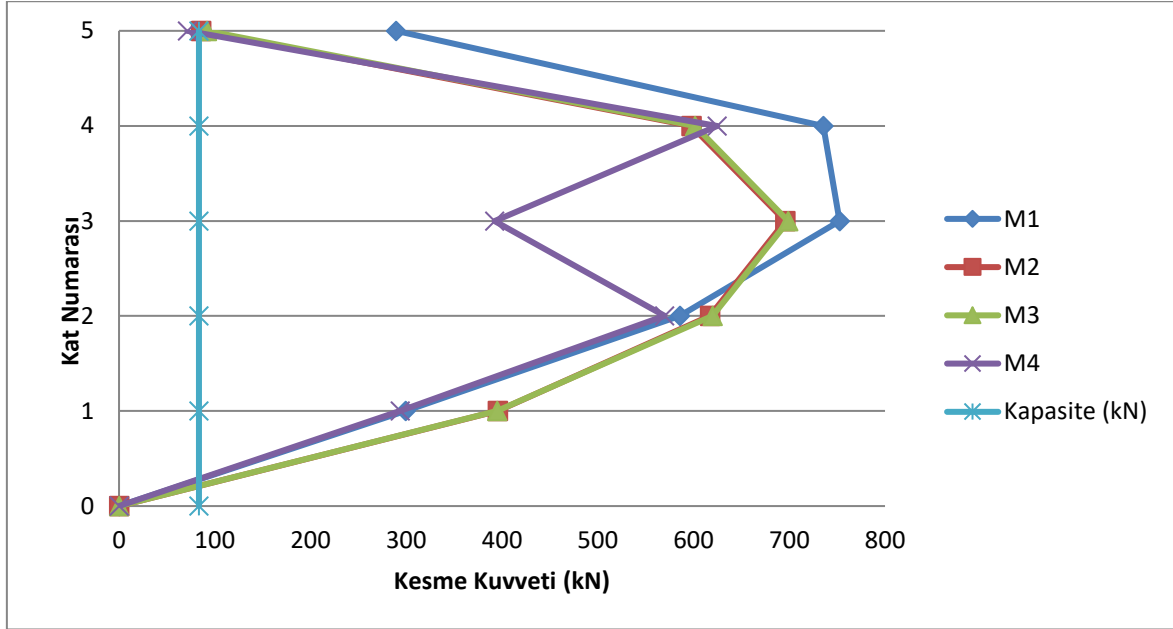


Şekil 7.56: Uzun doğrultuda (X) PZ01 numaralı perde duvarının D2 analizinin moment-dönme grafiği.

Şekil 7.56’da, PZ01 numaralı perde duvarda D2 deprem kaydı ile yapılan analiz sonuçları sunulmuştur. Analizler sonucunda; M1 modelinde negatif yönde maksimum moment -2167,685 kNm ve negatif yönde maksimum dönme -0,00085717 rad/m olarak belirlenmiştir. M2 modelinde pozitif yönde maksimum moment 2056,755 kNm ve pozitif yönde maksimum dönme 0,0007662 rad/m, M3 modelinde pozitif yönde maksimum moment 2059,955 kNm ve pozitif yönde maksimum dönme 0,00076837 rad/m, M4 modelinde ise pozitif yönde maksimum moment 1930,512 kNm ve pozitif yönde maksimum dönme 0,00065456 rad/m olarak elde edilmiştir.

Analiz sonucu değerlendirildiğinde, M1 modelinin dönme miktarının; M2 modeline göre %10,6, M3 modeline göre %10,4 ve M4 modeline göre yaklaşık %23,6 daha fazla olduğu görülmektedir. Bu bulgu, maksimum momentin en fazla olduğu M1 modelinde dönmenin de en yüksek olduğunu, M4 modelinde ise hem moment hem de dönmenin düşük seviyede gerçekleştiğini ortaya koymaktadır. Ayrıca, perde duvarın moment kapasitesine ulaştıktan sonra dönme artışı ile birlikte rijitliğin azaldığı ve plastik mafsall

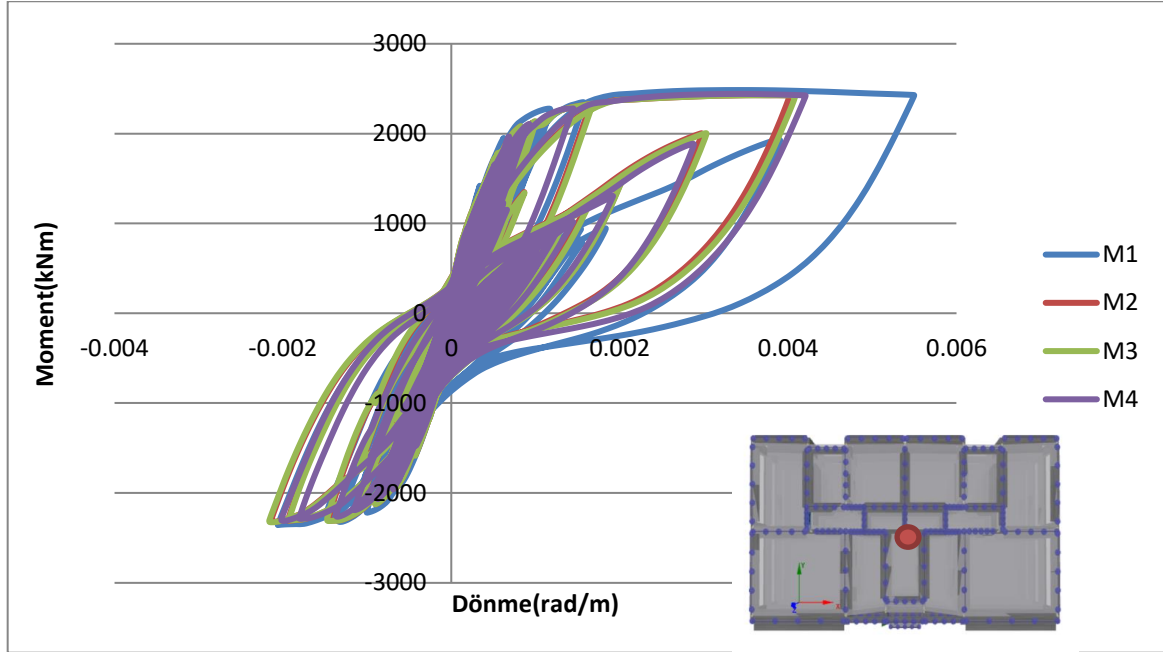
oluşumunun başladığı gözlemlenmiştir. Bu durum, yapının sünek davranış sergilediğini ve enerji tüketim kapasitesinin yeterli düzeyde olduğunu göstermektedir. Ayrıca, PZ01 numaralı perde duvarda D2 deprem kaydı ile yapılan analiz sonucunda, kat numaralarına göre hesaplanan kesme kuvvetleri Şekil 7.57’de verilmiş ve kapasite değerleri ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 7.57: Uzun doğrultuda (X) PZ01 numaralı perde duvarının D2 analizi ile katlara göre kesme kuvveti grafiği.

Şekil 7.57’de, D2 deprem kaydı ile gerçekleştirilen analiz sonucunda, PZ01 numaralı perde duvarının kapasite değeri 83,46 kN olarak hesaplanmıştır. Bu doğrultuda; M1 modelinde 3.kat maksimum kesme kuvvetinin perde duvar kapasitesinin yaklaşık %88,9’u, M2 ve M3 modellerinde yaklaşık %88’i, M4 modelinde ise 4. kat maksimum kesme kuvvetinin kapasitenin %86,6’sı düzeyinde gerçekleştiği belirlenmiştir. Ayrıca, M1, M2 ve M3 modellerinde üst katlarda (5. kat) kesme kuvvetinin, ilgili kat maksimum kesme kuvvetlerine göre sırasıyla %61,5, %88 ve %88,1 oranında düştüğü ancak yine de kapasitenin üzerinde kaldığı gözlemlenmiştir. Buna karşın, M4 modelinde kesme kuvveti 4.kattan sonra %88,6 oranında azalarak kapasitenin altına düşmüştür. Bu durum, M4 modelinde üst katlarda kesme kapasitesinin kritik seviyeye yaklaştığını ve yapısal güvenlik

açısından dikkatle değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. PZ01 numaralı perde duvarının D3 analizin moment-dönme grafiği Şekil 7.58’de gösterilmiştir.

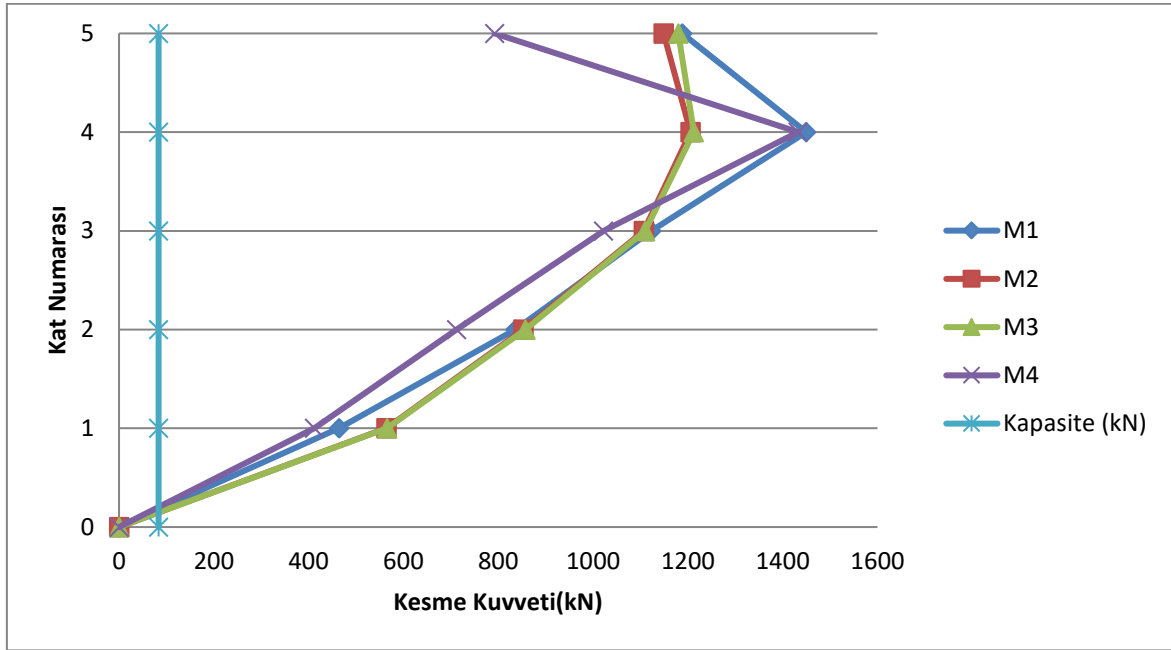


Şekil 7.58:Uzun doğrultuda (X) PZ01 numaralı perde duvarının D3 analizi moment-dönme grafiği.

Şekil 7.58’de, PZ01 numaralı perde duvarda D3 deprem kaydı ile yapılan analiz sonucunda elde edilen moment-dönme ilişkileri sunulmuştur. Buna göre, yapısal sistemin M1 modelinde pozitif yönde maksimum 2484,69 kNm moment ve 0,00549759 rad/m dönme; M2 modelinde pozitif yönde maksimum 2427,28 kNm moment ve 0,00401799 rad/m dönme; M3 modelinde pozitif yönde maksimum 2427,28 kNm moment ve 0,00408367 rad/m dönme; M4 modelinde ise pozitif yönde maksimum 2441,50 kNm moment ve 0,00420839 rad/m dönme değerlerinin oluştuğu görülmektedir.

D3 analizi sonuçları değerlendirildiğinde, yapısal sistemde M1 modelinin, M2 modeline göre %26,9, M3 modeline göre %25,7 ve M4 modeline göre %23,5 oranında daha fazla dönme yaptığı anlaşılmaktadır. Ayrıca grafikler incelendiğinde, perde duvarın belirgin bir histeretik davranış sergilediği ve enerji tüketim kapasitesinin yüksek olduğu görülmektedir. M1 modelinin, diğer modellere kıyasla daha geniş çevrim alanına sahip olduğu ve dolayısıyla daha yüksek moment kapasitesine ulaştığı belirlenmiştir. M2, M3 ve M4 modellerinin ise benzer davranış sergilediği; bu modellerde rijitlik azalışı ve plastik şekil değiştirme davranışının açıkça gözlemlendiği ifade edilebilir.

Ayrıca, PZ01 numaralı perde duvarda D3 deprem kaydı ile yapılan analiz sonucunda, kat numaralarına göre elde edilen kesme kuvvetleri aşağıda Şekil 7.59’da sunulmuştur.

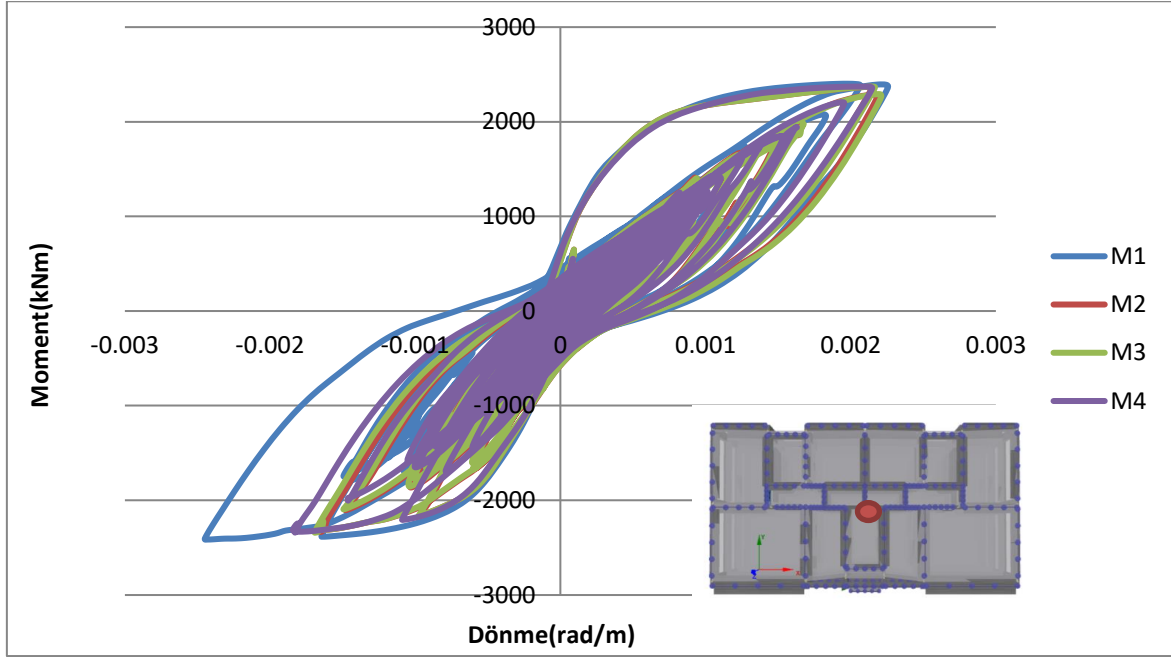


Şekil 7.59: Uzun doğrultuda (X) PZ01 numaralı perde duvarının D3 analizinin katlara göre kesme kuvveti grafiği.

D3 analizi sonucu, Şekil 7.59’da gösterildiği üzere, PZ01 numaralı perde duvarın kapasite değerinin 83,46 kN olarak hesaplandığı görülmektedir. Bu kapsamda, M1 modelinde 4. kat için maksimum kesme kuvveti 1449,67 kN, M2 modelinde 1205,62 kN, M3 modelinde 1212,60 kN ve M4 modelinde ise 1432,70 kN olarak elde edilmiştir.

Bu bağlamda Şekil 7.59 incelendiğinde, PZ01 numaralı perde duvarın D3 deprem kaydı altındaki davranışı değerlendirildiğinde, M1 ve M4 modellerinde 4. kat maksimum kesme kuvvetlerinin, perde duvarın taşıma kapasitesinin yaklaşık %94,2 üzerinde değerlere ulaştığı; M2 ve M3 modellerinde ise bu oranın yaklaşık %93,1 seviyesinde gerçekleştiği görülmektedir. Ayrıca grafikler incelendiğinde, alt katlarda oluşan kesme kuvvetlerinin üst katlara kıyasla daha yüksek olduğu, bu durumun deprem etkisinin alt katlarda daha yoğun hissedildiğini gösterdiği anlaşılmaktadır. M1, M2 ve M3 modellerinin kesme kuvveti dağılımları bakımından benzer eğilimler sergilediği, M4 modelinin ise özellikle üst katlarda daha yüksek kesme kuvveti değerlerine ulaştığı gözlemlenmiştir. Elde edilen bu sonuçlar, D3 deprem kaydı altında perde duvarın genel olarak dayanım açısından tutarlı bir davranış sergilediğini ortaya koymaktadır.

Son olarak, PZ01 numaralı perde duvarın D4 deprem kaydı ile yapılan analizine ait moment–dönme grafiği Şekil 7.60’da gösterilmiştir.

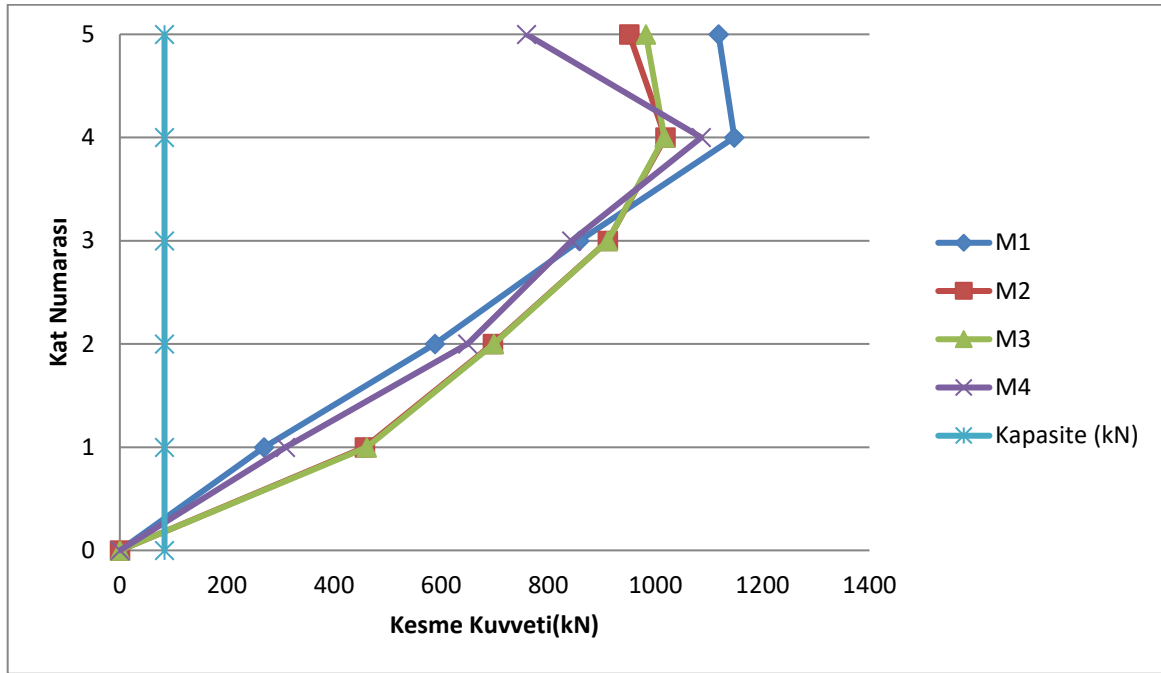


Şekil 7.60: Uzun doğrultuda (X) PZ01 numaralı perde duvarının D4 analizinin moment-dönme grafiği.

Şekil 7.60’da, PZ01 numaralı perde duvarda D4 deprem kaydı ile yapılan analiz sonucunda elde edilen moment–dönme ilişkileri sunulmuştur. Buna göre, yapısal sistemin M1 modelinde negatif yönde maksimum $-2414,843$ kNm moment ve $-0,00244958$ rad/m dönme; M2 modelinde pozitif yönde maksimum $2369,68$ kNm moment ve $0,00218008$ rad/m dönme; M3 modelinde pozitif yönde maksimum $2370,879$ kNm moment ve $0,00221011$ rad/m dönme; M4 modelinde ise pozitif yönde maksimum $2371,192$ kNm moment ve $0,00214736$ rad/m dönme değerlerinin oluştuğu görülmektedir.

D4 analizi sonuçları değerlendirildiğinde, yapısal sistemde M1 modelinin, M2 modeline göre yaklaşık %11, M3 modeline göre %9,8 ve M4 modeline göre %12,3 oranında daha fazla dönme yaptığı anlaşılmaktadır. Ayrıca perde duvarın çevrimsel yükler altında sünek bir davranış sergilediği ve enerji tüketim kapasitesinin yüksek olduğu görülmektedir. M1 modelinin moment kapasitesinin, diğer modellere kıyasla daha yüksek olduğu; M2, M3 ve M4 modellerinin ise birbirine yakın moment–dönme eğrileri oluşturduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte, negatif yönde histeretik davranışın M1 modelinde diğer modellere kıyasla daha yüksek moment ve dönme değerleriyle gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Ancak uygulanan güçlendirme alternatiflerinin, bu eleman üzerindeki moment ve dönme taleplerini negatif yönde sınırlandığı görülmektedir.

Şekil 7.61’de, PZ01 numaralı perde duvarda D4 deprem kaydı ile yapılan analiz sonucunda, kat numaralarına göre elde edilen kesme kuvvetleri sunulmuştur.

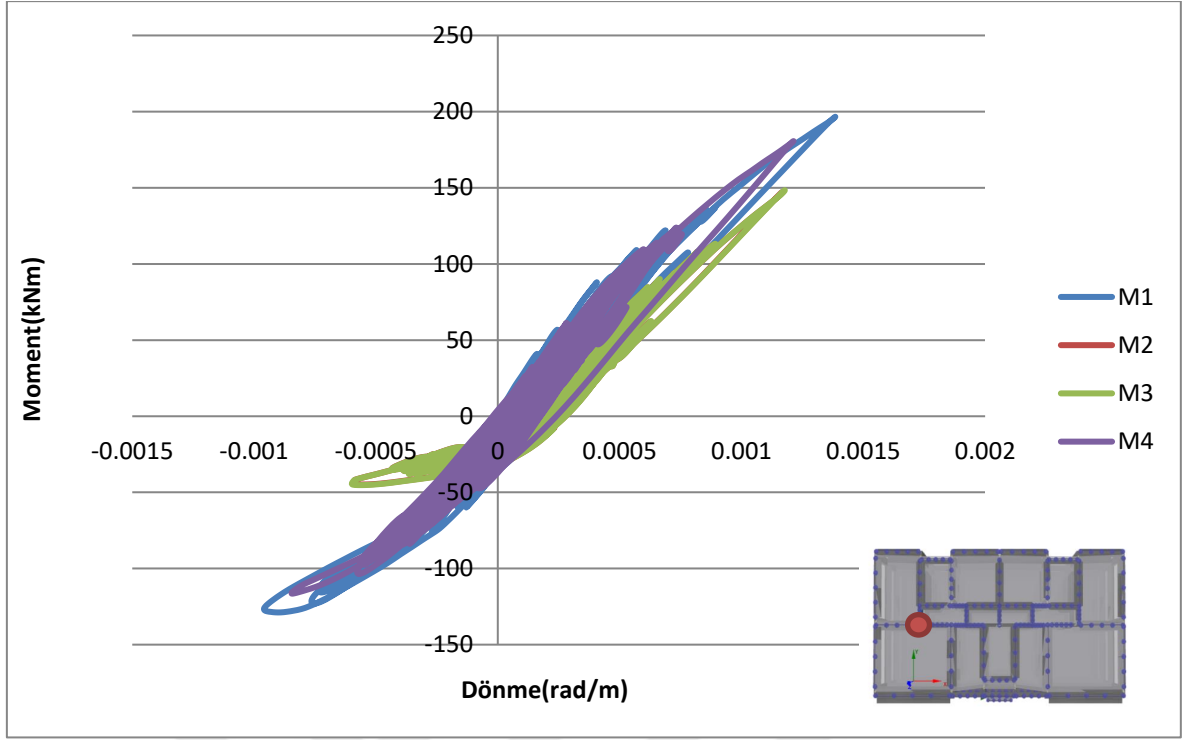


Şekil 7.61: Uzun doğrultuda (X) PZ01 numaralı perde duvarının D4 kaydı ile katlara göre kesme kuvveti grafiği.

Şekil 7.61’de, D4 deprem kaydı ile yapılan analiz sonucunda, Şekil 6.66’da da gösterildiği üzere, PZ01 numaralı perde duvarın kapasite değerinin 83,46 kN olarak hesaplandığı görülmektedir. Bu kapsamda, M1 modelinde 4. kat maksimum kesme kuvveti 1147,66 kN, M2 modelinde 1018,72 kN, M3 modelinde 1016,94 kN ve M4 modelinde ise 1085,85 kN olarak elde edilmiştir.

Bu bağlamda, PZ01 numaralı perde duvarın D4 analizi sonuçları değerlendirildiğinde; M1 modelinde 4. kat maksimum kesme kuvvetinin, perde duvarın taşıma kapasitesinin yaklaşık %92,7 üzerinde bir değere ulaştığı, M2 ve M3 modellerinde bu oranın yaklaşık %91,8, M4 modelinde ise yaklaşık %92,3 seviyesinde gerçekleştiği görülmektedir. Güçlendirme alternatifleri ile maksimum %8 oranında bir kesme kuvveti azalması sağlandığı belirlenmiştir. M1 modelinin, diğer modellere kıyasla daha yüksek kesme kuvveti değerlerine ulaştığı; M2, M3 ve M4 modellerinin ise birbirine yakın bir davranış sergilediği anlaşılmaktadır.

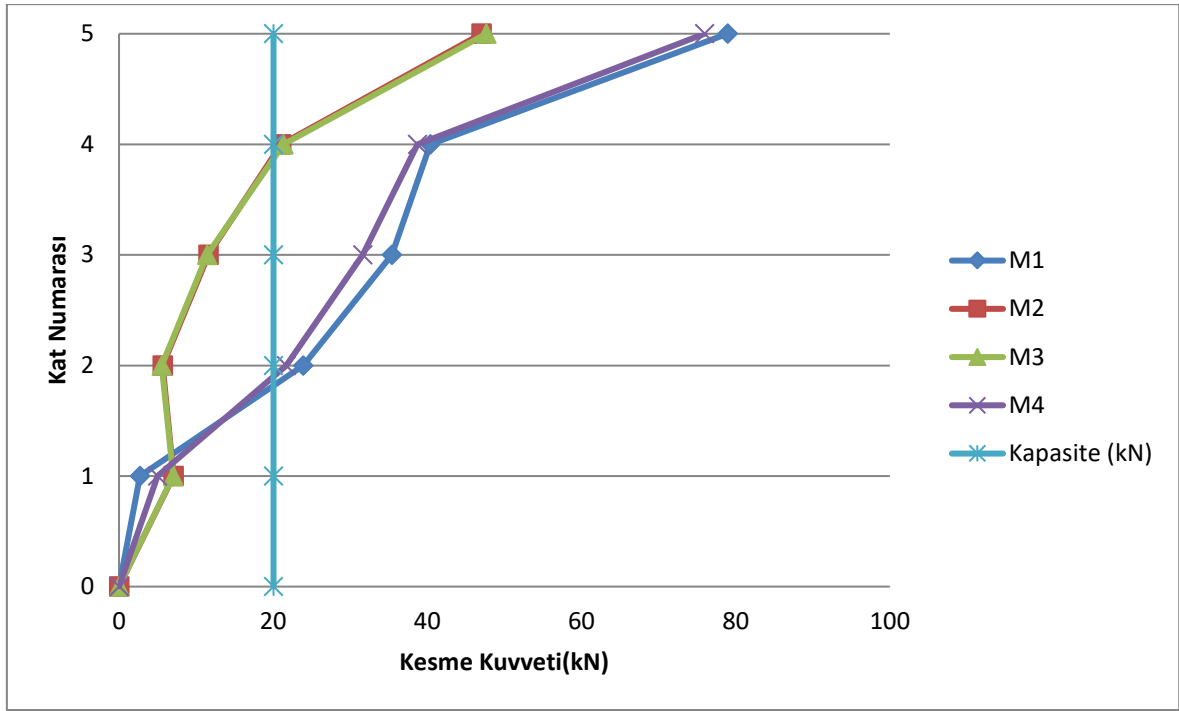
D1 deprem kaydı ile yapılan analizlerin devamında, uzun doğrultuda (X) SZ11 numaralı kolonun moment–dönme grafiği Şekil 7.62’te sunulmuştur.



Şekil 7.62: Uzun doğrultuda (X) SZ11 numaralı kolonun D1 deprem kaydı ile yapılan analiz moment-dönme grafiği.

Şekil 7.62’te SZ11 numaralı kolonun D1 deprem kaydı altındaki davranışı incelendiğinde; M1 modelinde pozitif yönde maksimum 196,68 kNm moment ve 0,00138522 rad/m dönme olduğu belirlenmiştir. M2 modelinde pozitif yönde maksimum moment 147,39 kNm, maksimum dönme ise 0,00116885 rad/m olarak gerçekleşmiştir. M3 modelinde pozitif yönde maksimum moment 148,45 kNm, buna karşılık maksimum dönme 0,00117783 rad/m’dir. M4 modelinde ise pozitif yönde maksimum 180,68 kNm moment ve 0,00121385 rad/m dönme meydana gelmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda, modeller arasında en yüksek pozitif moment talebi 196,68 kNm ile M1 modelinde gözlenmiştir. Grafikte, M1 eğrisi, kolonun moment kapasitesine yaklaştığını doğrulamaktadır. M4 modeli, pozitif yönde 180,68 kNm moment ile histeretik döngülerin ulaştığı tepe noktalarından birini temsil etmektedir. En yüksek dönme talebi ise M1 modelinde 0,00138522 rad/m olarak gerçekleşmiştir. M2 (147,39 kNm) ve M3 (148,45 kNm) modelleri, birbirine yakın momentler göstererek, muhtemelen kolonun akma momentini veya farklı bir operasyonel sınır durumunu temsil etmektedir.

Şekil 7.63’de, SZ11 numaralı kolonun D1 deprem kaydı altında gerçekleştirilen analizine ilişkin kat numaralarına göre kesme kuvvetleri sunulmuştur.



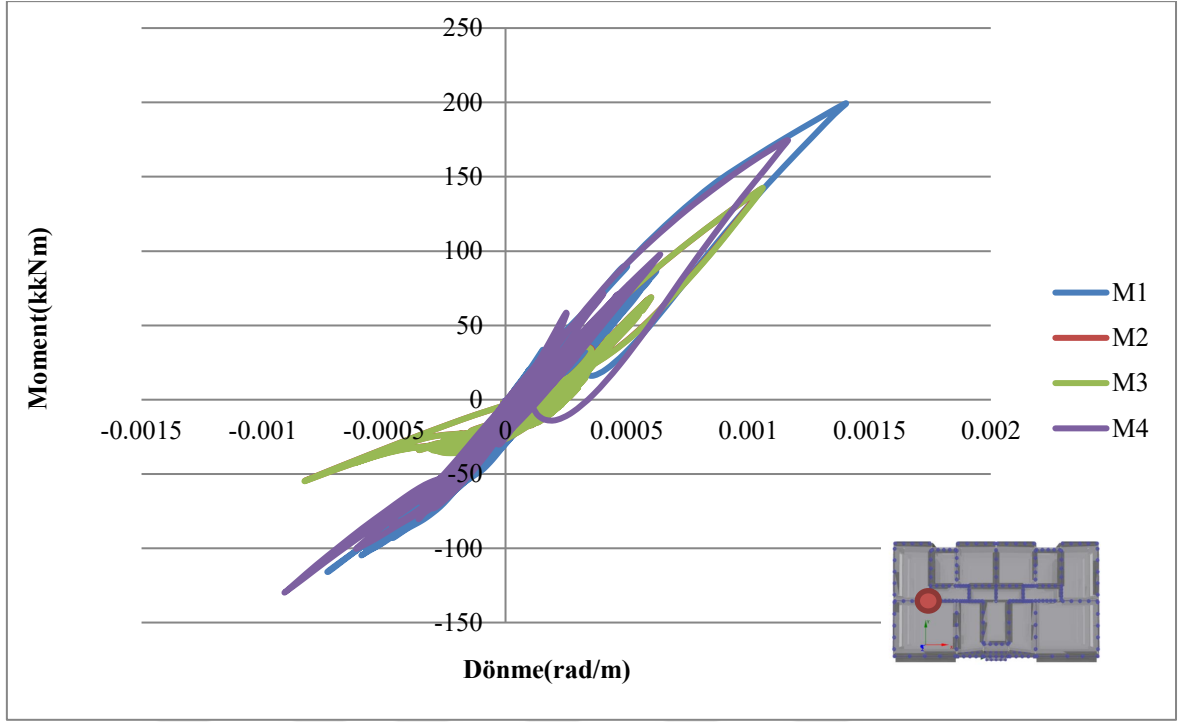
Şekil 7.63: Uzun doğrultuda (X) SZ11 numaralı kolonun D1 deprem kaydı ile yapılan analizin katlara göre kesme kuvveti grafiği.

Şekil 7.63’de, M1, M2 ve M3 modellerinin alt ve orta katlarda kesme kuvveti değerlerinin, kolonun 22,9 kN’luk kapasite değerini kısmen aştığı görülmektedir. Özellikle M1 modelinde 4. katta 31,46 kN, M2 ve M3 modellerinde 5. kattaki kesme kuvvetleri ise 21,23 kN ve 21,42 kN olarak hesaplanmış, bu değerler kapasitenin altında veya yakın seviyede gerçekleşmiştir. Bu durum, söz konusu modellerde kolonun alt ve orta katlarda kesmeye karşı yeterli güvenliğe sahip olduğunu göstermektedir.

Buna karşın, M4 modelinde 5. katta 119,93 kN olarak elde edilen maksimum kesme kuvveti, kapasite değerini yaklaşık 5,2 kat aşmakta ve grafikte kapasite çizgisinden oldukça uzak bir noktada konumlanmaktadır. Bu durum, kolonun üst katlarda belirgin bir kesme göçmesi riski altında olduğunu açıkça ortaya koymaktadır.

Grafikte ayrıca, alt katlarda oluşan yüksek kesme kuvvetleri ile üst katlarda göreceli olarak azalan kesme değerleri, deprem yüklerinin ağırlıklı olarak alt katlarda toplandığını ve yapı davranışında kritik bölgelerin alt katlarda oluşabileceğini göstermektedir. Genel olarak, M1–M3 modelleri kontrollü sünek davranış sergilerken, M4 modeli, kolonun sünek performansını aşan kritik bir durum ortaya koymaktadır.

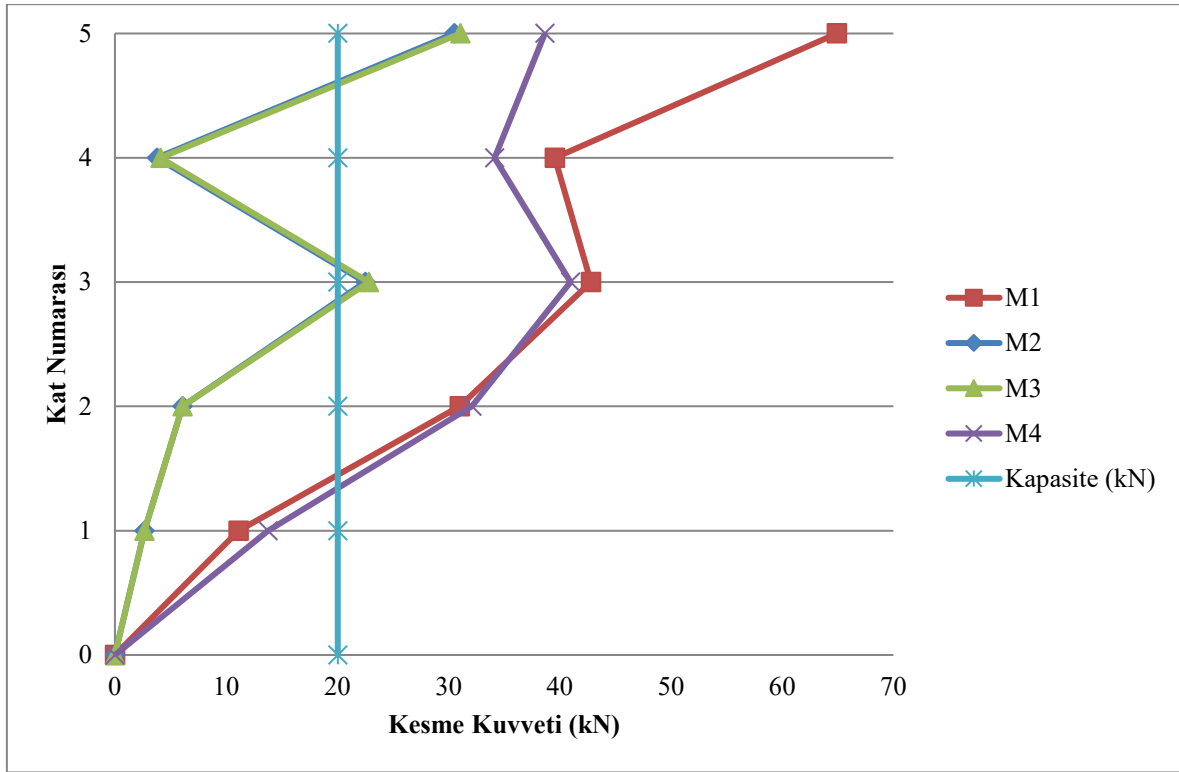
SZ11 numaralı kolonun D2 deprem kaydı altındaki analizine ilişkin moment–dönme grafiği ise Şekil 7.64’de sunulmuştur.



Şekil 7.64: Uzun doğrultuda (X) SZ11 numaralı kolonun D2 deprem kaydı ile yapılan analizinin moment-dönme grafiği.

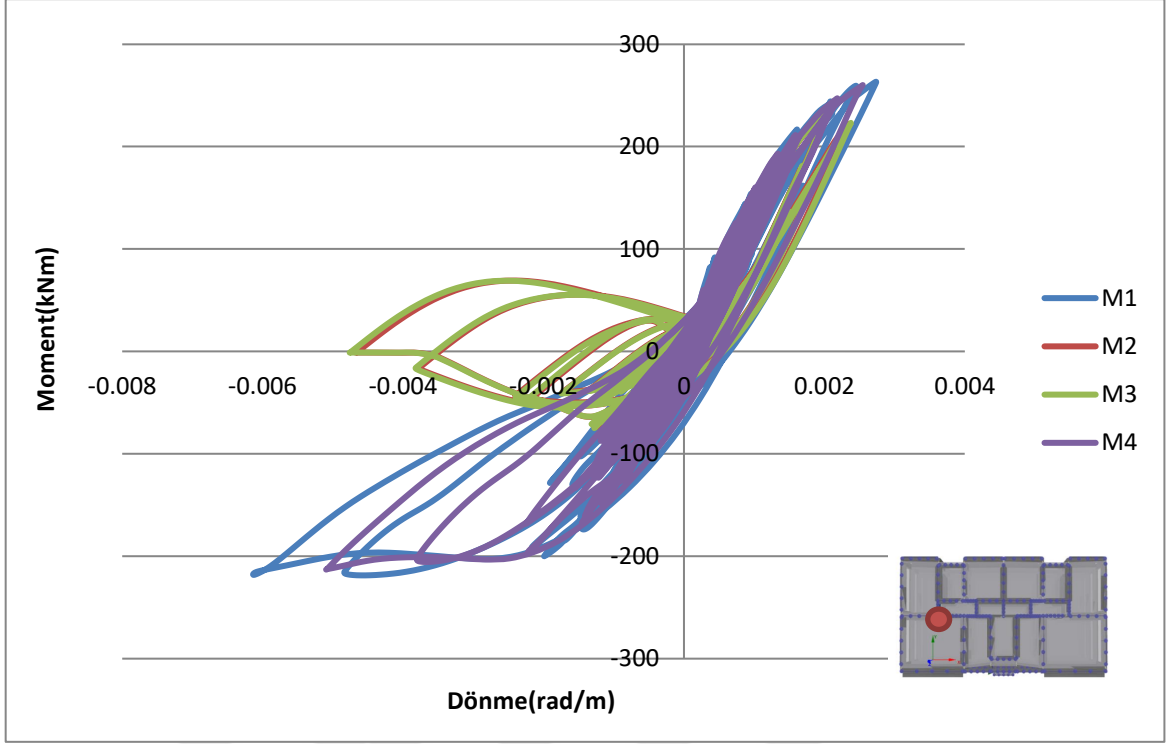
Şekil 7.64’de, SZ11 numaralı kolonun D2 deprem kaydı altında gerçekleştirilen analiz sonuçları değerlendirildiğinde; M1 modelinde pozitif yönde maksimum 199,48 kNm moment ve 0,00140309 rad/m dönme meydana geldiği belirlenmiştir. M2 modelinde pozitif yönde maksimum moment 141,45 kNm, dönme değeri ise 0,00105089 rad/m olarak gerçekleşmiştir. M3 modelinde pozitif yönde maksimum 142,59 kNm moment ve 0,00105997 rad/m dönme oluşmuştur. M4 modelinde ise pozitif yönde maksimum 174,46 kNm moment ve 0,0011642 rad/m dönme değerine ulaşıldığı görülmüştür.

Bu değerlendirme sonucunda, SZ11 numaralı kolonun M1 modelinde hem en büyük moment talebine hem de en yüksek dönme değerine ulaştığı açıkça ortaya çıkmaktadır. M4 modeli de nispeten yüksek iç kuvvet ve dönme talepleri göstermiştir. Buna karşılık M2 ve M3 modellerinin birbirine yakın ve daha düşük moment-dönme taleplerine sahip olduğu görülmektedir. Şekil 7.65’te SZ11 numaralı kolonun D2 deprem kaydı ile yapılan analizde, kat numaralarına göre kesme kuvvetleri verilmiştir.



Şekil 7.65: Uzun doğrultuda (X) SZ11 numaralı kolonun D2 deprem kaydı ile yapılan analiz katlara göre kesme kuvveti grafiği.

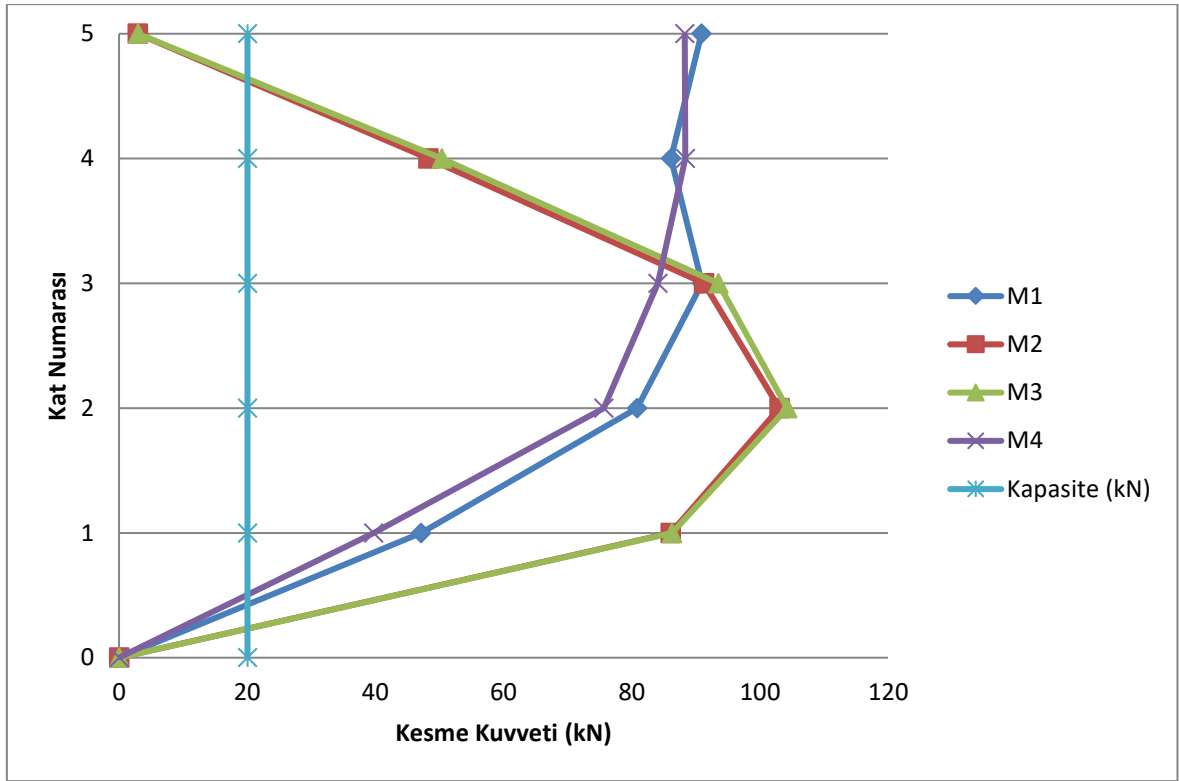
Şekil 7.65'te, SZ11 numaralı kolonun D2 deprem kaydı altında gerçekleştirilen analiz sonuçlarına göre, kolonun kesme kapasitesi 20,04 kN olarak hesaplanmıştır. M1, M2 ve M3 modellerinin 5. kat için elde edilen maksimum kesme kuvvetleri sırasıyla 64,93 kN, 30,53 kN ve 31,05 kN olarak belirlenmiştir. M4 modelinde ise en yüksek kesme kuvveti 3. katta 40,97 kN olarak hesaplanmıştır. Analiz sonuçları, SZ11 numaralı kolonun tüm modellerde (M1, M2, M3 ve M4) en az bir katta; M1, M2 ve M3 modellerinde 5. katta, M4 modelinde ise 3. Katta, kesme kapasitesi olan 20,04 kN değerini anlamlı ölçüde aşan kesme kuvvetlerine maruz kaldığını göstermektedir. En kritik durum 64,93 kN ile M1 modelinin 5. katında ortaya çıkmıştır. Bu bulgular, kolonun kesme güvenliği açısından yetersiz olduğunu ve kolonun bulunduğu yapısal sistemin deprem performansı açısından önemli bir risk taşıdığını ortaya koymaktadır. SZ11 numaralı kolonun D3 deprem kaydı altındaki moment–dönme ilişkisini gösteren grafik ise Şekil 7.66'da sunulmuştur.



Şekil 7.66: Uzun doğrultuda (X) SZ11 numaralı kolonun D3 deprem kaydı ile yapılan analizin moment-dönme grafiği.

Şekil 7.66’da, SZ11 numaralı kolonun D3 deprem kaydı altında gerçekleştirilen analiz sonuçları incelendiğinde; M1 modelinde pozitif yönde maksimum 263,22 kNm moment ve negatif yönde maksimum $-0,00613496$ rad/m dönme meydana geldiği görülmüştür. M2 modelinde pozitif yönde maksimum 238,53 kNm moment ve negatif yönde $-0,00467456$ rad/m dönme gerçekleşmiştir. M3 modelinde pozitif yönde maksimum 240,22 kNm moment, negatif yönde ise $-0,00476116$ rad/m dönme oluşmuştur. M4 modelinde ise pozitif yönde maksimum 260,12 kNm moment ve negatif yönde $-0,00509634$ rad/m dönme değerine ulaşılmıştır. Bu sonuçlar, SZ11 numaralı kolonun tüm modellerde negatif yönde yüksek düzeyde plastik davranış sergilediğini ve önemli ölçüde deformasyona maruz kaldığını göstermektedir. M1 modeli, hem en yüksek moment dayanımına ulaşması hem de en büyük dönme talebini üretmesi nedeniyle en kritik davranışı ortaya koymuştur. Bu bulgular, kolonun performansının özellikle büyük dönme talepleri altında taşıyıcı sistemin genel güvenilirliği açısından dikkatle değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Güçlendirme alternatiflerinden perde duvar eklenmesi ise hem momentini hem de dönmesini önemli oranda azaltmıştır.

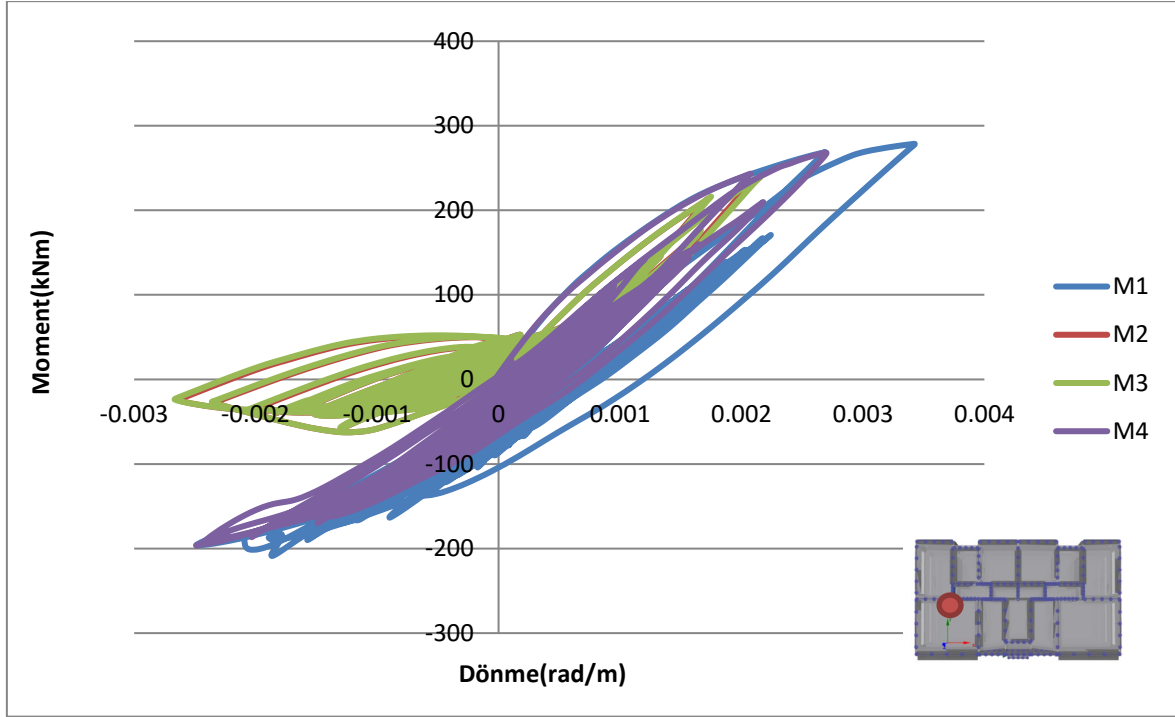
Şekil 7.67’de ise SZ11 numaralı kolonun D3 deprem kaydı altında gerçekleştirilen analizine ilişkin kat numaralarına göre kesme kuvvetleri sunulmuştur.



Şekil 7.67: Uzun doğrultuda (X) SZ11 numaralı kolonun D3 deprem kaydı ile yapılan analizin katlara göre kesme kuvveti grafiği.

Şekil 7.67’de, D3 deprem kaydı ile gerçekleştirilen dinamik analiz sonuçlarına göre SZ11 numaralı kolonun kesme kapasitesi 20,04 kN olarak belirlenmiştir. M1 modelinde 3. katta 90,97 kN, M2 modelinde 2. katta 103,03 kN, M3 modelinde 2. katta 104,27 kN ve M4 modelinde 4. katta 88,27 kN maksimum kesme kuvvetleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, SZ11 numaralı kolonun tüm modellerde ve tüm katlarda kesme kapasitesini oldukça yüksek oranlarda aştığını göstermektedir. En büyük kesme kuvveti talebi 104,27 kN ile M3 modelinin 2. katında ortaya çıkmıştır. En düşük kesme talebi dahi kapasitenin yaklaşık 4,4 katı seviyesindedir. Bu durum, SZ11 kolonunun D3 deprem kaydı altında ciddi düzeyde kesme yetersizliği yaşadığını ve kolonun güçlendirilmesi gerektiğini açıkça ortaya koymaktadır.

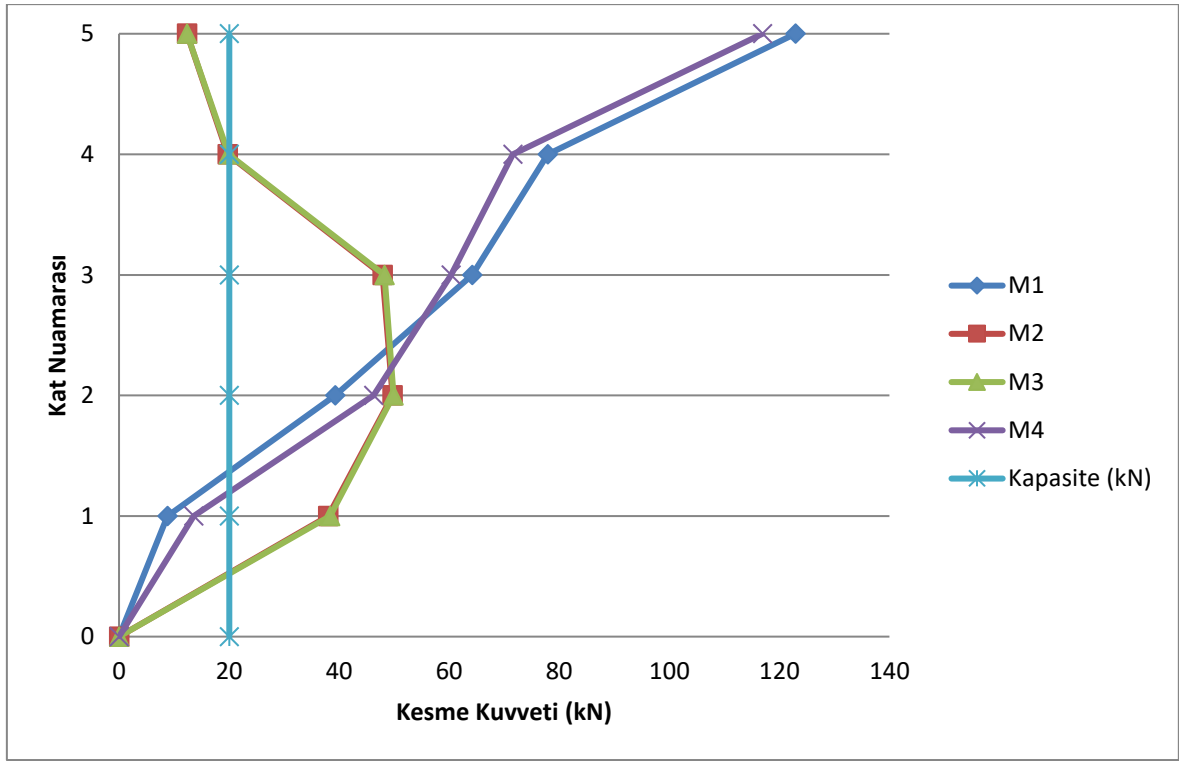
SZ11 numaralı kolonun D4 deprem kaydı altında elde edilen moment–dönme ilişkisine ait grafik ise Şekil 7.68’de sunulmuştur.



Şekil 7.68: Uzun doğrultuda (X) SZ11 numaralı kolonun D4 deprem kaydı ile yapılan analizin moment-dönme grafiği.

Şekil 7.68’de, SZ11 numaralı kolonun D4 deprem kaydı altında gerçekleştirilen analiz sonuçları incelendiğinde; M1 modelinde pozitif yönde maksimum 278,66 kNm moment ve pozitif yönde maksimum 0,00342573 rad/m dönme oluştuğu belirlenmiştir. M2 modelinde pozitif yönde maksimum 236,48 kNm moment ve negatif yönde $-0,00263603$ rad/m dönme gerçekleşmiştir. M3 modelinde pozitif yönde maksimum 239,42 kNm moment ve negatif yönde $-0,0026659$ rad/m dönme gözlenmiştir. M4 modelinde ise pozitif yönde maksimum 268,34 kNm moment ve pozitif yönde maksimum 0,00269981 rad/m dönme meydana gelmiştir. Analiz sonuçları, M1 modelinin tüm modeller arasında en yüksek enerji sönümlemesini sergilediğini göstermektedir. M4 modeli de M1’e yakın yüksek bir dayanım değeri üretmiştir. Buna karşılık, M2 ve M3 modelleri pozitif moment dayanımı açısından M1 ve M4 modellerine göre daha düşük değerler göstermiştir.

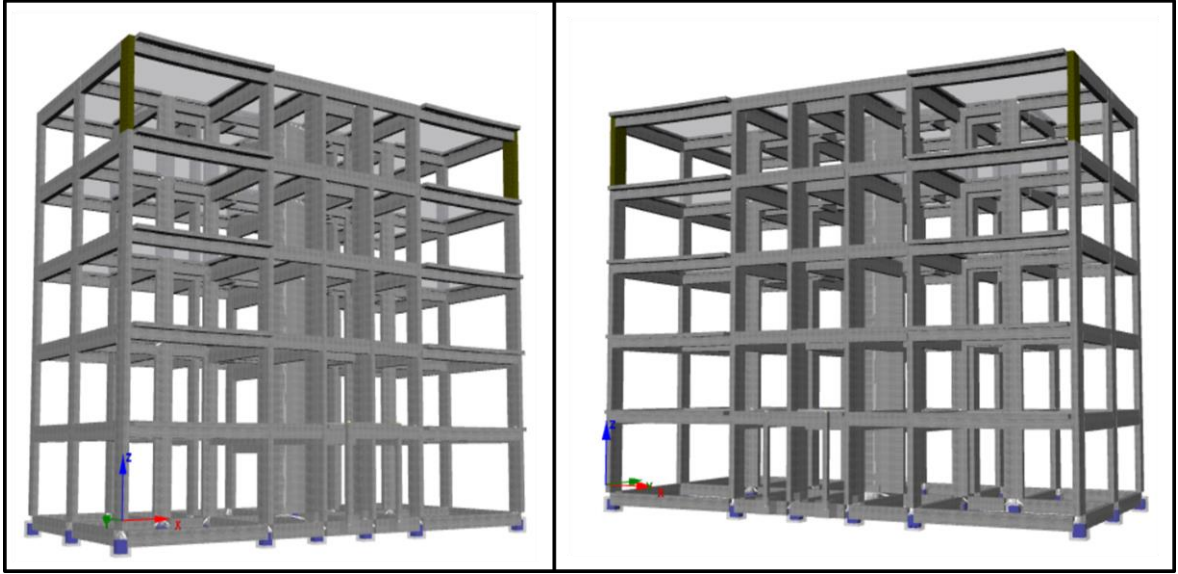
SZ11 numaralı kolonun D4 deprem kaydı altında elde edilen analiz sonuçlarına göre kat numaralarına göre kesme kuvvetleri ise Şekil 7.69’da sunulmuştur.



Şekil 7.69: Uzun doğrultuda (X) SZ11 numaralı kolonun D4 deprem kaydı ile yapılan analizin katlara göre kesme kuvveti grafiği.

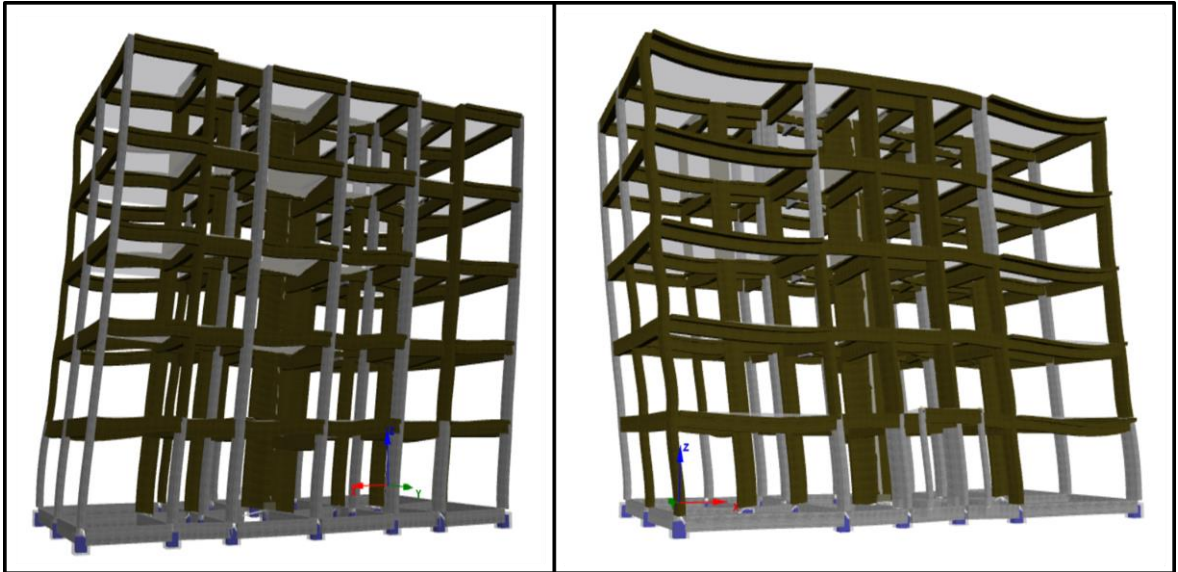
Şekil 7.69’da, D4 deprem kaydı ile gerçekleştirilen analiz sonuçlarına göre SZ11 numaralı kolonun kesme kapasitesi 20,04 kN olarak hesaplanmıştır. M1 modelinde 5. katta 122,91 kN, M2 modelinde 2. katta 49,71 kN, M3 modelinde 2. katta 49,90 kN ve M4 modelinde 5. katta 116,94 kN maksimum kesme kuvvetleri elde edilmiştir. Bu sonuçlar, SZ11 numaralı kolonun tüm modellerde ve tüm katlarda kesme kapasitesini önemli ölçüde aştığını göstermektedir. Özellikle M1 ve M4 modellerinde 5. katta kolonun ciddi derecede kesme yetersizliği sergilediği ve ani göçme riskinin çok yüksek olduğu görülmektedir. M2 ve M3 modellerinde ise maksimum kesme kuvvetleri kapasitenin yaklaşık 2,5 katına ulaşmakta olup, 2. katta kesme kapasitesinin aşıldığını ve kesme problemi yaşandığını ortaya koymaktadır.

Uzun doğrultuda, M1 modelinin D1 deprem kaydı ile yapılan analizinde 21,04. saniyede, yapısal sistemde son kattaki maksimum deplasman değeri 2 cm olarak belirlenmiştir. Kodlara yönelik kontroller sonucunda dönme kapasitesi yetersizliği gösteren elemanlar Şekil 7.70’de sunulmuştur.



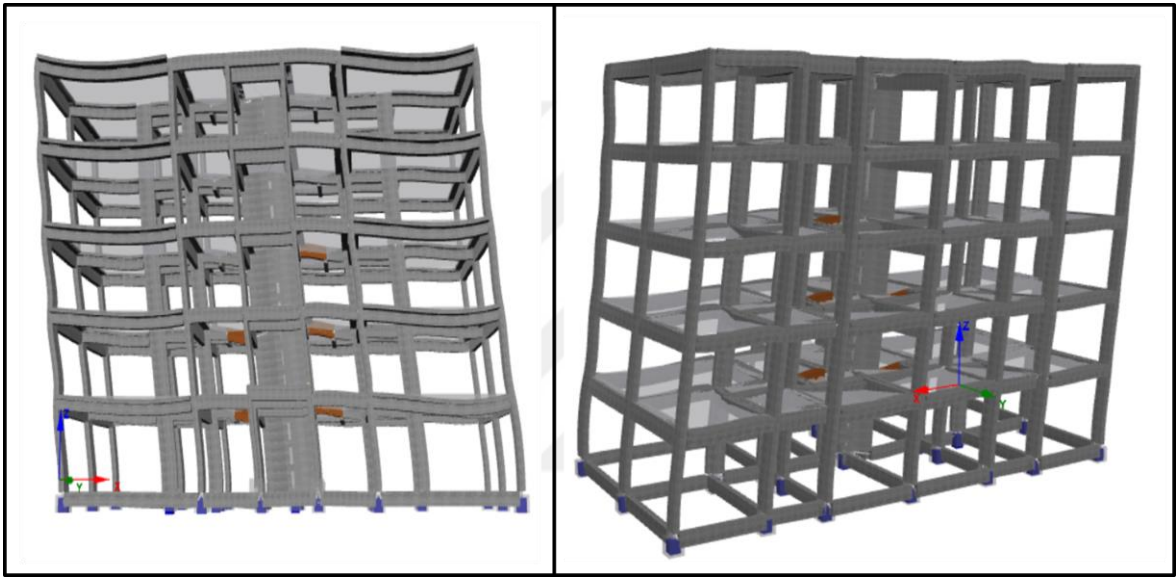
Şekil 7.70: M1 modelinin D1 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) dönme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.

Şekil 7.70’de, M1 modelinin D1 deprem kaydı ile yapılan analizde maksimum deplasmanın gerçekleştiği zaman anında kesme kapasitesi yetersizliği (göçmeye en yakın durum) gösteren taşıyıcı elemanlar incelendiğinde, bu durumun yapısal sistemde yalnızca dördüncü katta konumlanan dış cephedeki iki kolon taşıyıcı elemanında meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu durum, yapısal sistemin genel performansının kabul edilebilir düzeyde olmasına rağmen, belirli elemanlarda kapasite yetersizliği riski bulunduğunu göstermektedir. Kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar Şekil 7.71’de gösterilmiştir.



Şekil 7.71: M1 modelinin D1 deprem kaydı ile yapılan analizdeki uzun doğrultuda (X) kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.

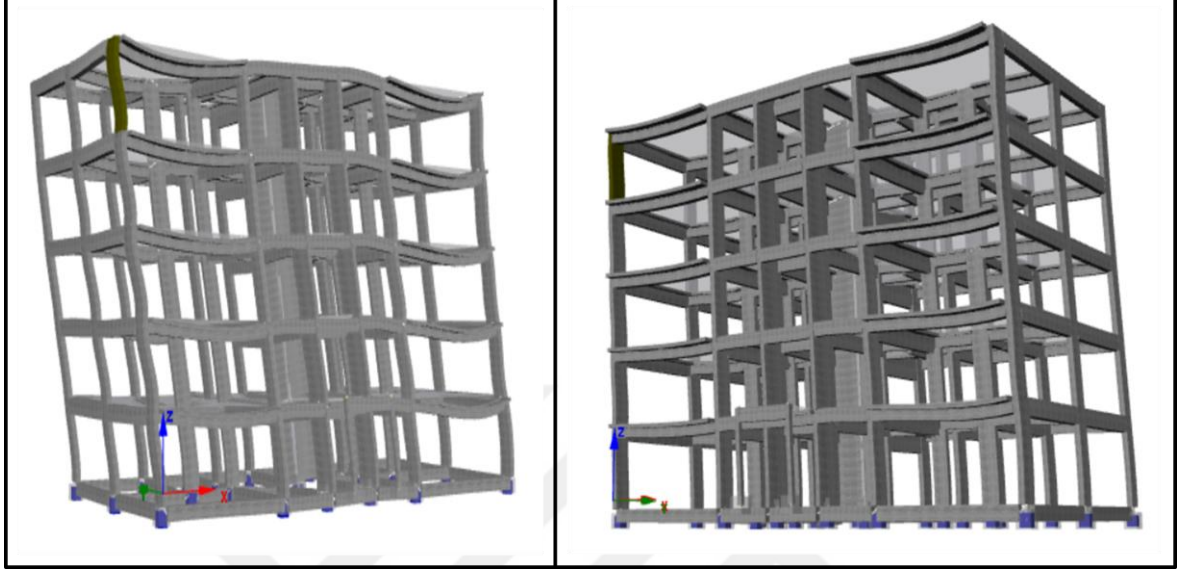
Şekil 7.71’de, dinamik analiz sonuçları, M1 modelinin D1 deprem kaydı ile yapılan analizde, yapının maksimum deplasmana ulaştığı kritik saniye anında, kesme kapasitesi yetersizliğinin sadece belirli lokal bölgelerle sınırlı kalmadığını ortaya koymaktadır. Bu yetersizlikler, yapısal sistemin tüm katlarında yer alan perde duvarlarında ve bunlara ek olarak belirli kolon ve/veya kiriş gibi diğer taşıyıcı elemanlarında da yaygın bir şekilde mevcuttur. Bu durum D1 kaydı altında M1 modelinin, özellikle kesmeye karşı yetersiz bir performans sergilediğini, gevrek göçme riskinin yaygın olduğunu göstermektedir. Ayrıca, M1 modelinin D1 deprem kaydı ile yapılan dinamik analizde performans kriterlerine dayalı kontrollerde çıkan sonuçlardan; donatısı akan elemanlar Şekil 7.72’de gösterilmiştir.



Şekil 7.72: M1 modelinin D1 deprem kaydı ile yapılan dinamik analizde uzun doğrultuda (X) donatısı akan elemanlar.

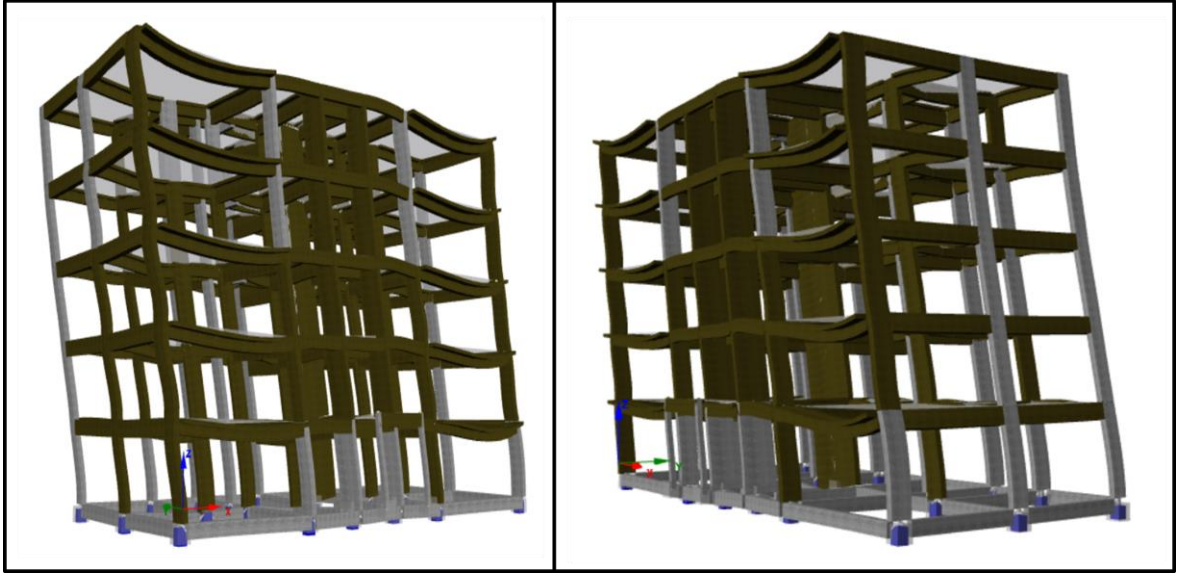
Şekil 7.72’de, M1 modelinin D1 deprem kaydı ile yapılan dinamik analizde, yapının ulaştığı maksimum deplasmanın gerçekleştiği zaman anında, çelik donatısında akma tespit edilen elemanların hasar yoğunluğu incelenmiştir. Bu incelemeye göre, donatısı akan elemanlar, yapısal sistemin özellikle zemin kat, birinci kat (1. kat) ve ikinci kat (2. kat) olmak üzere alt katmanlarında yoğunlaşmaktadır. Bu sonuç, deprem etkilerinin yapı alt katlarında, özellikle zemin kat ve üzerindeki ilk iki katta, taşıyıcı elemanların plastik kapasitesini zorladığını ve plastik mafsalların bu seviyelerde oluştuğunu göstermektedir. Ayrıca, performans kriterlerine dayalı olarak D1 deprem kaydı ile yapılan analiz sonucunda, sistemde çekirdeği ezilen veya paspayı dökülen herhangi bir eleman gözlemlenmemiştir.

M1 modelinin D2 deprem kaydı ile gerçekleştirilen uzun doğrultulu dinamik analizinde, 7,02. saniyede yapısal sistemde son kattaki maksimum deplasman değeri 2 cm olarak elde edilmiştir. Kodlara yönelik kontroller sonucunda dönme kapasitesi yetersizliği gösteren elemanlar Şekil 7.73’de sunulmuştur.



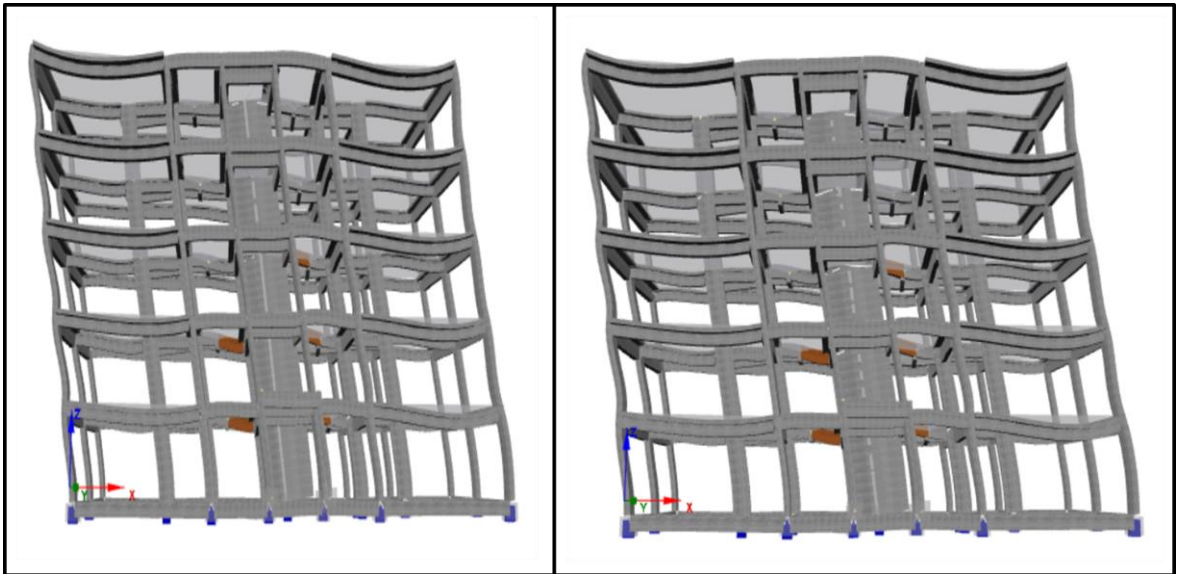
Şekil 7.73: M1 modelinin D2 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) dönme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.

Şekil 7.73’de, analiz sonuçlarına göre, D2 deprem kaydı ile yapılan dinamik analizde maksimum deplasmanın gerçekleştiği kritik zaman anında, dönme kapasitesi yetersizliği tespit edilen elemanların hasar yoğunluğu incelenmiştir. Bu inceleme, plastikleşmenin yapısal sistemde yalnızca dördüncü katta konumlanan tek bir kolonda meydana geldiğini ortaya koymuştur. Bu hasar, yapı performansının genel olarak yüksek olduğunu göstermektedir. Kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar Şekil 7.74’de gösterilmiştir.



Şekil 7.74: M1 modelinin D2 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.

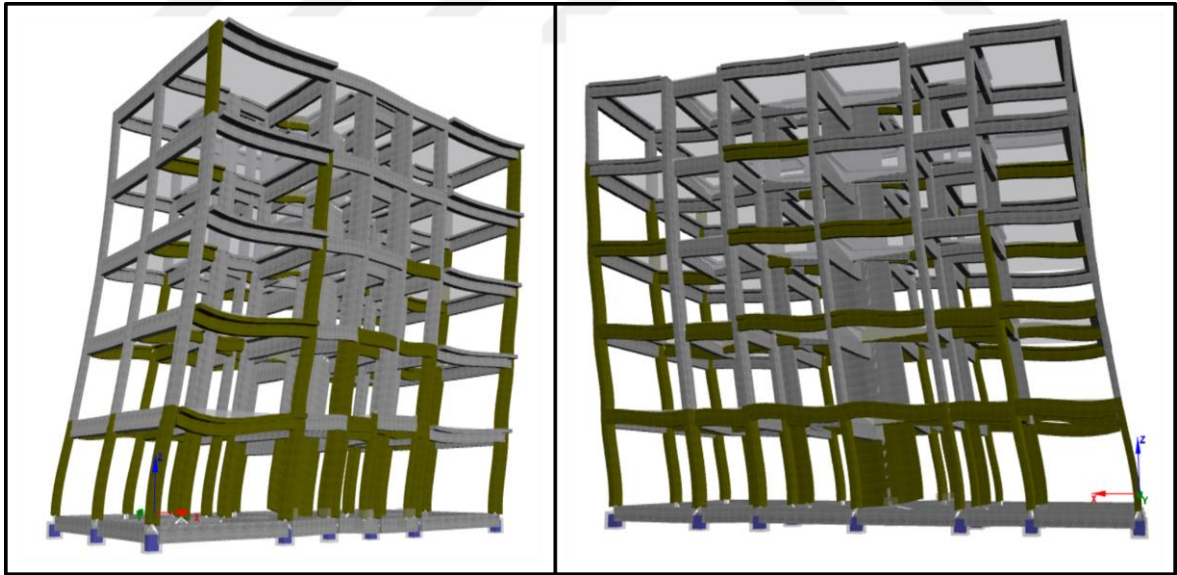
Şekil 7.74’de, dinamik analiz sonuçları incelendiğinde, M1 modelinin D2 deprem kaydı ile yapılan analizde, yapının maksimum deplasmana ulaştığı kritik zaman anında, kesme kapasitesi yetersizliğinin yaygın bir şekilde oluştuğu gözlemlenmiştir. Bu yetersizlikler, yapısal sistemin tüm katlarında bulunan perde duvarlarında ve yine tüm katların belirli kolon- kiriş gibi diğer taşıyıcı elemanlarında mevcuttur. Bu sonuç, D2 deprem kaydı altında M1 modelinin kesme kapasitesi açısından yetersiz bir performans sergilediğini, gevrek göçme riskinin sistemin geneline yayıldığını göstermektedir. Ayrıca, M1 modelinin D2 deprem kaydı ile gerçekleştirilen analizinde performans kriterlerine dayalı kontroller sonucunda, donatısı akan elemanlar Şekil 7.75’te gösterilmiştir.



Şekil 7.75: M1 modelinin D2 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) donatısı akan elemanlar.

Şekil 7.75'te, M1 modelinin D2 deprem kaydı ile yapılan analizde, maksimum deplasmanın gerçekleştiği anda donatısı akan elemanlar yalnızca perde duvarlara bitişik zemin kat, 1. kat ve 2. kattaki belirli kiriş elemanlarında gözlenmiştir. Analiz sonuçları, plastikleşmenin sistemde oldukça yerel ve teoriye uygun bir şekilde oluştuğunu göstermektedir. Özellikle perde duvarlara bitişik kirişlerdeki akma, bu bölgelerin deprem enerjisini absorbe etmede kritik bir rol oynadığını ve beklenen mafsallığın bu bölgelerde meydana geldiğini ortaya koymaktadır. Ayrıca, performans kriterlerine dayalı D2 deprem kaydı ile yapılan analizde, sistemde çekirdeği ezilen veya paspayı dökülen herhangi bir eleman bulunmamıştır.

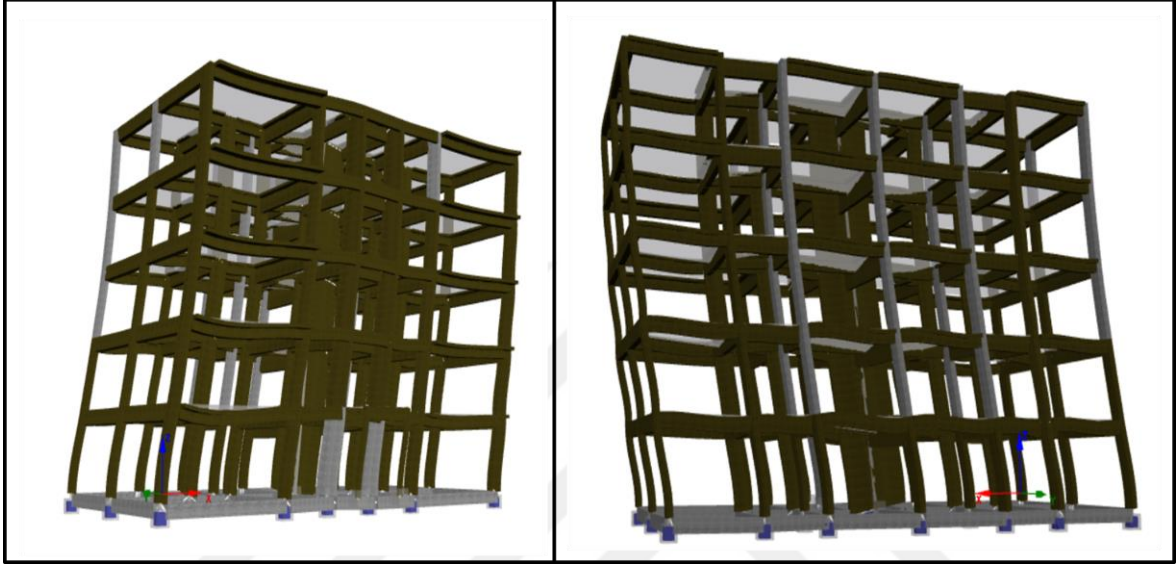
M1 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan analizinde ise uzun doğrultuda dinamik analizde 28,3. saniyede, yapısal sistemde son kattaki maksimum deplasman değeri 7,6 cm olarak belirlenmiştir. Kodlara yönelik kontroller sonucunda dönme kapasitesi yetersizliği gösteren elemanlar Şekil 7.76'da sunulmuştur.



Şekil 7.76: M1 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda(X) dönme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.

Şekil 7.76'da analiz sonucuna göre, M1 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan dinamik analizde, maksimum deplasmanın gerçekleştiği kritik zaman anında dönme kapasitesi yetersizliği gösteren elemanların hasar yoğunluğu yapısal sistemde aşağıdan

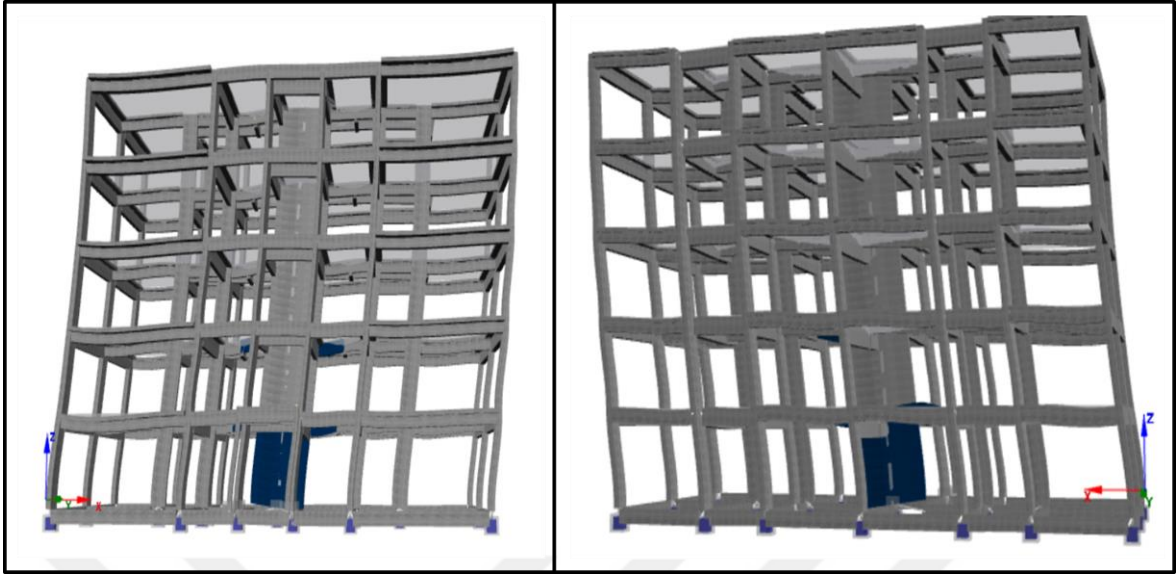
yukarıya azalan bir hasar profili sergilemektedir. Zemin katta hasar, hem perde duvarlarda hem de diğer belirli taşıyıcı elemanlarda yaygın olarak mevcuttur. Buna rağmen, üst katlarda da belirli taşıyıcı elemanlarda plastikleşme oluşmuştur. Ayrıca, D3 deprem kaydının, yapısal sistemi alt katlarda daha fazla zorladığını ve enerji tüketiminin büyük ölçüde zemin kat ve üzerindeki ilk birkaç katta gerçekleştiğini göstermektedir. Kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar Şekil 7.77’de gösterilmiştir.



Şekil 7.77: M1 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.

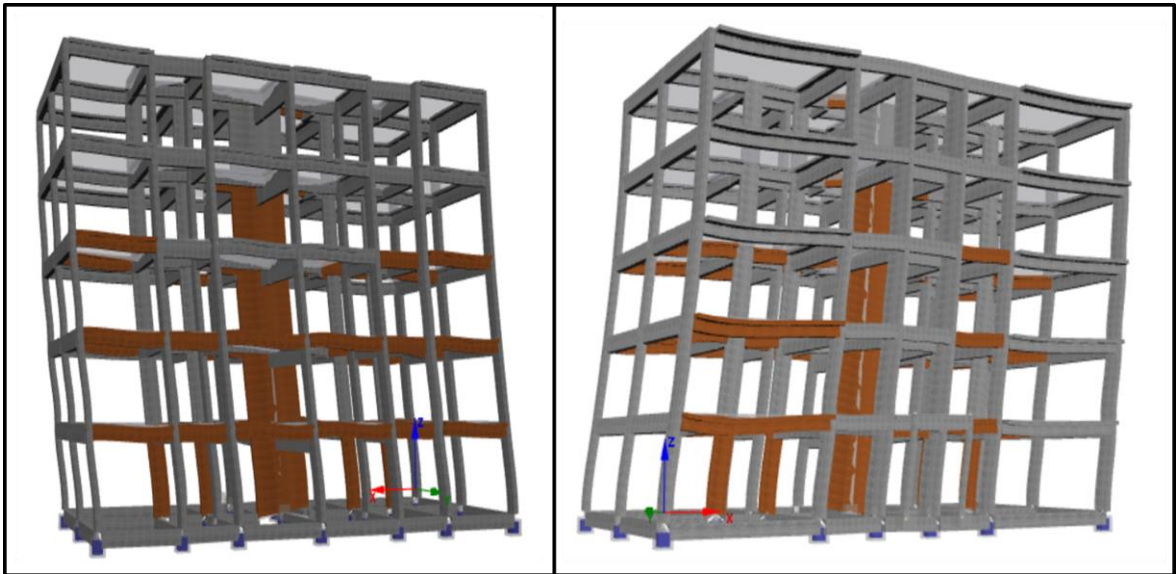
Şekil 7.77’de, M1 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan analizde, yapının maksimum deplasmana ulaştığı kritik zaman anında, kesme kapasitesi yetersizliğinin yaygın ve kapsamlı bir şekilde oluştuğunu göstermektedir. Bu kritik yetersizlikler, yapısal sisteminin tüm katlarında yeralan perde duvarlarında ve bunlara ek olarak, yine tüm katların belirli kolon kiriş gibi taşıyıcı elemanlarında tespit edilmiştir. Bu sonuçta D3 deprem kaydı altında M1 modelinin kesme kapasitesi performansı açısından kritik derecede yetersiz olduğunu, gevrek göçme riskinin sistemin her katına yayıldığını göstermektedir. Ayrıca, M1 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan analizinde, performans kriterlerine dayalı kontroller sonucu çekirdeği ezilen elemanlar Şekil 7.78’de

gösterilmiştir.



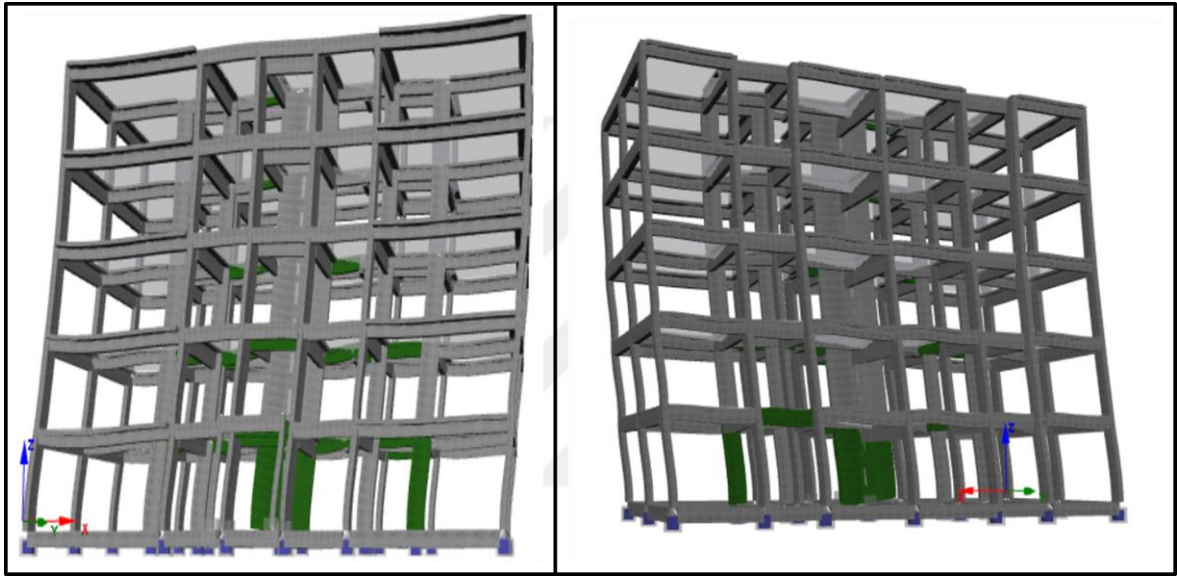
Şekil 7.78: M1 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) çekirdeği ezilen elemanlar.

Şekil 7.78’de, M1 modelinin D3 deprem kaydı altında gerçekleştirilen analizde, maksimum deplasmanın meydana geldiği anda çekirdeği ezilen elemanların yalnızca zemin kattaki perde duvarda ve zemin kat ile birinci kattaki bazı taşıyıcı kirişlerde olduğu belirlenmiştir. Bu bölgeler, yapının en yüksek gerilme ve şekil değiştirmelerin etkisi altında kaldığı hasar bölgelerini temsil etmektedir. Donatısı akan elemanlar ise Şekil 7.79’da gösterilmiştir.



Şekil 7.79: M1 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) donatısı akan elemanlar.

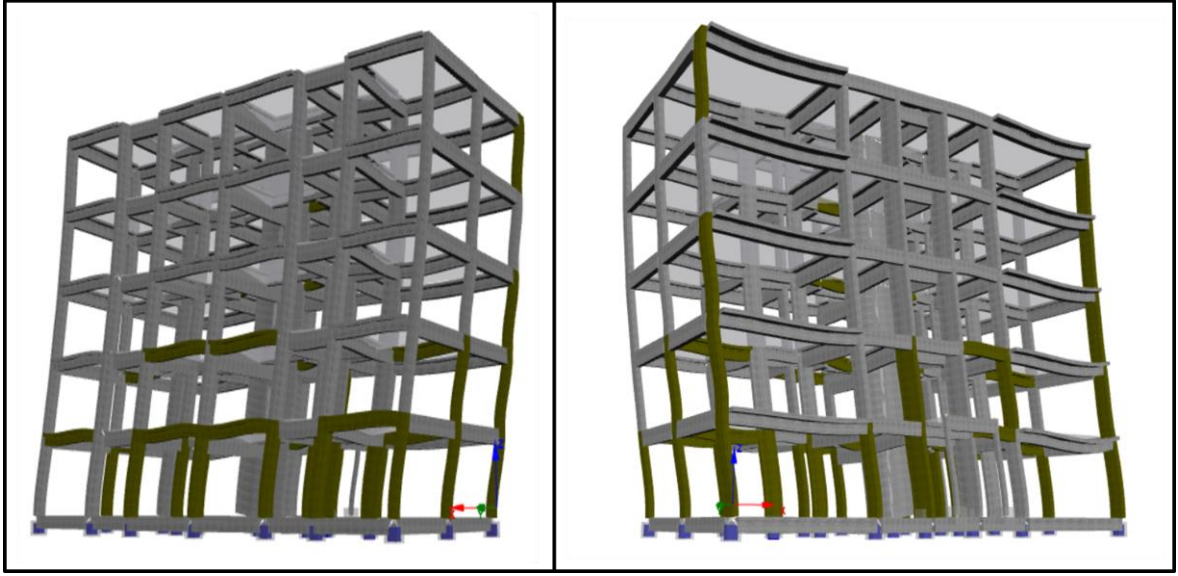
Şekil 7.79’da, M1 modelinin D3 deprem kaydı altında gerçekleştirilen analizinde, maksimum deplasmanın meydana geldiği anda donatısı akan elemanların zemin kattan 3. kata kadar uzanan perde duvarda ve zemin kattan 4. kata kadar olan belirli iç taşıyıcı elemanlarda olduğu belirlenmiştir. Bu durum, D3 deprem kaydının yapısal sistemi özellikle alt ve orta katlarda önemli ölçüde zorladığını ve plastikleşme mekanizmalarının bu katlarda yaygın olarak devreye girdiğini göstermektedir. Özellikle perde duvardaki akma, bu elemanın yatay yüklerin karşılanmasında kritik bir rol üstlendiğini ortaya koymaktadır. Paspayı dökülen elemanlar Şekil 7.80’de gösterilmiştir.



Şekil 7.80: M1 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) paspayı dökülen elemanlar.

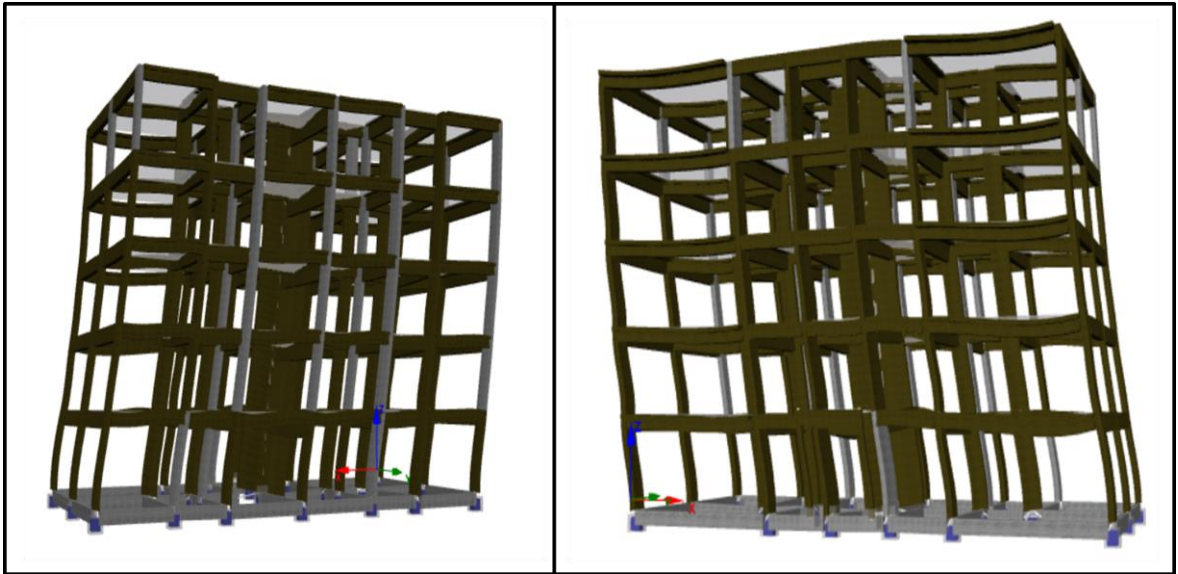
Şekil 7.80’de, M1 modelinin D3 deprem kaydı altında gerçekleştirilen analizinde, maksimum deplasmanın meydana geldiği anda paspayı dökülen elemanların yalnızca zemin kattaki perde duvarda, belirli kolon-gibi taşıyıcı elemanlarda ve zemin kat ile 1. ve 2. kattaki çeşitli taşıyıcı kiriş elemanlarında olduğu belirlenmiştir. Bu durum, D3 deprem kaydı altında yapısal hasarın özellikle alt katlarda yoğunlaştığını ve hem dikey hem de yatay taşıyıcı elemanların kritik hasar sınırlarına ulaştığını göstermektedir.

Uzun doğrultuda, M1 modelinin D4 deprem kaydı ile yapılan analizinin 8,12’nci saniyesinde, yapısal sistemde son kattaki maksimum deplasman değeri 4 cm olarak elde edilmiştir. Koda dayalı kontrolleri sonucunda dönme kapasitesi yetersizliği tespit edilen elemanlar Şekil 7.81’de gösterilmiştir.



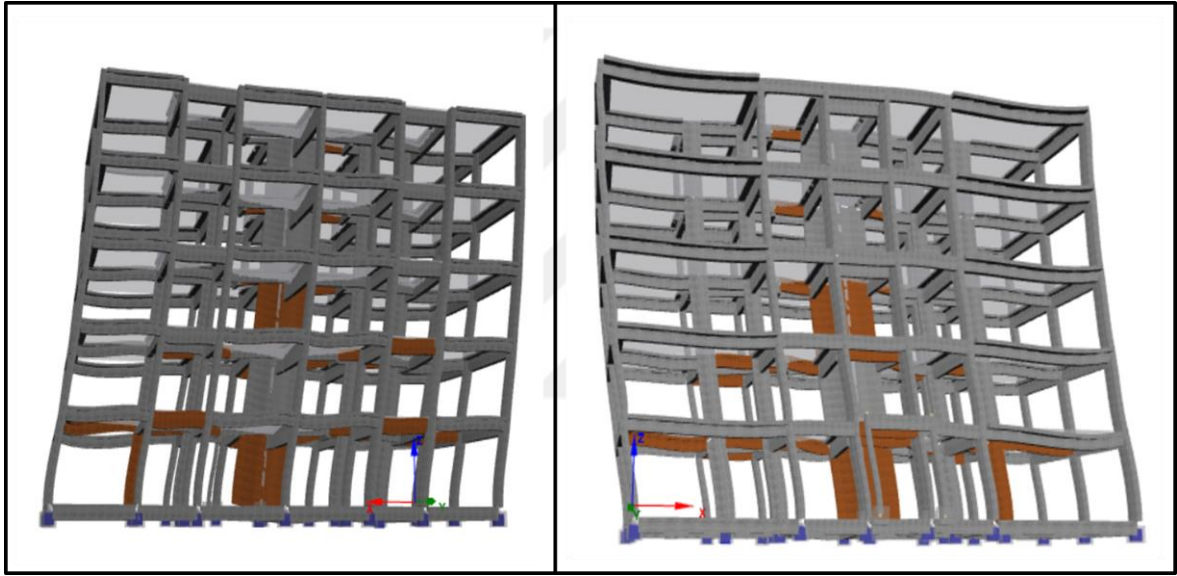
Şekil 7.81: M1 modelinin D4 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) dönme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.

Şekil 7.81’de, M1 modelinin D4 deprem kaydı altında gerçekleştirilen analizinde, maksimum deplasmanın meydana geldiği anda dönme kapasitesi yetersizliği bulunan elemanların yoğun olarak zemin kattaki taşıyıcı elemanlarda ortaya çıktığı, üst katlara doğru ise azalan düzeyde bazı taşıyıcı elemanlarda hasarın devam ettiği belirlenmiştir. Bu sonuçlar, D4 deprem kaydının yapısal sistemi özellikle zemin katta plastik kapasite sınırlarına kadar zorladığını göstermektedir. Bu nedenle, zemin kattaki elemanların süneklik ve detaylandırma yeterliliği kritik öneme sahiptir. Kesme kapasitesi yetersizliği bulunan elemanlar ise Şekil 7.82’de sunulmuştur.



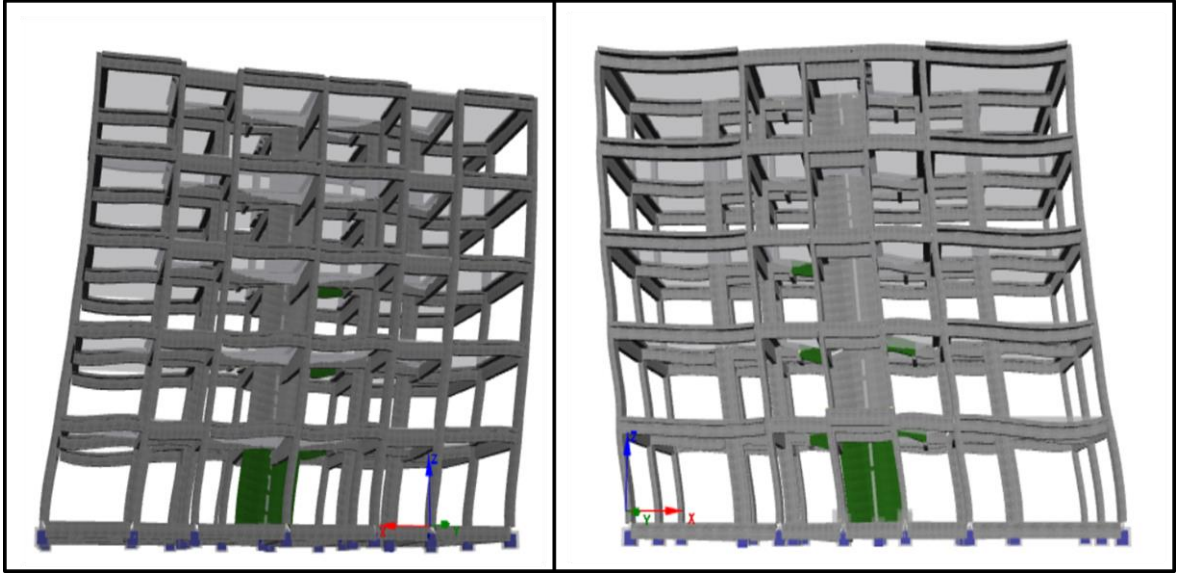
Şekil 7.82: M1 modelinin D4 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.

Şekil 7.82’de, M1 modelinin D4 deprem kaydı altında gerçekleştirilen analizinde, maksimum deplasmanın meydana geldiği anda kesme kapasitesi yetersizliği görülen elemanların tüm katlardaki perde duvarlarda ve yine tüm katlarda belirli taşıyıcı elemanlarda olduğu belirlenmiştir. Bu durum, D4 deprem kaydı altında M1 modelinin kesme kapasitesi açısından kritik derecede yetersiz performans sergilediğini ve gevrek göçme riskinin sistemin tüm katlarına yayıldığını göstermektedir. Ayrıca, M1 modelinin D4 deprem kaydı ile yapılan analizine ilişkin performans kriterlerine dayalı kontroller sonucunda donatısı akan elemanlar Şekil 7.83’de sunulmuştur.



Şekil 7.83: M1 modelinin D4 deprem kaydı ile yapılan analizde uzundoğrultuda (X) donatısı akan elemanlar.

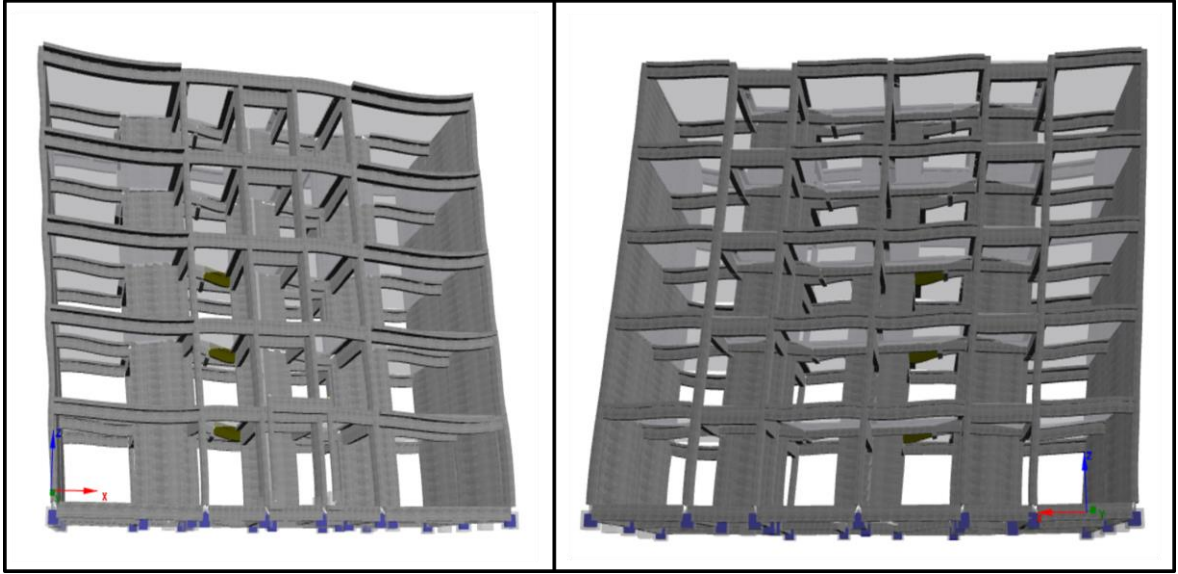
Şekil 7.83’de, dinamik analiz sonucu incelendiğinde, M1 modelinin D4 deprem kaydı ile yapılan analizde, yapının ulaştığı maksimum deplasmanın gerçekleştiği kritik zaman anında, çelik donatısında akma tespit edilen elemanların hasar dağılımı perde duvarda akma, zemin kat ve 2. kat seviyelerinde meydana gelmiştir. Bu durum, perde duvarın bu seviyelerde önemli bir plastikleşme enerjisi tükettiğini gösterir. Buna ek olarak, üst katlara doğru azalan bir yoğunlukta, belirli taşıyıcı elemanlarda akma hasarı gözlemlenmiştir. Paspayı dökülen elemanlar Şekil 7.84’de gösterilmiştir.



Şekil 7.84: M1 modelinin D4 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) paspayı dökülen elemanlar.

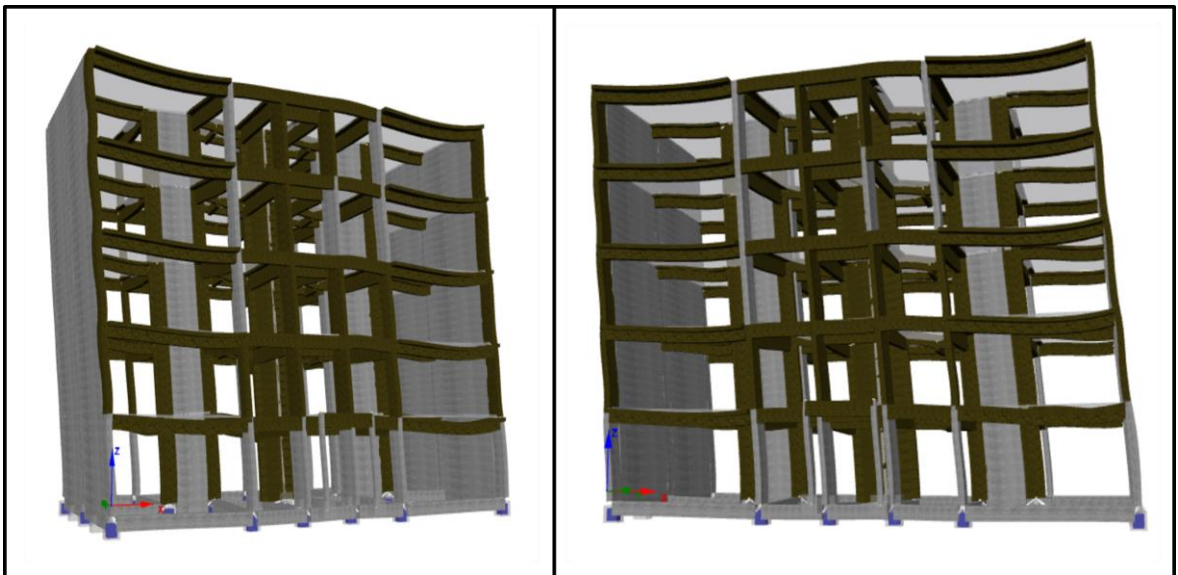
Şekil 7.84’de, M1 modelinin D4 deprem kaydı altında gerçekleştirilen analizinde, maksimum deplasmanın meydana geldiği anda paspayı dökülen elemanların yalnızca zemin kattaki perde duvarda, belirli kolon benzeri taşıyıcı elemanlarda ve zemin kat, 1. kat ve 2. kattaki perde duvarına komşu bazı taşıyıcı kiriş elemanlarında olduğu belirlenmiştir. Bu durum, D4 deprem kaydı altında yapısal hasarın özellikle alt katlarda yoğunlaştığını ve hem dikey taşıyıcı elemanlar hem de perde duvar ile etkileşim hâlindeki kirişlerin kritik hasar sınırlarına ulaştığını göstermektedir. Ayrıca, performans kriterlerine dayalı değerlendirme sonucunda, D4 deprem kaydı altında çekirdeği ezilen herhangi bir eleman tespit edilmemiştir.

Uzun doğrultuda (X), M2 modelinin D1 deprem kaydı ile yapılan analizinin 21. saniyesinde yapısal sistemde son kattaki maksimum deplasman değeri 1,8 cm olarak belirlenmiş olup, koda dayalı kontrolleri sonucunda dönme kapasitesi yetersizliği bulunan elemanlar Şekil 7.85’de gösterilmiştir.



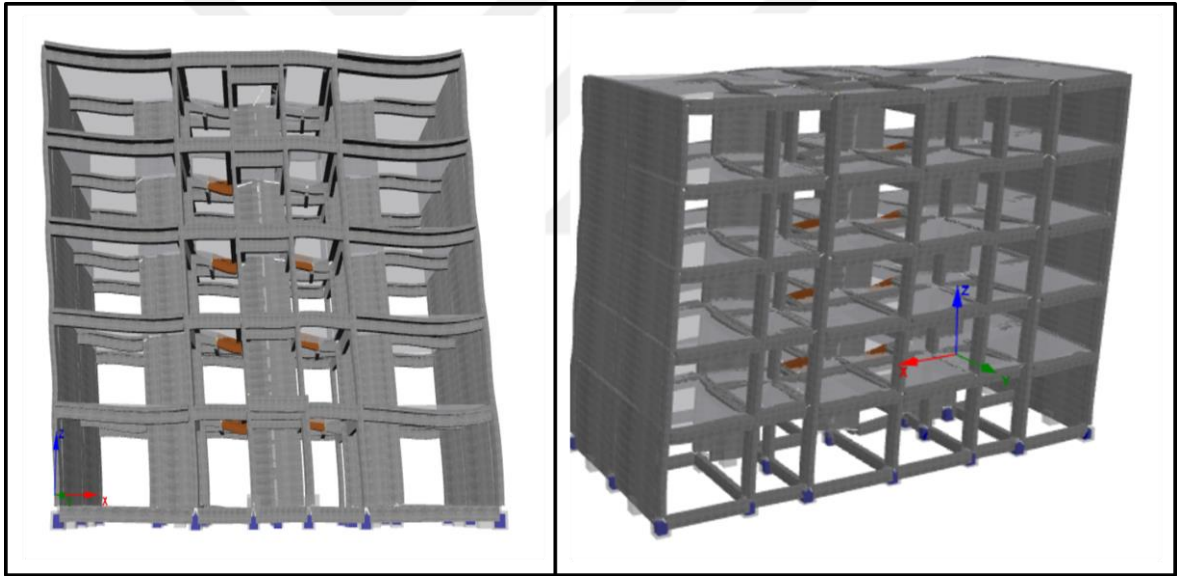
Şekil 7.85: M2 modelinin D1 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) dönme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.

Şekil 7.85’de, analiz sonucuna göre, M2 modelinin D1 deprem kaydı ile yapılan dinamik analizde, maksimum deplasmanın gerçekleştiği kritik zaman anında dönme kapasitesi yetersizliği gösteren elemanların zemin kat, 1. kat ve 2. kat seviyelerinde yer almaktadır. Yetersizlikler, özellikle perde duvar ile kiriş birleşim noktalarındaki kiriş elemanlarında meydana gelmiştir. Bu durum, M2 modelinde D1 deprem kaydı altında, plastik mafsall oluşumu kiriş elemanlarında, özellikle de rijit perde duvarlara bağlanan bölgelerde gerçekleştiğini göstermektedir. Kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar Şekil 7.86’da gösterilmiştir.



Şekil 7.86: M2 modelinin D1 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.

Şekil 7.86’da, M2 modelinin D1 deprem kaydı altındaki performansı değerlendirildiğinde, maksimum deplasman anında kesme kapasitesi yetersizliği görülen elemanların, sistemin tüm katlarında güçlendirme uygulanmamış perde duvarlarında ve yine tüm katlardaki belirli taşıyıcı elemanlarda hasar oluşturduğu tespit edilmiştir. Bu analiz sonuçları, yapının mevcut durumu ile uzun doğrultuda (X) önemli bir yapısal zayıflık göstermektedir. Özellikle tüm katlarda hem güçlendirilmemiş perde duvarlarında hem de çerçeve elemanlarında gözlenen kesme kapasitesi yetersizliği, yapının deprem güvenliği açısından kabul edilemez düzeyde bir performans sergilediğini ortaya koymaktadır. Ayrıca, M2 modelinin D1 deprem kaydı altında yapılan analizine ilişkin performans kriterlerine dayalı kontroller sonucunda donatısı akan elemanlar Şekil 7.87’de sunulmuştur.

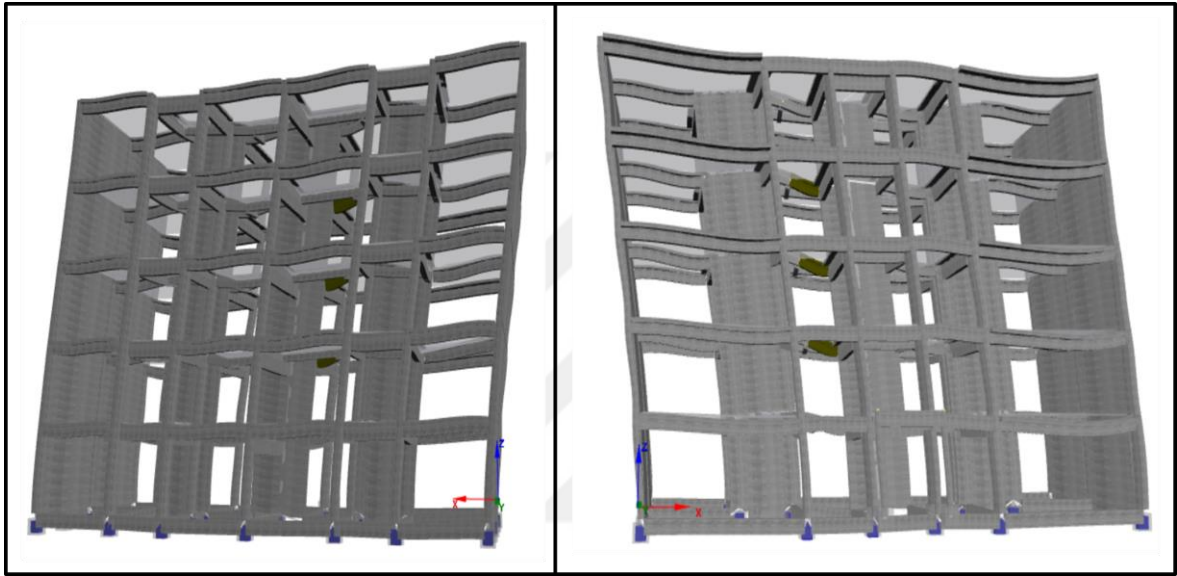


Şekil 7.87: M2 modelinin D1 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) donatısı akan elemanlar.

Şekil 7.87’de, M2 modelinin D1 deprem kaydı altında gerçekleştirilen analizinde, maksimum deplasmanın meydana geldiği anda donatısı akan elemanların zemin kat, 1. kat, 2. kat ve 3. kattaki perde duvarlarında ve kiriş-perde birleşim bölgelerindeki bazı kiriş elemanlarında olduğu belirlenmiştir. M2 modelinde zemin kattan 3. kata kadar perde duvarları ile kiriş birleşim noktalarında gözlenen donatı akması, yapının uzun doğrultuda (X) plastik deformasyona uğradığını ve taşıyıcı kapasitesinin kademeli olarak tüketilmeye

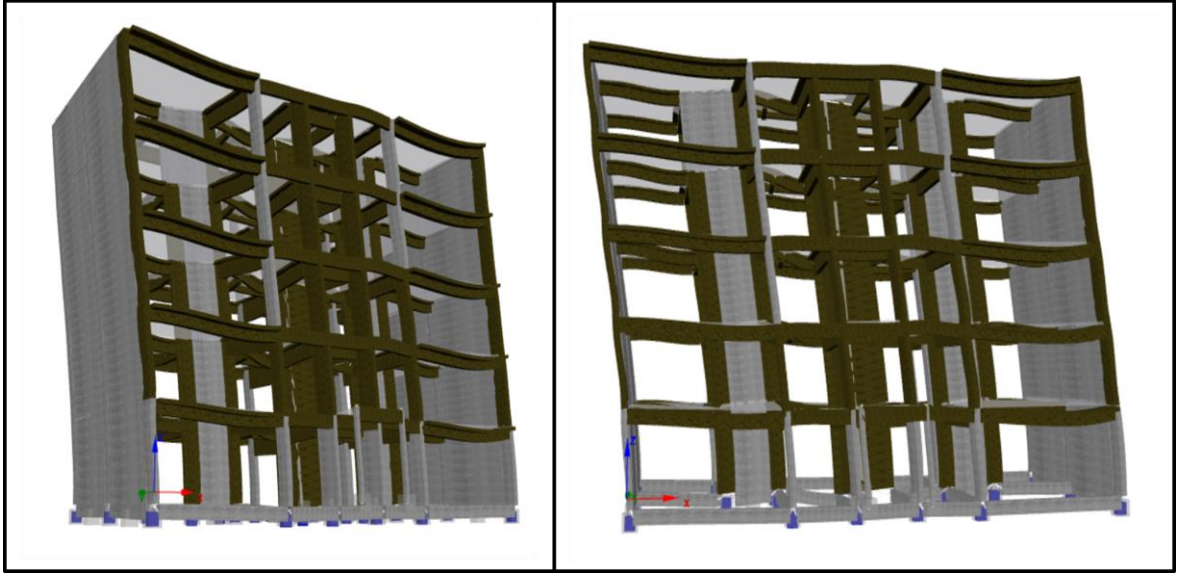
başlandığını göstermektedir. Ayrıca, performans kriterlerine dayalı yapılan değerlendirmede, D1 deprem kaydı altında çekirdeği ezilen veya kabuğu atan herhangi bir eleman tespit edilmemiştir.

Uzun doğrultuda, M2 modelinin D2 deprem kaydı ile yapılan analizinde, 7,01'inci saniyede yapısal sistemde son kattaki maksimum deplasman değeri 2 cm olarak elde edilmiştir. Koda dayalı kontrolleri sonucunda dönme kapasitesi yetersizliği bulunan elemanlar Şekil 7.88'de gösterilmiştir.



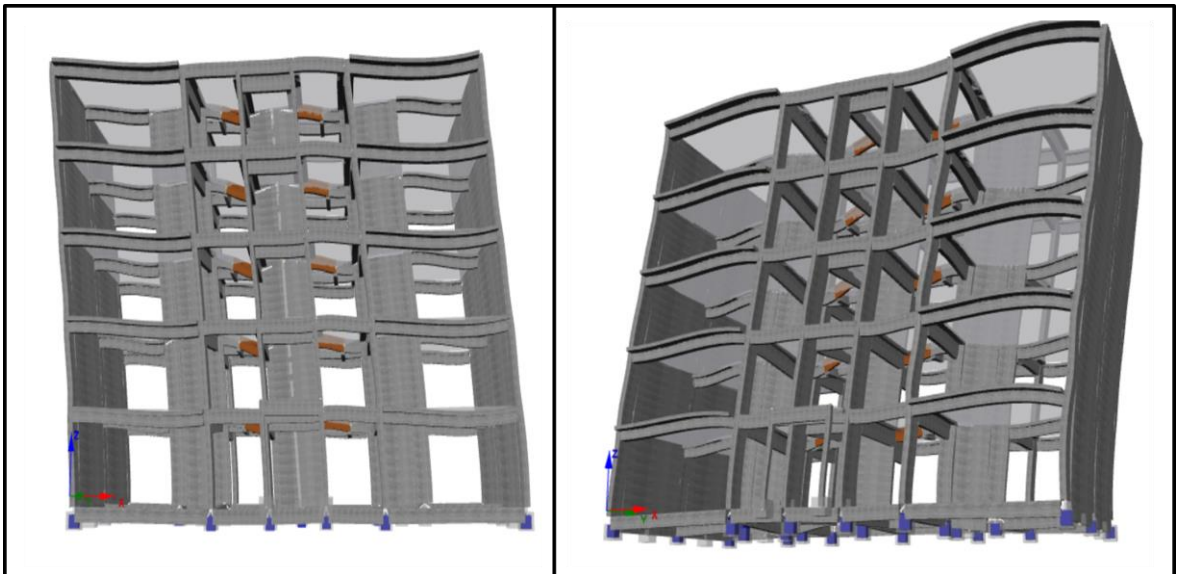
Şekil 7.88: M2 modelinin D2 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) dönme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.

Şekil 7.88'de, M2 modelinin D2 deprem kaydı altında gerçekleştirilen analizinde, maksimum deplasmanın meydana geldiği anda dönme kapasitesi yetersizliği görülen elemanların yapısal sistemin 1., 2. ve 3. katlarındaki perde duvarları ile kiriş-perde birleşim noktalarında yer alan bazı kiriş elemanlarında olduğu belirlenmiştir. Bu performans, yapının uzun doğrultuda (X) süneklik açısından yetersizlik taşıdığını göstermektedir. Ayrıca, ilgili katlarda perde duvarı ile kiriş birleşim bölgelerinde gözlenen dönme kapasitesi yetersizliği, bu bölgelerin deprem etkisi altında plastikleşme ve enerji yutma kapasitelerini aştığını ortaya koymaktadır. Kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar Şekil 7.89'da gösterilmiştir.



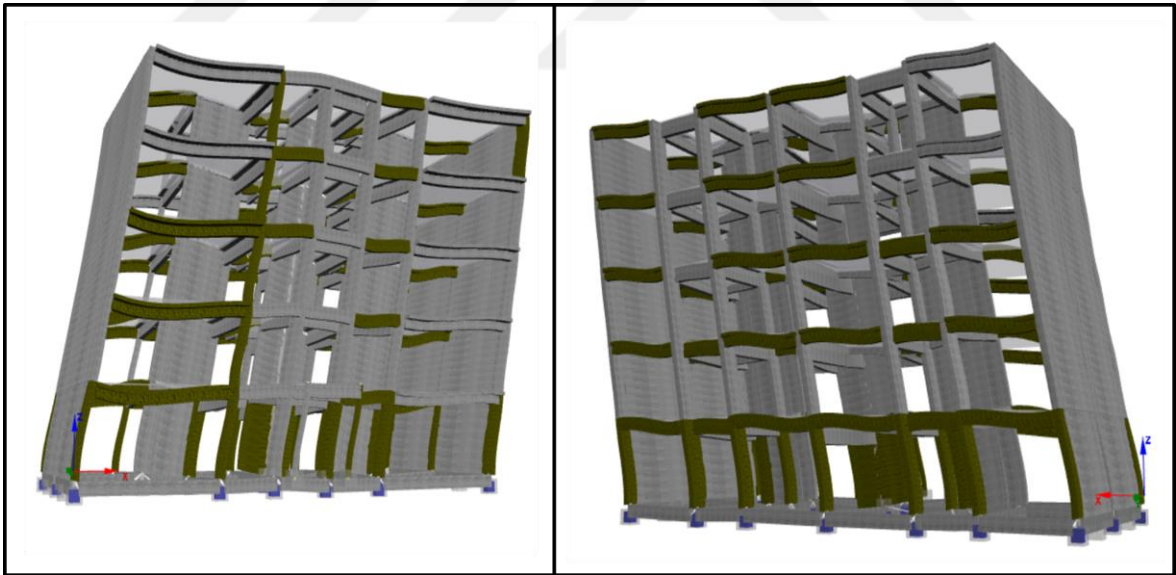
Şekil 7.89: M2 modelinin D2 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.

Şekil 7.89’da, M2 modelinin D2 deprem kaydı altında gerçekleştirilen analizinde, maksimum deplasman anında kesme kapasitesi yetersizliği görülen elemanların, sistemin tüm katlarındaki güçlendirme uygulanmamış perde duvarlarında ve yine tüm katlardaki belirli taşıyıcı elemanlarda olduğu tespit edilmiştir. Hasarın tüm katlarda ve hem perde duvarlarında hem de çerçeve elemanlarında yaygın olarak görülmesi, yapının genel deprem güvenliği açısından kabul edilemez bir durumda olduğunu göstermektedir. Ayrıca, M2 modelinin D2 deprem kaydı ile yapılan analizine ilişkin performans kriterlerine dayalı kontroller sonucunda donatısı akan elemanlar Şekil 7.90’da sunulmuştur.



Şekil 7.90: M2 modelinin D2 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) donatısı akan elemanlar.

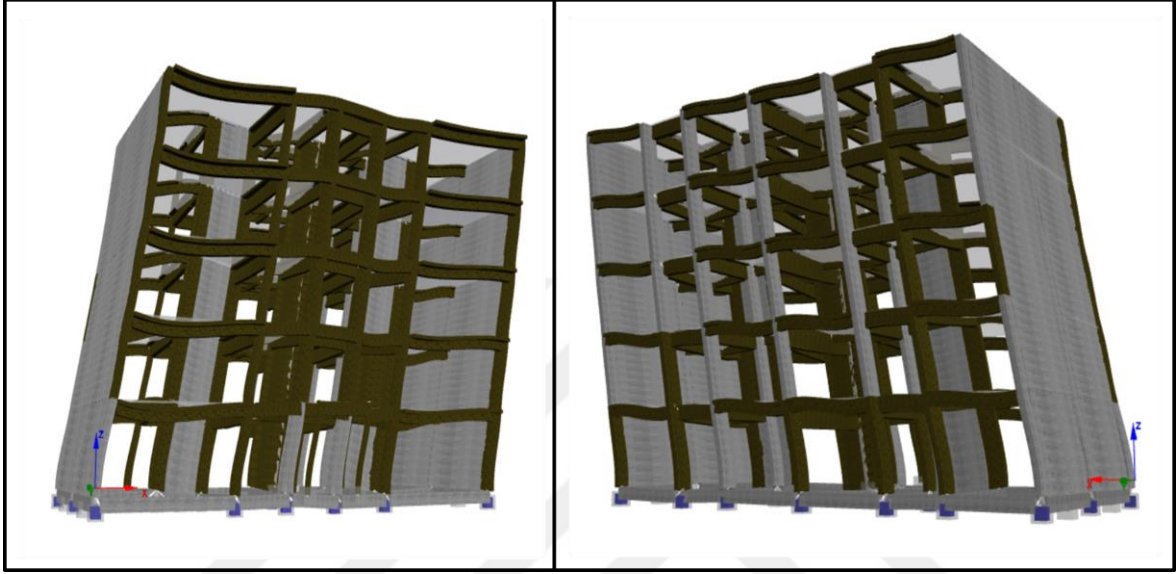
Şekil 7.90’da, M2 yapısal modelinin D2 deprem kaydı kullanılarak gerçekleştirilen zaman tanım aralığı analizinde, yapının uzun doğrultuda (X eksen) ulaştığı maksimum yanal deplasman anındaki donatısı akan elemanlar, sistemin tüm katlarındaperdeduvarın her ikitarafındakirişbirleşimnoktalarındakirişelemanlarındahasargörölmüştür.Bu sonuçla hasar dağılımı, sistemin deprem enerjisini absorbe etmek için sünek davranış sergilediğini ve akma bölgelerinin ağırlıklı olarak kiriş uçlarında oluştuğunu göstermektedir.Perde duvarların rijitliği nedeniyle, perdelerle birleşen kirişlerde yüksek eğilme momenti talepleri oluşmuş ve bu da kiriş ile perde duvar birleşim noktalarında plastikleşmeye yol açmıştır.Ayrıca, performans kriterlerine dayalı D2 deprem kaydı ile yapılan analizde çekirdeği ezilen ve kabuk atan herhangi bir eleman olmamıştır.Uzun doğrultuda (X), M2 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan analizinde 28,27. saniyede yapısal sistemin son katında maksimum deplasman değeri 6,8 cm olarak elde edilmiştir. Bu analiz sonucunda, koda dayalı kontroller kapsamında yapılan değerlendirmelerde dönme kapasitesi yetersizliği bulunan elemanlar belirlenmiş olup, bu elemanlar Şekil 7.91’de gösterilmiştir.



Şekil 7.91: M2 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) dönme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.

Şekil 7.91’de, M2 yapısal modelinin D3 deprem kaydı altında gerçekleştirilen zaman tanım aralığı analizinde, uzun doğrultuda (X) maksimum deplasman anında dönme kapasitesi yetersizliği görülen elemanların, yapısal sistemin zemin katındaki güçlendirme

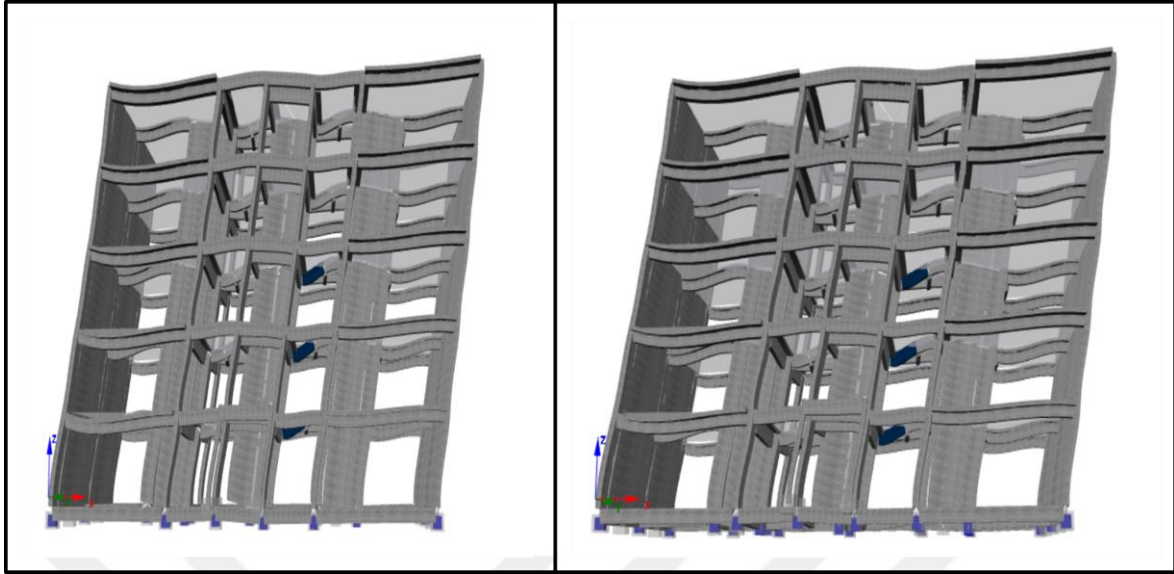
uygulanmamış perde duvarı ile belirli kolon ve kiriş elemanlarında oluştuğu; üst katlarda ise yalnızca belirli kiriş elemanlarında hasar tespit edildiği belirlenmiştir. Gözlemlenen bu yetersizlikler, D3 deprem kaydının neden olduğu kuvvetli yer hareketine karşı kritik elemanlarda plastik dönme kapasitesinin aşıldığını ve dolayısıyla kesme potansiyeli taşıdığını göstermektedir. Kesme kapasitesi yetersizliği bulunan elemanlar Şekil 7.92’de sunulmuştur.



Şekil 7.92: M2 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.

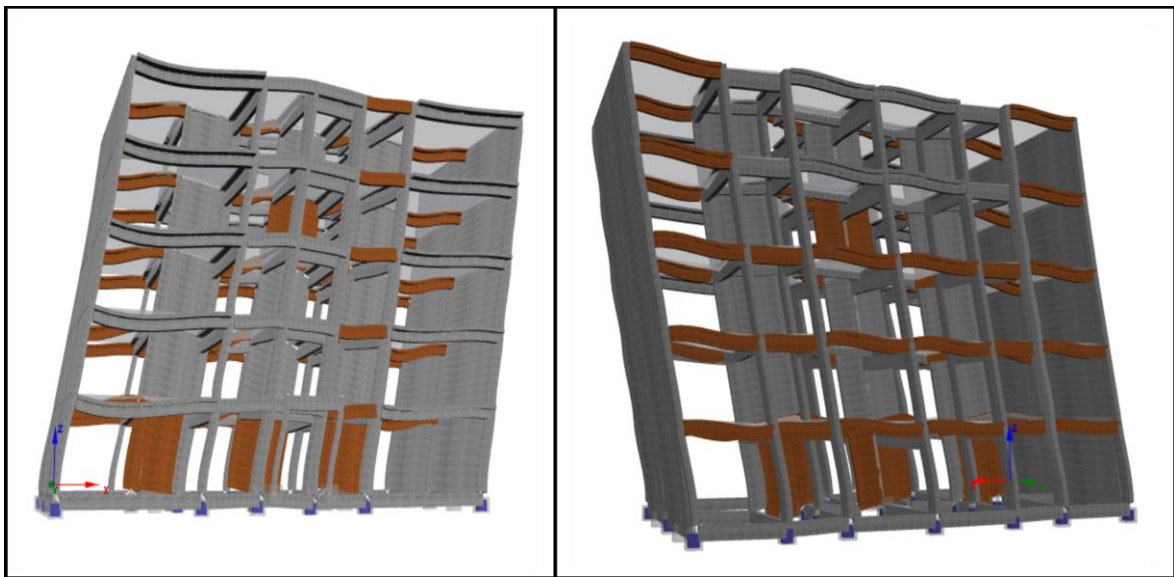
Şekil 7.92’de, M2 modelinin D3 deprem kaydı altında uzun doğrultuda (X) elde edilen analiz sonuçları binaen, maksimum deplasmanın gerçekleştiği anda sistemde kesme kapasitesi yetersizliği oluşan elemanlar, özellikle güçlendirme yapılmamış perde duvarlarında ve taşıyıcı sistemin tüm katlarına yayılmış bazı kolon ve kiriş elemanlarında kesme kapasitesi yetersizliği gözlemlenmiştir. Bu sonuç doğrultusunda, sistemin mevcut dayanımının yüksek deprem etkileri karşısında yetersiz kaldığını ve taşıyıcı elemanlarda önemli hasarların meydana geldiğini göstermektedir. Ayrıca, M2 modelinin D3 deprem kaydı altında yapılan analizde performans kriterlerine dayalı kontroller sonucunda

çekirdeği ezilen elemanlar Şekil 7.93’de gösterilmiştir.



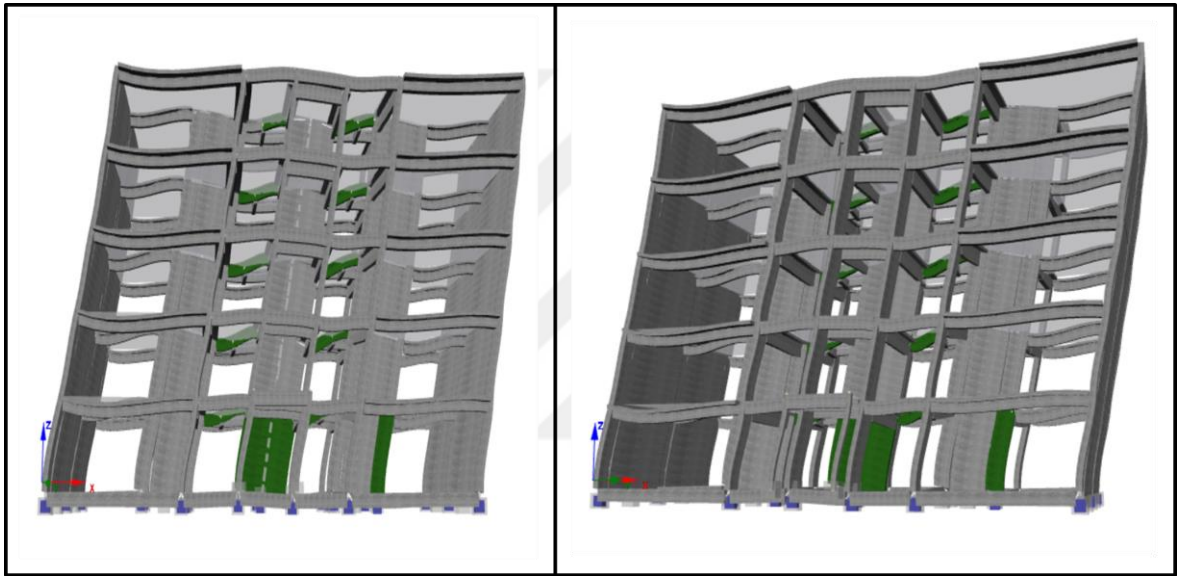
Şekil 7.93: M2 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) çekirdeği ezilen elemanlar.

Şekil 7.93’de M2 modelinin D3 deprem kaydı altında uzun doğrultuda (X) elde edilen analiz sonuçlarına göre, maksimum deplasmanın meydana geldiği anda çekirdeği ezilen elemanlar, özellikle zemin kat, 1. kat ve 2. katta yer alan perde duvarın sağ tarafında, kiriş ile bağlantılı bölgelerde hasar oluştuğu tespit edilmiştir. Bu durum, söz konusu kiriş elemanlarının yüksek kesme kuvveti ve moment etkileri altında kapasitesini aştığını ve dolayısıyla taşıyıcı elemanların dayanım açısından yetersiz olduğunu ortaya koymaktadır. Donatısı akan elemanlar Şekil 7.94’de gösterilmiştir.



Şekil 7.94: M2 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) donatısı akan elemanlar.

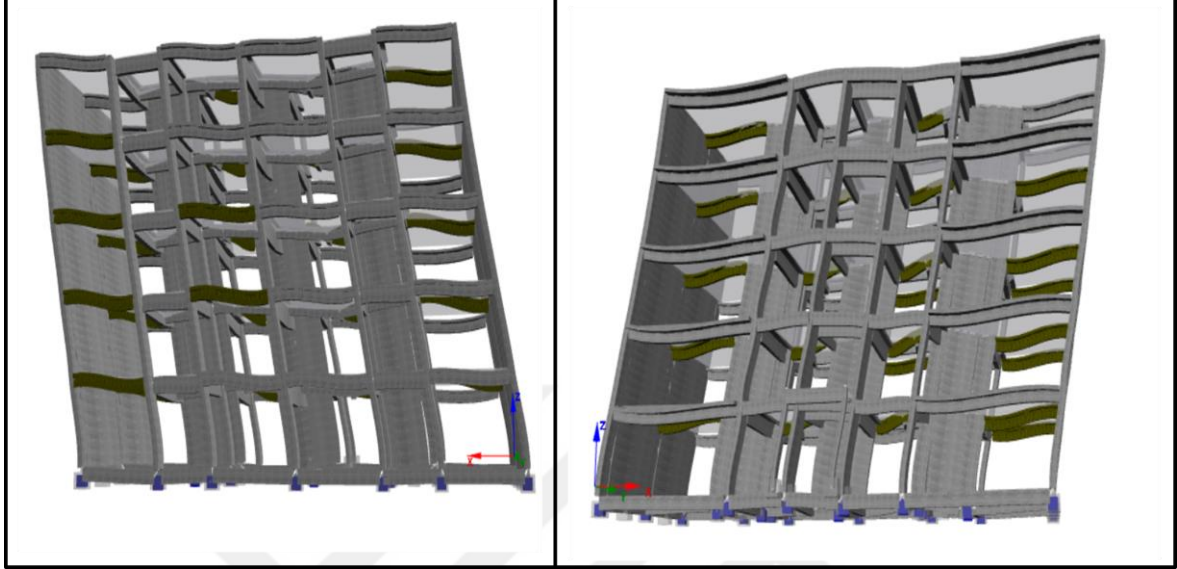
Şekil 7.94’de, M2 yapısal modelinin D3 deprem kaydı altında gerçekleştirilen zaman tanım aralığı analizinde, maksimum deplasman anında gözlenen plastikleşme durumu, sistemin zemin kattaki tüm perde duvarlarında ve 3. kattaki yalnızca güçlendirme uygulanmamış perde duvarı ile tüm katlardaki belirli kiriş elemanlarında oluşmuştur. Bu analiz, hasarın ağırlıklı olarak taşıyıcı sistemin tabanı olan zemin katta ve özellikle güçlendirilmemiş elemanlarda yoğunlaştığını göstermektedir. Paspayı dökülen elemanlar Şekil 7.95’te gösterilmiştir.



Şekil 7.95: M2 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) paspayı dökülen elemanlar.

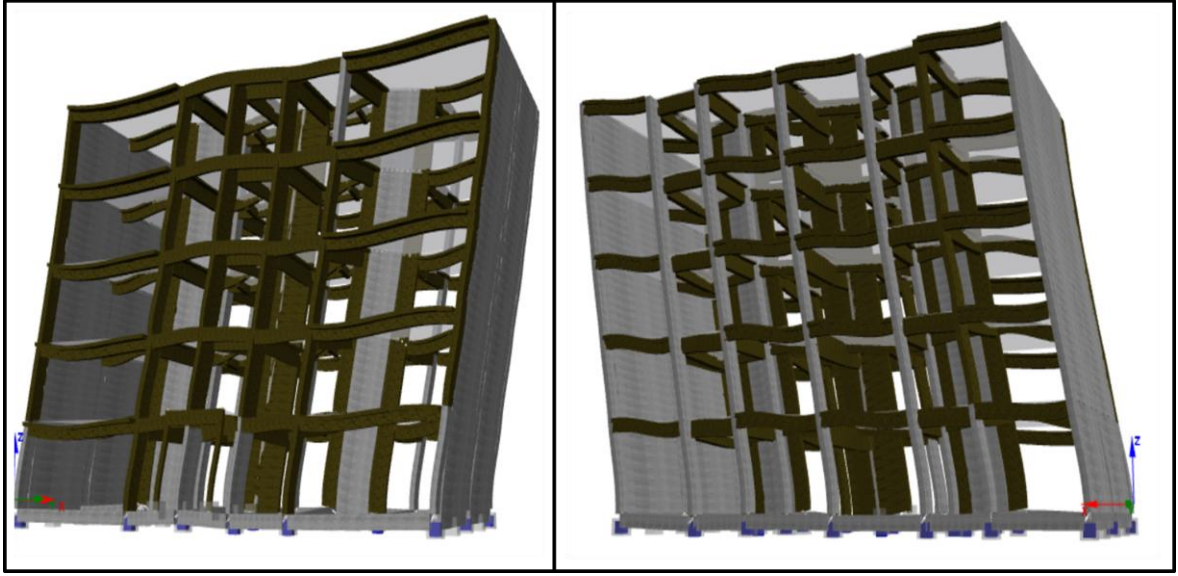
Şekil 7.95’te, M2 yapısal modelinin D3 deprem kaydı altında gerçekleştirilen zaman tanım aralığı analizinde, uzun doğrultuda (X) maksimum deplasman anında paspayı dökülmesi gözlenen yapısal elemanlar, sistemin zemin kattaki güçlendirme uygulanmamış perde duvarı ile perde duvarın her iki tarafındaki kiriş elemanlarında ve zemin kattaki bir kolon ile üst katlardaki güçlendirme yapılmamış perde duvar ve kiriş birleşim noktalarındaki her iki taraftaki kiriş elemanlarında oluşmuştur. Analiz sonuçları, özellikle zemin kattaki kolon, kiriş ve güçlendirilmemiş perde duvarlarda gözlenen bu yaygın hasarın, yapının bu katta yüksek enerji yutumu gerçekleştirdiğini ve yapısal hasar mekanizmasının ağırlıklı olarak bu seviyede yoğunlaştığını göstermektedir.

M2 modelinin D4 deprem kaydı ile yapılan analizinde ise, uzun doğrultuda 2,45'inci saniyede yapısal sistemde son kattaki maksimum deplasman değeri 3,7 cm olarak elde edilmiştir. Koda dayalı kontroller sonucunda dönme kapasitesi yetersizliği tespit edilen elemanlar Şekil 7.96'da gösterilmiştir.



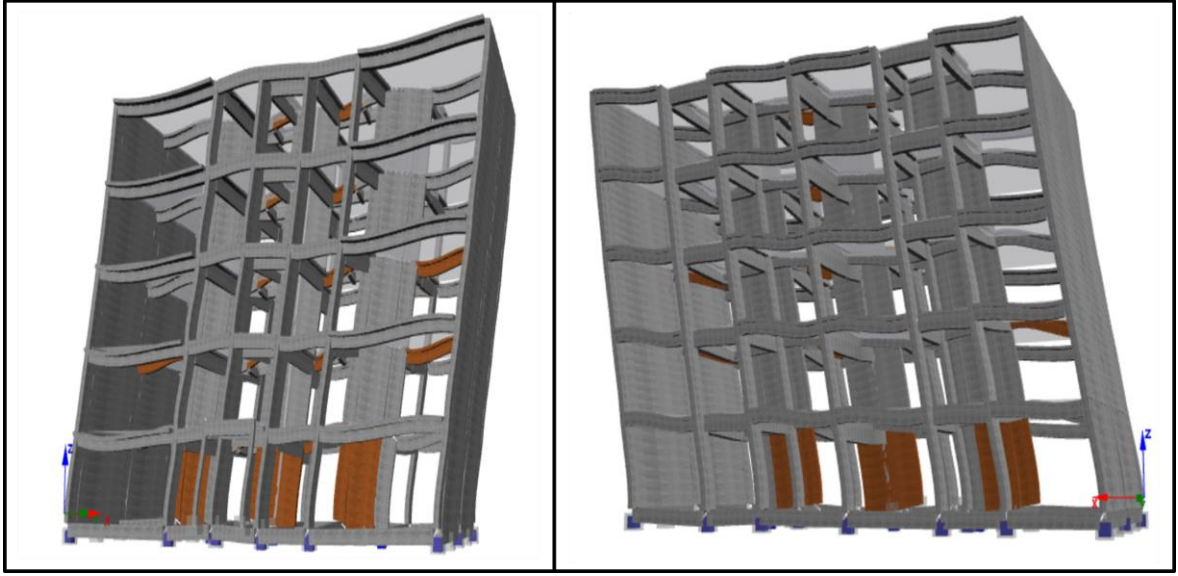
Şekil 7.96: M2 modelinin D4 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) dönme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.

Şekil 7.96'da, M2 yapısal modelinin D4 deprem kaydı altında gerçekleştirilen zaman tanım aralığı analizinde, uzun doğrultuda (X) maksimum deplasman anında dönme kapasitesi yetersizliği görülen elemanların, sistemin tüm katlarındaki belirli kiriş elemanlarında olduğu belirlenmiştir. D4 deprem kaydı altında M2 modelinin uzun doğrultudaki performansı, hasarın kontrol edilebilir bir şekilde yalnızca kiriş elemanlarında yoğunlaşması ile yapısal güvenliğin bu deprem seviyesinde sağlandığını göstermektedir. Kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar Şekil 7.97'de gösterilmiştir.



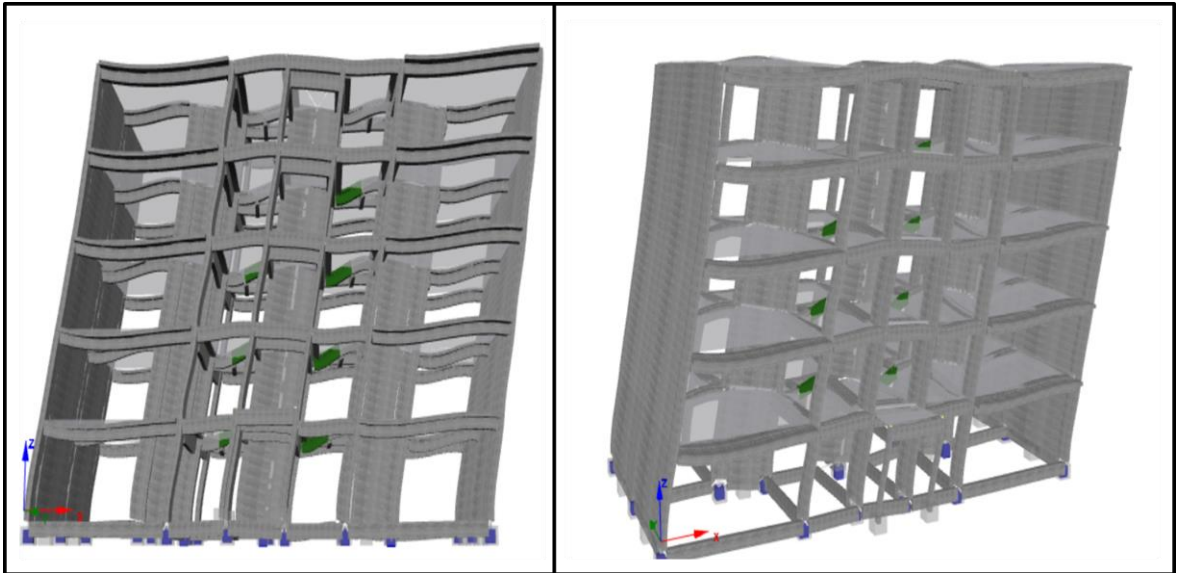
Şekil 7.97: M2 modelinin D4 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.

Şekil 7.97’de, M2 yapısal modelinin D4 deprem kaydı altında gerçekleştirilen zaman tanım aralığı analizinde, uzun doğrultuda (X) maksimum deplasman anında kesme kapasitesi yetersizliği görülen elemanların, sistemin tüm katlarındaki güçlendirme uygulanmamış perde duvarları ve yine tüm katlardaki belirli taşıyıcı elemanlarda olduğu tespit edilmiştir. Bu analiz, D4 deprem kaydının M2 modeli üzerinde önemli kesme kuvvetleri oluşturduğunu ve bu kuvvetlerin özellikle güçlendirilmemiş perde duvarlar ile bazı kritik taşıyıcı elemanlarda gevrek hasar mekanizmasını tetiklediğini göstermektedir. Ayrıca, M2 modelinin D4 deprem kaydı altında gerçekleştirilen analizinde, performans kriterlerine dayalı değerlendirmeler sonucunda donatısı akma seviyesine ulaşan elemanlar Şekil 7.98’de sunulmuştur.



Şekil 7.98: M2 modelinin D4 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) donatısı akan elemanlar.

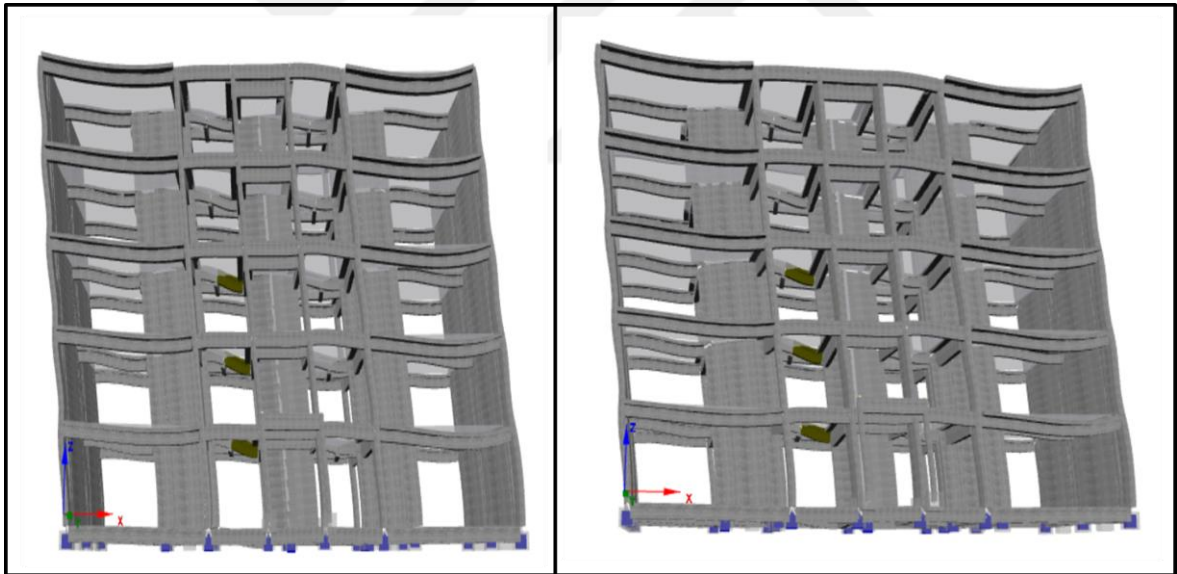
Şekil 7.98’de, M2 yapısal modelinin D4 deprem kaydı altında gerçekleştirilen zaman tanım aralığı analizinde, uzun doğrultuda (X) maksimum deplasman anında donatı akması gözlenen yapısal elemanların, sistemin zemin kattaki tüm perde duvarları ve tüm katlardaki belirli kiriş elemanlarında oluştuğu belirlenmiştir. Bu sonuç, zemin kattaki perde duvarları ve üst katlardaki belirli kiriş elemanlarının deprem kuvvetlerini karşılamada öncü bir rol üstlendiğini göstermektedir. Paspayı dökülen elemanlar Şekil 7.99’da gösterilmiştir.



Şekil 7.99: M2 modelinin D4 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) paspayı dökülen elemanlar.

Şekil 7.99’da, M2 yapısal modelinin D4 deprem kaydı altında gerçekleştirilen zaman tanım aralığı analizinde, uzun doğrultuda (X) maksimum deplasman anında paspayı dökülmesi gözlenen yapısal elemanların, sistemin zemin kat, 1., 2. ve 3. kattaki güçlendirme uygulanmamış perde duvarları ile kiriş birleşim noktalarındaki her iki taraftaki kiriş elemanlarında olduğu belirlenmiştir. Bu analiz, yapısal sistemin tasarım hedefine uygun olarak sünek bir davranış sergilediğini ve hasarın kritik kolonlar yerine kiriş elemanlarında yoğunlaştığını göstermektedir. Ayrıca, performans kriterlerine dayalı değerlendirme sonucunda, D4 deprem kaydı altında sistemde çekirdeği ezilen herhangi bir eleman tespit edilmemiştir.

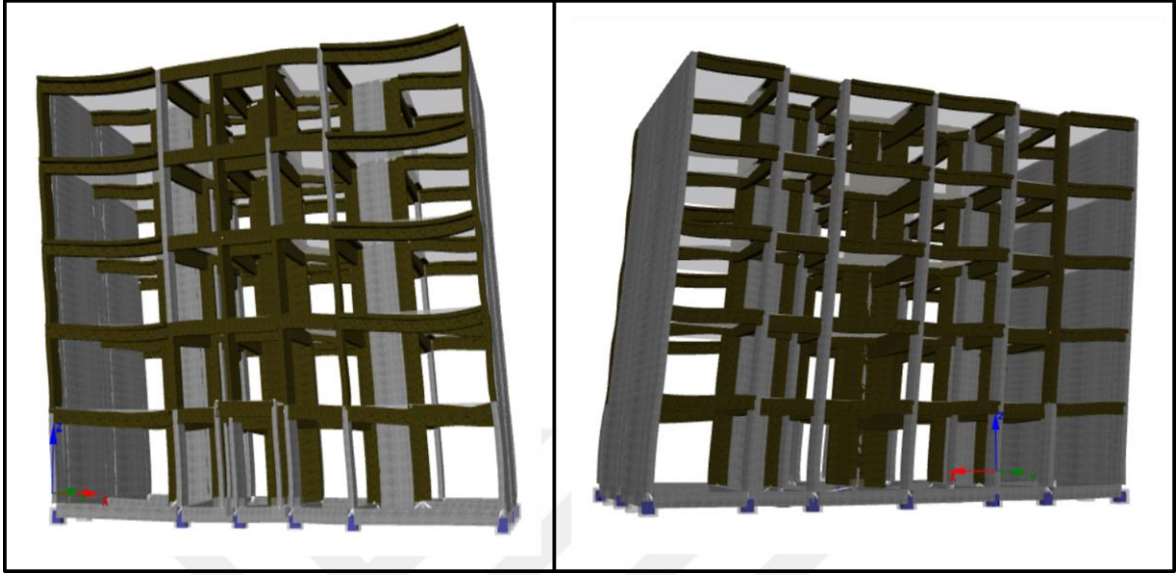
M3 modelinin D1 deprem kaydı altında uzun doğrultuda gerçekleştirilen analizinde ise, 21. saniyede yapısal sistemin son katındaki maksimum deplasman değeri 1,8 cm olarak elde edilmiştir. Koda dayalı performans kontrolleri sonucunda dönme kapasitesi yetersizliği bulunan elemanlar Şekil 7.100’de gösterilmiştir.



Şekil 7.100: M3 modelinin D1 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) dönme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.

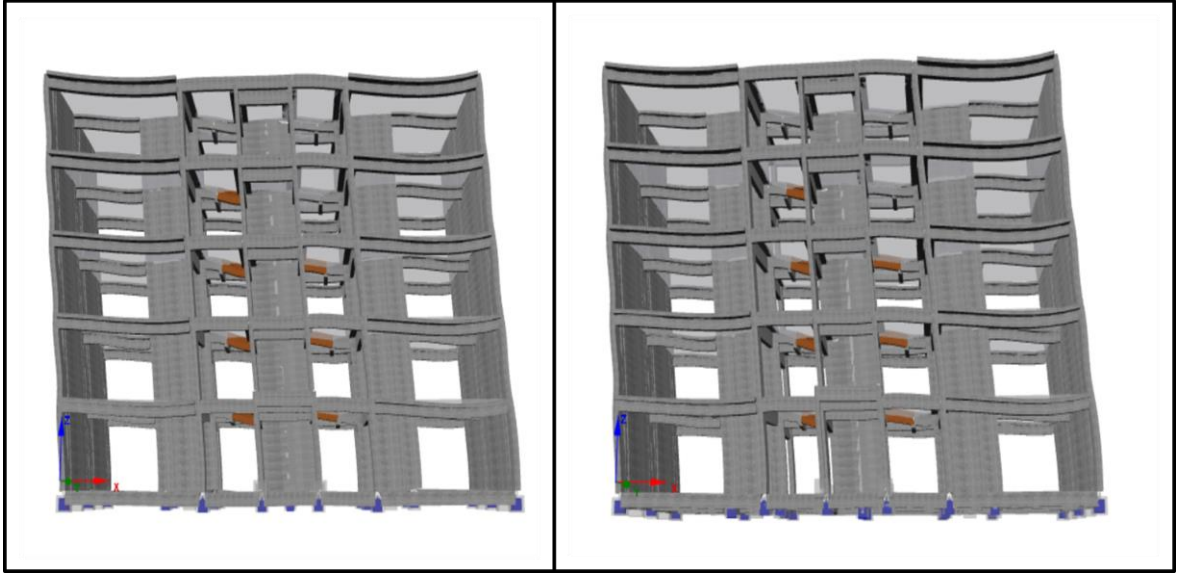
Şekil 7.100’de, M3 yapısal modelinin D1 deprem kaydı altında gerçekleştirilen zaman tanım aralığı analizinde, uzun doğrultuda (X) maksimum deplasman anında dönme kapasitesi yetersizliği görülen elemanların, sistemin zemin kat, 1. kat ve 2. kattaki güçlendirme uygulanmamış perde duvarın bir tarafında yer alan kiriş-perde birleşim noktalarındaki kiriş elemanlarında olduğu belirlenmiştir. Bu sonuç, D1 deprem kaydının

neden olduğu düşük zorlanma seviyelerinde, yapısal sistemdeki moment taleplerinin öncelikle perde duvar birleşim bölgelerine yakın kiriş elemanlarında yoğunlaştığını göstermektedir. Kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar Şekil 7.101’de gösterilmiştir.



Şekil 7.101: M3 modelinin D1 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.

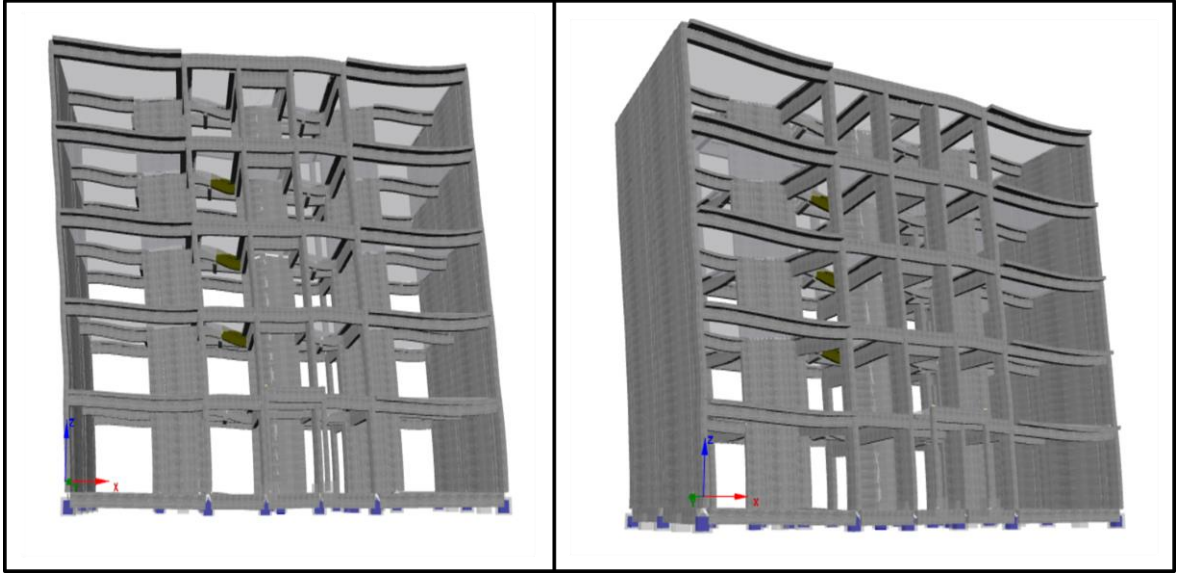
Şekil 7.101’de, M3 yapısal modelinin D1 deprem kaydı altında gerçekleştirilen zaman tanım aralığı analizinde, uzun doğrultuda (X) maksimum deplasman anında kesme kapasitesi yetersizliği görülen elemanların, sistemin tüm katlarındaki güçlendirme uygulanmamış perde duvarları ile tüm katlardaki belirli kolon ve kiriş benzeri taşıyıcı elemanlarda olduğu belirlenmiştir. Analiz sonuçları, kesme yetersizliğinin yalnızca perde duvarlarda değil, aynı zamanda kolon ve kirişlerde de görüldüğünü ve tüm katlara yayıldığını göstermektedir. Bu durum, D1 deprem kaydının M3 modeli üzerinde yüksek düzeyde kesme gerilmeleri oluşturduğunu ve yapısal sistemin genelinde süneklik kapasitesinin bir kısmının tüketildiğini ortaya koymaktadır. Ayrıca, M3 modelinin D1 deprem kaydı altında gerçekleştirilen analizinde, performans kriterlerine dayalı değerlendirmeler sonucunda donatısı akma seviyesine ulaşan elemanlar Şekil 7.102’de gösterilmiştir.



Şekil 7.102: M3 modelinin D1 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) donatısı akan elemanlar.

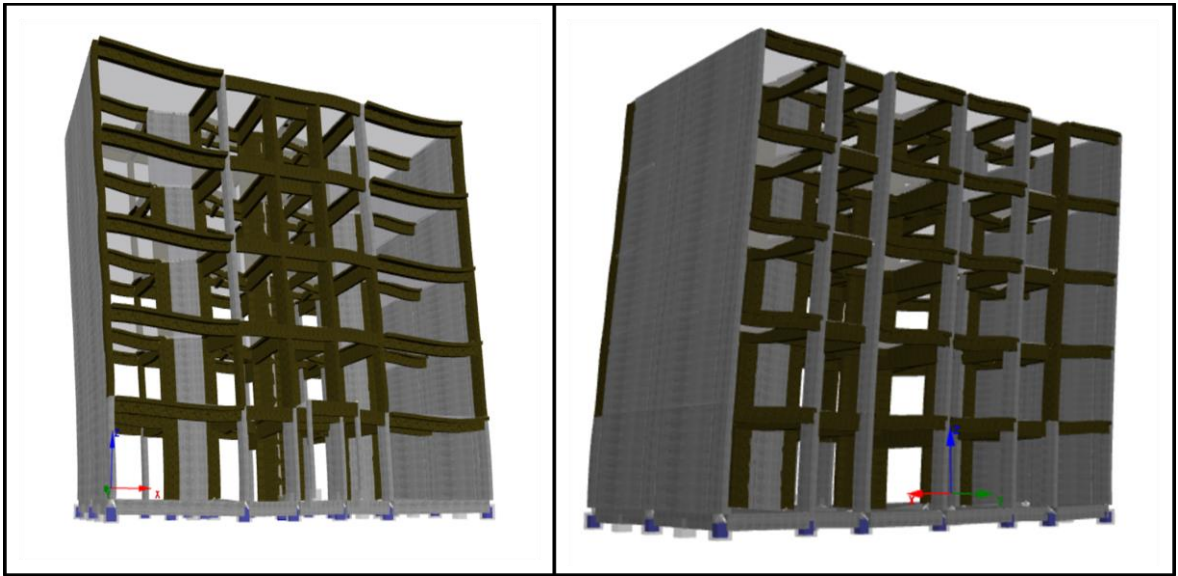
Şekil 7.102’de, M3 yapısal modelinin D1 deprem kaydı altında gerçekleştirilen zaman tanım aralığı analizinde, uzun doğrultuda (X) maksimum deplasman anında donatı akması gözlenen yapısal elemanlar, sistemin zemin kat, 1.kat ve 2. kattaki güçlendirme uygulanmamış perde duvarları ile kiriş birleşim noktalarının her iki tarafındaki kiriş elemanlarında; ayrıca 3. kattaki güçlendirme uygulanmamış perde duvar ile kiriş birleşim noktasının yalnızca bir tarafındaki kiriş elemanında oluşmuştur. Bu durum, D1 deprem kaydı altında M3 modelinin güçlü kolon/zayıf kiriş mekanizmasına uygun bir performans sergilediğini ve deprem enerjisinin düşey taşıyıcı elemanlar olan perde duvarlar ve kolonları koruyarak ağırlıklı olarak kiriş elemanlarında donatı akması yoluyla sönmüldüğünü göstermektedir. Ayrıca, performans kriterlerine dayalı değerlendirmelerde, D1 deprem kaydı altında çekirdeği ezilen veya kabuğu atan herhangi bir eleman tespit edilmemiştir.

M3 modelinin D2 deprem kaydı altında uzun doğrultuda gerçekleştirilen analizde, 7,01. saniyede yapısal sistemin son katında maksimum deplasman değeri 2 cm olarak elde edilmiştir. Koda dayalı performans kontrolleri sonucunda dönme kapasitesi yetersizliği bulunan elemanlar Şekil 7.103’de gösterilmiştir.



Şekil 7.103: M3 modelinin D2 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) dönme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.

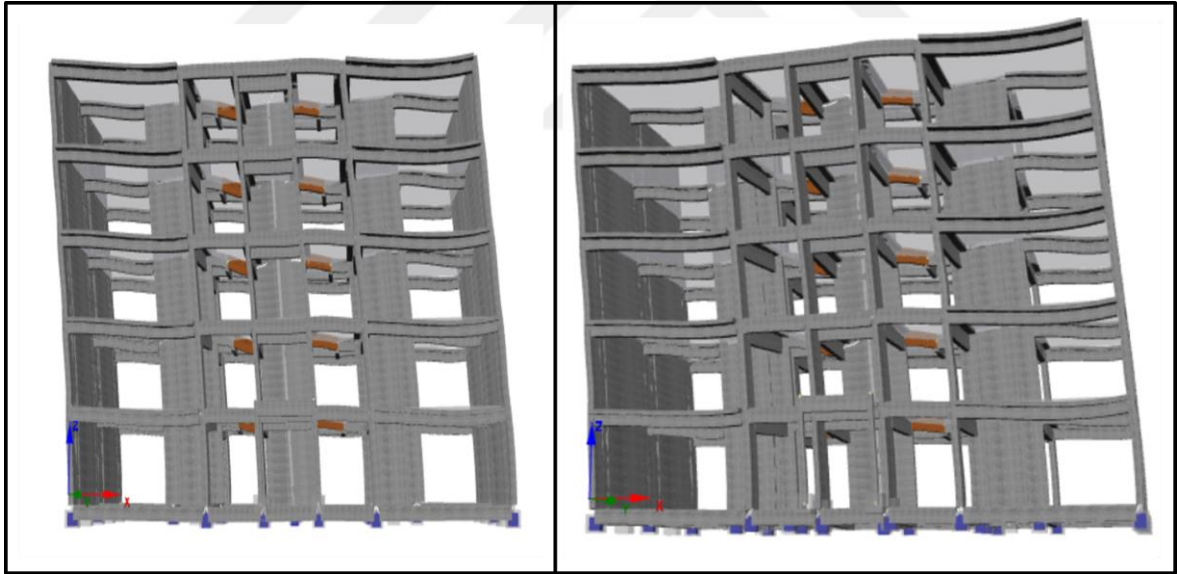
Şekil 7.103’de, M3 yapısal modelinin D2 deprem kaydı altında gerçekleştirilen zaman tanım aralığı analizinde, uzun doğrultuda (X) maksimum deplasman anında dönme kapasitesi yetersizliği tespit edilen elemanlar, sistemin 1., 2. ve 3. kattaki güçlendirme uygulanmamış perde duvarın bir tarafında yer alan kiriş–perde birleşim noktalarındaki kiriş elemanlarında oluşmuştur. Hasarın üst katlara yayılması ve zemin katta gözlenmemesi, sistemin güçlü kolon/zayıf kiriş mekanizmasına uygun olarak istenen sünek davranışı sergilediğini göstermektedir. Kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar Şekil 7.104’de gösterilmiştir.



Şekil 7.104: M3 modelinin D2 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.

Şekil 7.104’de, M3 yapısal modelinin D2 deprem kaydı altında gerçekleştirilen zaman tanım aralığı analizinde, uzun doğrultuda (X) maksimum deplasman anında kesme kapasitesi yetersizliği görülen elemanların, sistemin tüm katlarındaki güçlendirme uygulanmamış perde duvarları ile tüm katlardaki belirli güçlendirme uygulanmamış kolon ve kiriş elemanlarında olduğu belirlenmiştir. Kesme yetersizliğinin tüm katlara ve temel düşey ile yatay taşıyıcı elemanlara yayılmış olması, D2 deprem kaydının M3 modeli üzerinde yüksek şiddette kesme gerilmeleri oluşturduğunu ve bunun yapısal sistemin deprem güvenliği açısından tehlike oluşturduğunu göstermektedir.

Ayrıca, M3 modelinin D2 deprem kaydı altında gerçekleştirilen kuvvet tabanlı doğrusal olmayan dinamik itme analizi sonucunda, performans kriterlerine dayalı kontrollerde donatısı akma seviyesine ulaşan elemanlar Şekil 7.105’de sunulmuştur.

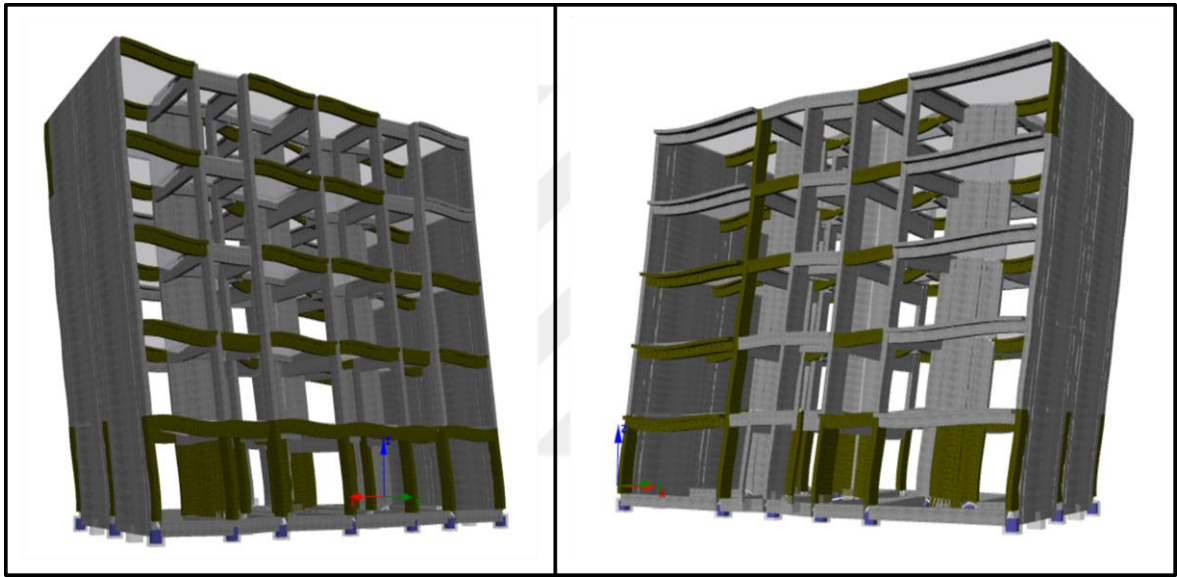


Şekil 7.105: M3 modelinin D2 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) donatısı akan elemanlar.

Şekil 7.105’de, M3 yapısal modelinin D2 deprem kaydı altında gerçekleştirilen zaman tanım aralığı analizinde, uzun doğrultuda (X) maksimum deplasman anında donatı akması gözlenen yapısal elemanlar, sistemin tüm katlarındaki güçlendirme uygulanmamış perde duvarlar ile kiriş birleşim noktalarının her iki tarafındaki kiriş elemanlarında oluşmuştur. Hasarın büyük ölçüde kiriş elemanlarında ve birleşim yerlerinin çevresindeki

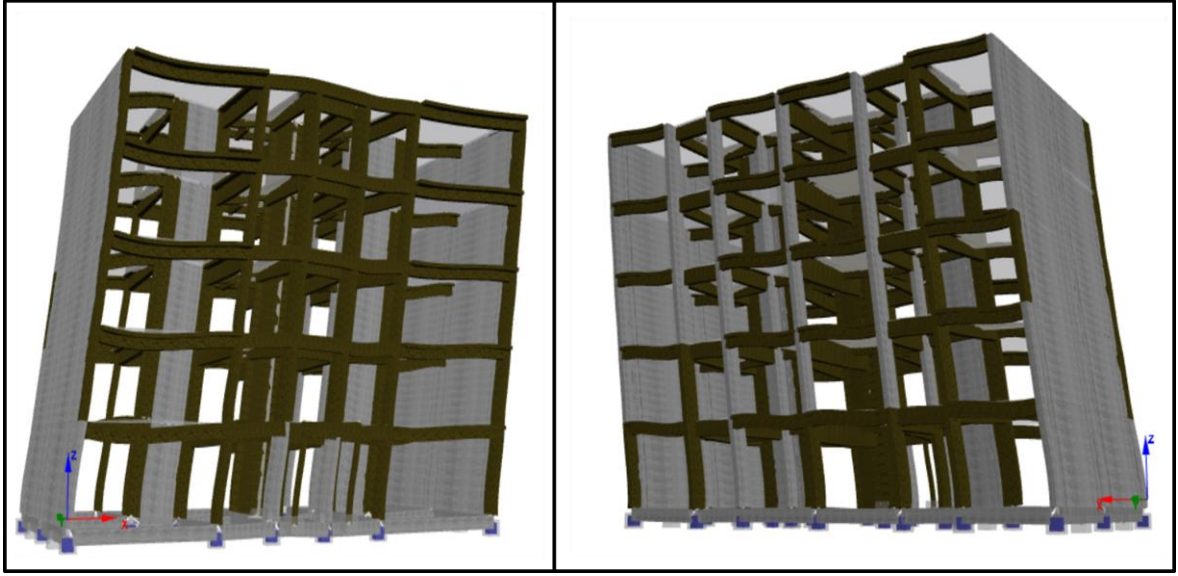
kiriş uçlarında yoğunlaşması, yapısal sistemin deprem enerjisini düsey taşıyıcı elemanlar olan kolon ve perde duvarları koruyarak ve kirişlerde plastik mafsallar oluşturarak sönümlediğini göstermektedir. Ayrıca, performans kriterlerine dayalı değerlendirmeler sonucunda, D2 deprem kaydı altında çekirdeği ezilen veya kabuğu atan herhangi bir eleman tespit edilmemiştir.

M3 modelinin D3 deprem kaydı altında uzun doğrultuda gerçekleştirilen analizinde ise, 28,27'nci saniyede yapısal sistemin son katındaki maksimum deplasman değeri 6,8 cm olarak elde edilmiştir. Koda dayalı kontroller sonucunda dönme kapasitesi yetersizliği bulunan elemanlar şekil 7.106'da gösterilmiştir.



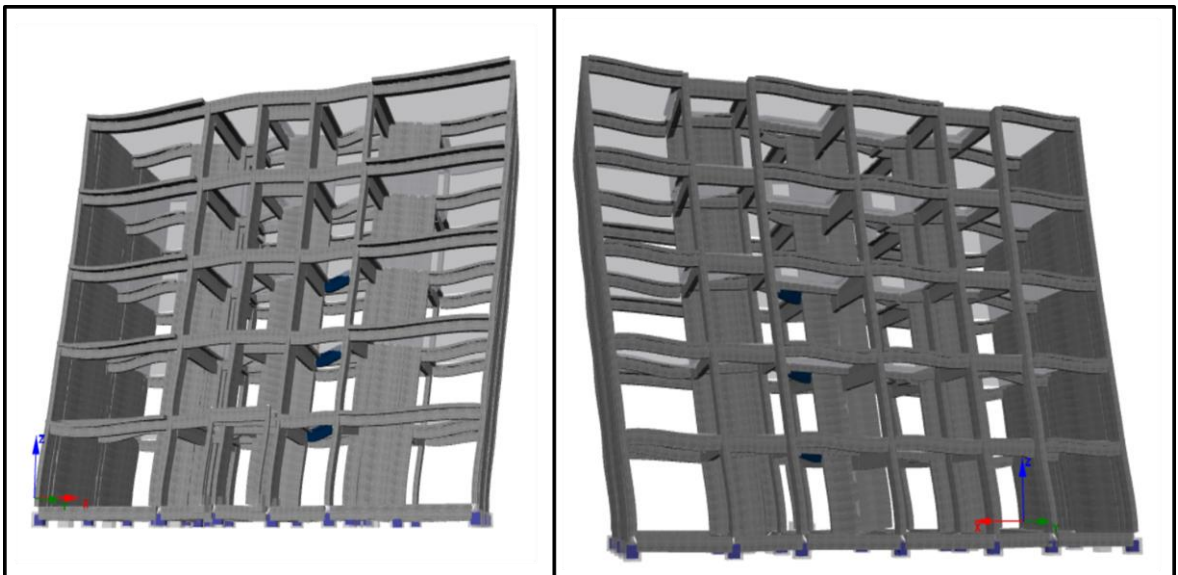
şekil 7.106: M3 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) dönme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.

şekil 7.106'da, M3 yapısal modelinin D3 deprem kaydı altında gerçekleştirilen zaman tanım aralığı analizinde, uzun doğrultuda (X) maksimum deplasman anında dönme kapasitesi yetersizliği tespit edilen elemanlar, sistemin zemin kattaki güçlendirme uygulanmamış ve güçlendirme yapılmış bir perde duvar ile kolon ve kiriş elemanlarında; ayrıca st katlardaki belirli kolon ve kiriş benzeri taşıyıcı elemanlarda oluşmuştur. Zemin katta gözlenen yaygın ve kritik hasar birikimi ile st katlardaki kolonlarda dahi tespit edilen dönme kapasitesi yetersizlikleri, yapısal sistemin bu şiddetteki deprem kaydı altında can güvenliği performans hedefini sağlamakta zorlandığını göstermektedir. Kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar şekil 7.107'de gösterilmiştir.



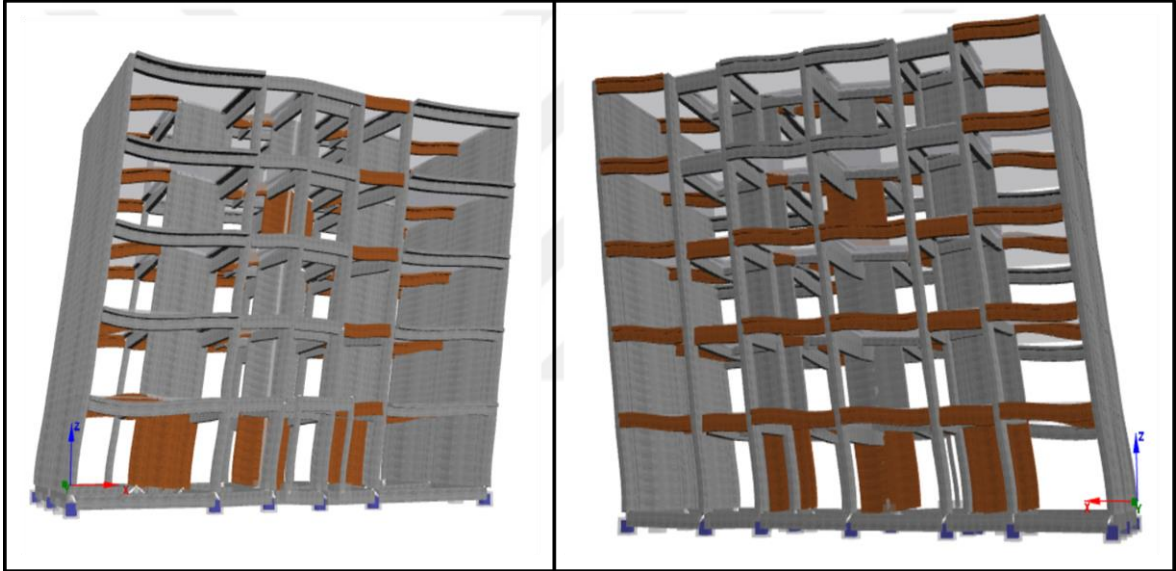
Şekil 7.107: M3 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.

Şekil 7.107’de, M3 modelinin D3 deprem kaydı altında gerçekleştirilen analizinde, maksimum deplasmanın meydana geldiği anda kesme kapasitesi yetersizliği görülen elemanların incelenmesi sonucunda, sistemin tüm katlarındaki güçlendirme uygulanmamış perde duvarlarında ve belirli katlardaki güçlendirme yapılmamış kolon ile kiriş taşıyıcı elemanlarında hasar tespit edilmiştir. Bu durum, mevcut taşıyıcı sistemin kesme dayanımı açısından yetersiz kaldığını ve güçlendirme çalışmalarının bu bölgelerde kritik önem taşıdığını göstermektedir. Ayrıca, M3 modelinin D3 deprem kaydı altında gerçekleştirilen analizinde, performans kriterlerine dayalı kontroller sonucunda çekirdeği ezilen elemanlar Şekil 7.108’de gösterilmiştir.



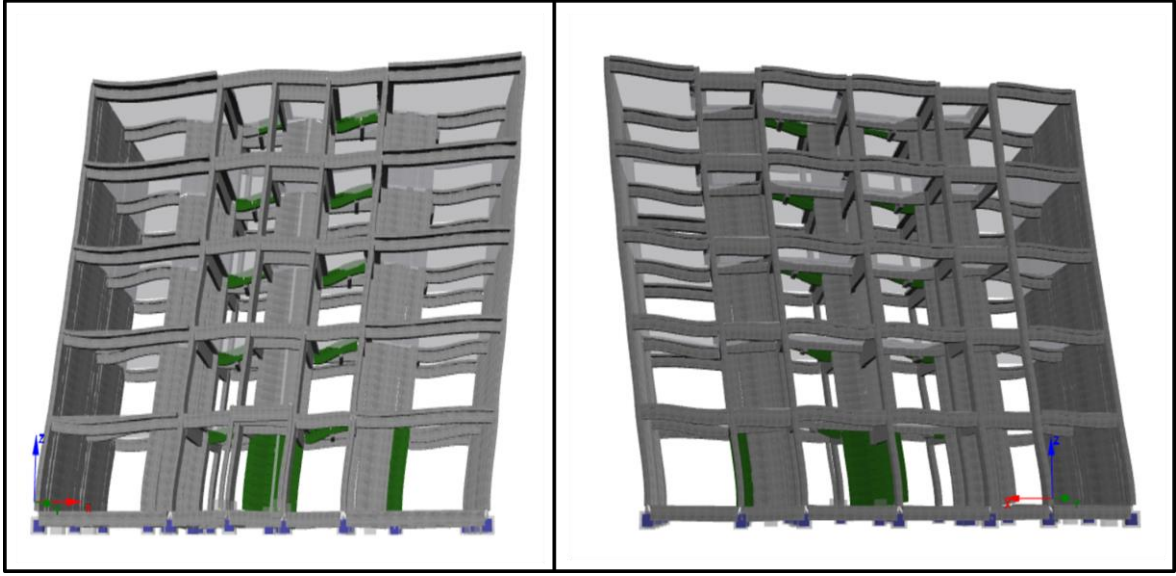
Şekil 7.108: M3 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) çekirdeği ezilen olan elemanlar.

Şekil 7.108’de gösterildiği gibi, M3 modelinin D3 deprem kaydı altında gerçekleştirilen analizinde, maksimum deplasmanın meydana geldiği anda çekirdeği ezilen elemanların incelenmesi sonucunda, sistemin zemin kat, 1. kat ve 2. katlarındaki güçlendirme yapılmamış perde duvarlar ile kiriş ve kolon birleşim bölgelerinde yer alan kiriş taşıyıcı elemanlarında hasar oluştuğu tespit edilmiştir. Bu sonuç, özellikle alt katlarda oluşan yüksek kesme kuvvetleri ve moment etkilerinin betonarme elemanlarda çekirdek ezilmesine yol açtığını göstermektedir. Donatısı akan elemanlar Şekil 7.109’da gösterilmiştir.



Şekil 7.109: M3 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) donatısı akan elemanlar.

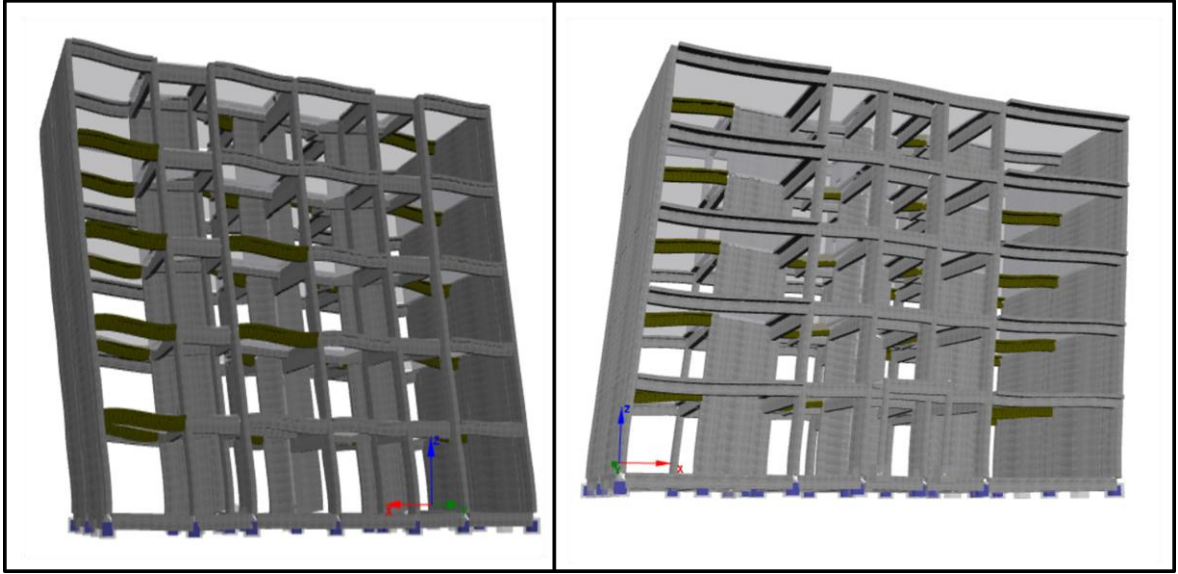
Şekil 7.109’da, M3 modelinin D3 deprem kaydı altında gerçekleştirilen analizinde, maksimum deplasmanın meydana geldiği anda donatısı akma durumuna ulaşan elemanların incelenmesi sonucunda, sistemin zemin katındaki tüm perde duvarlar, 3. kattaki güçlendirme yapılmamış perde duvar ve ayrıca tüm katlardaki belirli kiriş elemanlarında hasar oluştuğu belirlenmiştir. Bu sonuç, özellikle zemin kat ve üst katlardaki perde duvarların deprem etkisi altında plastik şekil değiştirme kapasitesine ulaştığını ve dolayısıyla bu bölgelerde donatı akmasının meydana geldiğini göstermektedir. Paspayı dökülen elemanlar Şekil 7.110’da gösterilmiştir.



Şekil 7.110: M3 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) paspayı dökülen elemanlar.

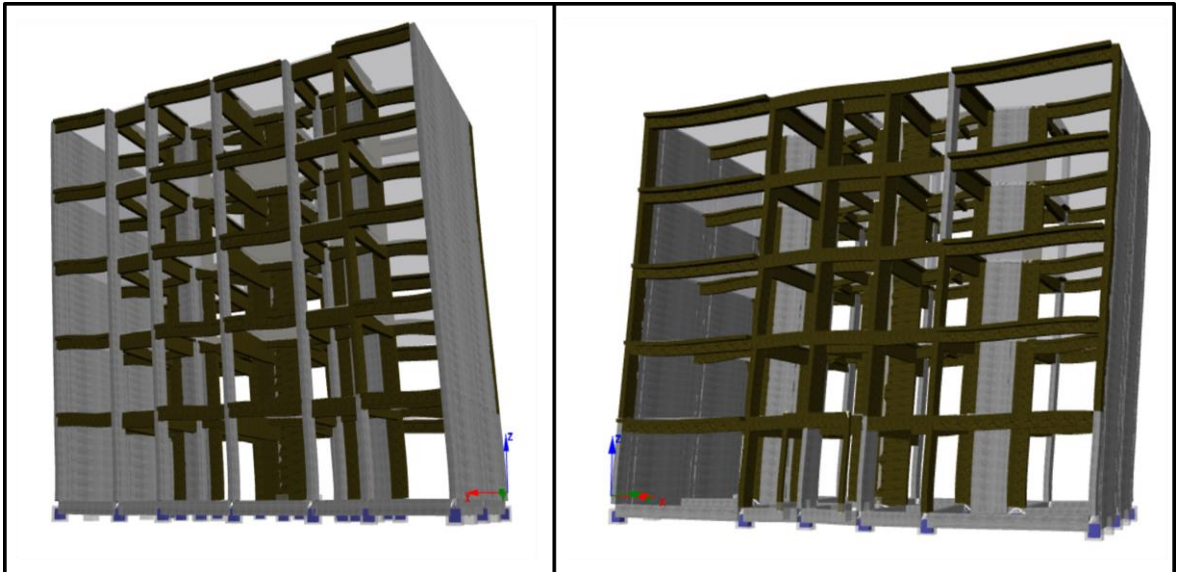
Şekil 7.110’da, M3 yapısal modelinin D3 deprem kaydı altında gerçekleştirilen doğrusal olmayan zaman tanımı analizi sonucunda, uzun doğrultuda (X) maksimum deplasman anında paspayı dökülen elemanların, sistemin zemin kattaki güçlendirme yapılmamış perde duvar ve bir kolon ile tüm katlardaki güçlendirme yapılmamış perde duvar ve kiriş birleşim noktalarının her iki tarafındaki kiriş elemanlarında olduğu belirlenmiştir. Bu sonuç, M3 modelinin D3 depremi altında beklenen performans hedefini sağlamakta zorlandığını ve özellikle güçlendirilmemiş bölgelerde hasarın geliştiğini göstermektedir.

M3 modelinin D4 deprem kaydı ile yapılan analizinde ise, uzun doğrultuda 2,45’inci saniyede yapısal sistemin son katındaki maksimum deplasman değeri 3,7 cm olarak elde edilmiştir. Analiz sonucunda, performans kriterlerine dayalı kontrollerde dönme kapasitesi yetersizliği bulunan elemanlar Şekil 7.111’de gösterilmiştir.



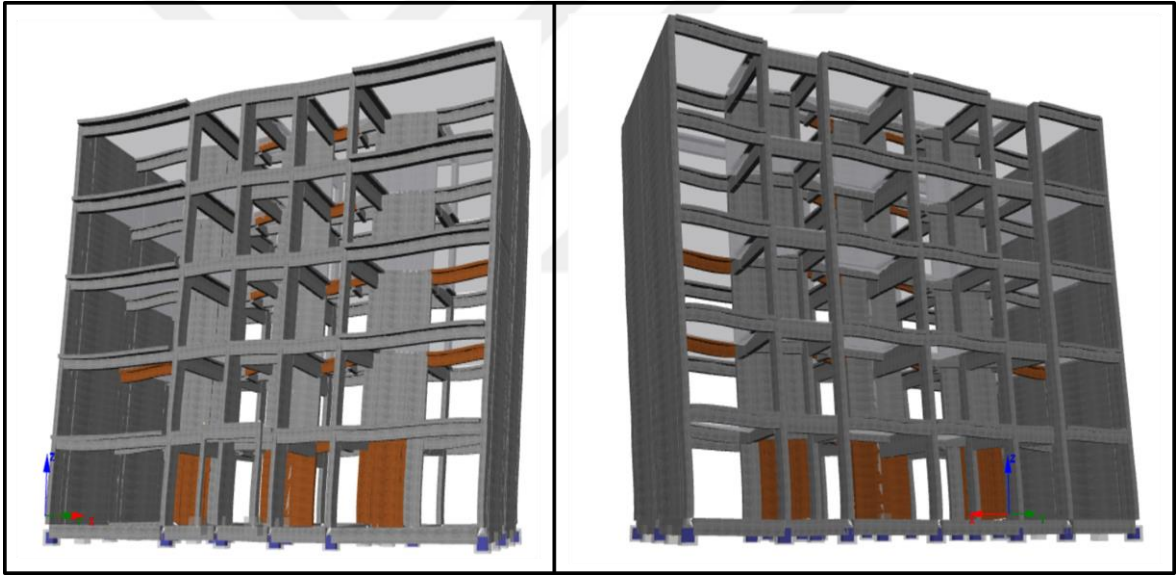
Şekil 7.111: M3 modelinin D4 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) dönme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.

Şekil 7.111’de, M3 yapısal modelinin D4 deprem kaydı kullanılarak gerçekleştirilen doğrusal olmayan zaman tanımı analizinde, uzun doğrultuda (X) maksimum deplasman anında dönme kapasitesi yetersizliği gösteren elemanların, sistemin tüm katlarında yalnızca belirli kiriş benzeri taşıyıcı elemanlarda olduğu belirlenmiştir. Hasarın tüm katlara yayılmış olması, deprem enerjisinin sistem genelinde dağıldığını ve tek bir katta yoğunlaşan göçme durumunun oluşmadığını göstermesi açısından olumlu bir sonuçtur. Ancak hasarlı eleman sayısı, onarım gerektirecek düzeyde hasar yayılımının ciddi boyutlarda olduğunu ortaya koymaktadır. Kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar Şekil 7.112’de gösterilmiştir.



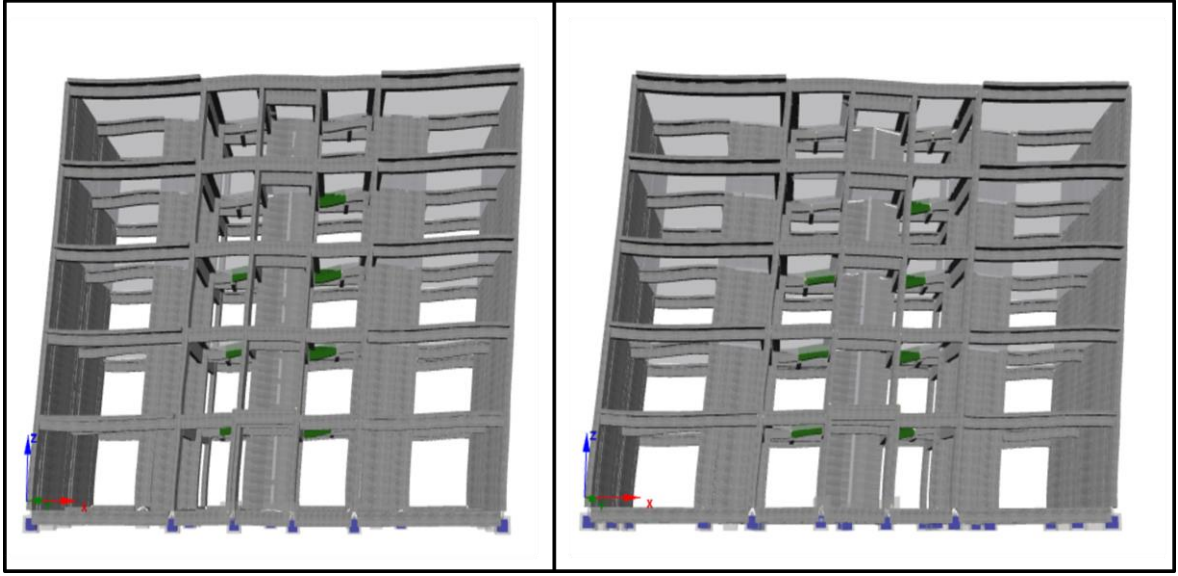
Şekil 7.112: M3 modelinin D4 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.

Şekil 7.112’de, M3 modelinin D4 deprem kaydı altında, maksimum deplasman anında kesme kapasitesi yetersizliği gösteren elemanlar, sistemin tüm katlarındaki güçlendirme uygulanmamış perde duvarları ile tüm katlardaki belirli güçlendirme uygulanmamış kolon ve kiriş taşıyıcı elemanlarında oluşmuştur. D4 deprem kaydı altında ortaya çıkan bu kesme kapasitesi yetersizliği, yapının sünek olmayan ve uyarı vermeden ani göçmeye yol açabilecek gevrek hasar türüne maruz kalabileceğine işaret etmektedir. Ayrıca, yapıya rijitlik sağlayan perde duvarlarda dahi kesme kapasitesi yetersizliğinin görülmesi, deprem kaydının şiddetinin yüksek olduğunu göstermektedir. M3 modelinin D4 deprem kaydı ile yapılan analizinde, performans kriterlerine dayalı kontroller sonucunda donatısı akma durumuna ulaşan elemanlar Şekil 7.113’de gösterilmiştir.



Şekil 7.113: M3 modelinin D4 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) donatısı akan elemanlar.

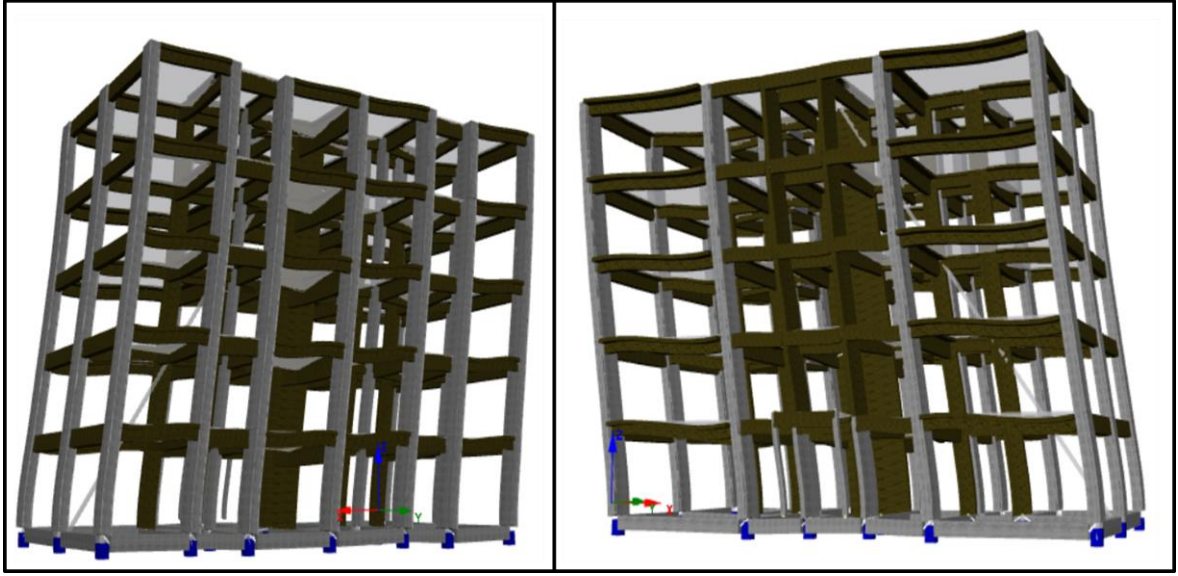
Şekil 7.113’de, M3 modelinin D4 deprem kaydı altında, maksimum deplasman anında donatı akması gösteren elemanların, sistemin zemin kattaki tüm perde duvarları ve tüm katlardaki belirli kiriş elemanlarında olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, özellikle güçlendirilmemiş elemanların rijitlik ve dayanım yetersizlikleri nedeniyle beklenen can güvenliği performans hedefine ulaşmada ciddi zorluklar yaşandığını göstermektedir. Paspayı dökülen elemanlar Şekil 7.114’de gösterilmiştir.



Şekil 7.114: M3 modelinin D4 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) paspayı dökülen elemanlar.

Şekil 7.114’de, M3 yapı modelinin D4 deprem kaydı altında gerçekleştirilen doğrusal olmayan zaman tanımı analizinde, uzun doğrultuda (X) maksimum deplasman anında paspayı dökülen elemanların, sistemin güçlendirme uygulanmamış perde duvarları ile kiriş bağlantı noktalarında, zemin kattan 2. kata kadar çift taraflı kiriş elemanlarında ve 3. katta ise tek taraflı kiriş elemanında hasar oluşturduğu belirlenmiştir. Bu durum, zemin kattan 2. kata kadar güçlendirilmemiş kiriş ve perde bağlantı yerlerinde çift taraflı paspayı dökülmesinin yoğunlaşmasının, yapısal sistemde plastik mafsall oluşumunun bu bölgelerde gerçekleştiğini göstermektedir. Ayrıca, performans kriterlerine dayalı D4 deprem kaydı analizi sonucunda çekirdeği ezilen herhangi bir eleman tespit edilmemiştir.

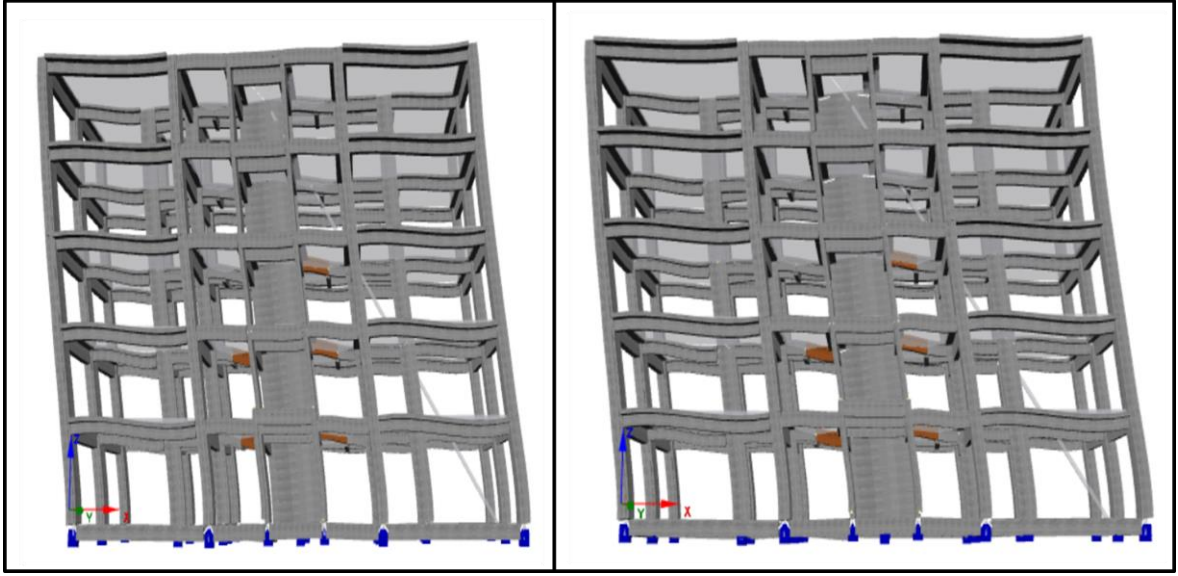
M4 modelinin D1 deprem kaydı altında uzun doğrultuda (X) gerçekleştirilen doğrusal olmayan zaman tanımı analizinde ise, yapısal sistemin en üst katında maksimum deplasman değeri 21,01’inci saniyede 1,9 cm olarak tespit edilmiştir. Bu analizden elde edilen kod dayalı kontrollerde, kesme kapasitesi yetersizliği gösteren elemanların dağılımı Şekil 7.115’te detaylıca sunulmuştur.



Şekil 7.115: M4 modelinin D1 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.

Şekil 7.115'te, M4 yapı modelinin D1 deprem kaydı altında gerçekleştirilen doğrusal olmayan zaman tanımı analizinde, uzun doğrultuda (X) maksimum deplasman anında kesme kapasitesi yetersizliği gösteren elemanlar, sistemin tüm katlarındaki güçlendirme yapılmamış perde duvarlar ile tüm katlardaki belirli güçlendirme uygulanmamış kolon ve kiriş benzeri taşıyıcı elemanlarda oluşmuştur. M4 modelinde, tüm katlarda güçlendirilmemiş perde duvar, kolon ve kirişleri kapsayacak şekilde yaygın olarak gözlemlenen kesme kapasitesi yetersizliği, yapısal sistemin gevrek hasar moduna eğilimli olduğunu ve can güvenliği performans hedefini sağlamakta ciddi risk oluşturduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca, M4 modelinin koda dayalı1. Analizde yapısal sistemde dönme kapasitesi yetersizliği olan herhangi bir eleman olmamıştır.

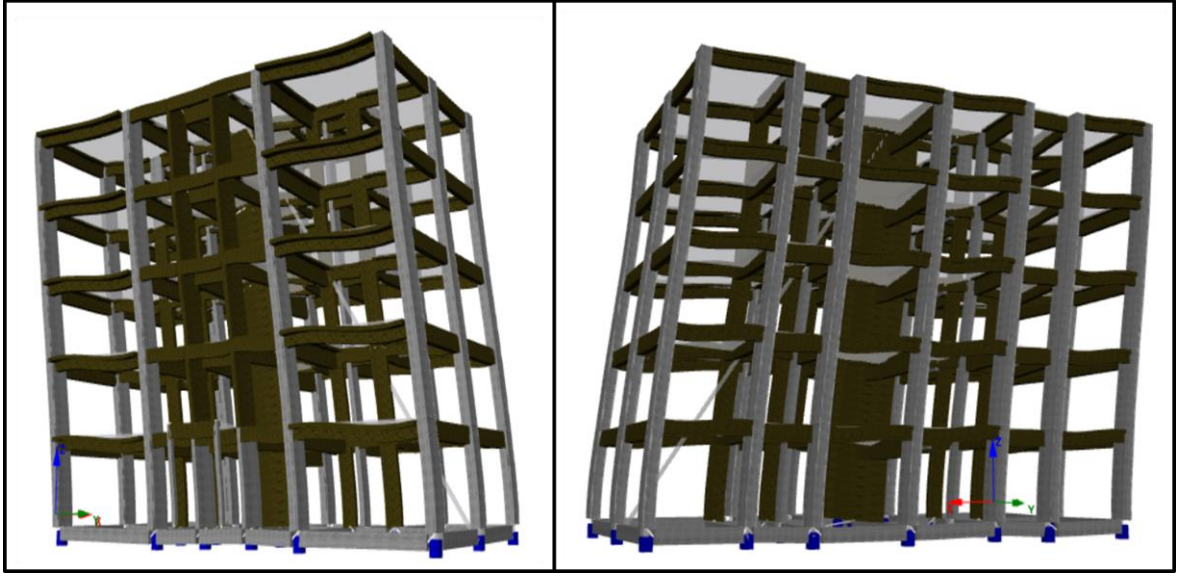
M4 modelinin D1 deprem kaydı ile yapılan analizde performans kriterlerine dayalı kontroller sonucunda donatısı akan elemanlar tespit edilmiş olup, bu elemanların yapıdaki konumu Şekil 7.116'da gösterilmiştir.



Şekil 7.116: M4 modelinin D1 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) donatısı akan elemanlar.

Şekil 7.116’da, M4 yapı modelinin D1 deprem kaydı altında gerçekleştirilen doğrusal olmayan zaman tanımı analizinde, uzun doğrultuda (X) maksimum deplasman anında donatısı akan elemanlar, sistemin zemin ve 1. kattaki perde duvarların her iki tarafında yer alan kiriş elemanları ile 2. kattaki perde duvarın yalnızca tek tarafındaki kiriş elemanında tespit edilmiştir. Hasarın zemin ve 1. katlarda perde duvarların her iki yanındaki kirişlerde, 2. katta ise tek taraflı kirişte donatı akması şeklinde bölgesel olarak ortaya çıkması, yapının kontrollü bir şekilde plastik mafsallı mekanizması geliştirdiğini göstermektedir. Ayrıca, performans kriterlerine dayalı analiz sonucunda çekirdeği ezilen veya kabuk atan herhangi bir eleman gözlemlenmemiştir.

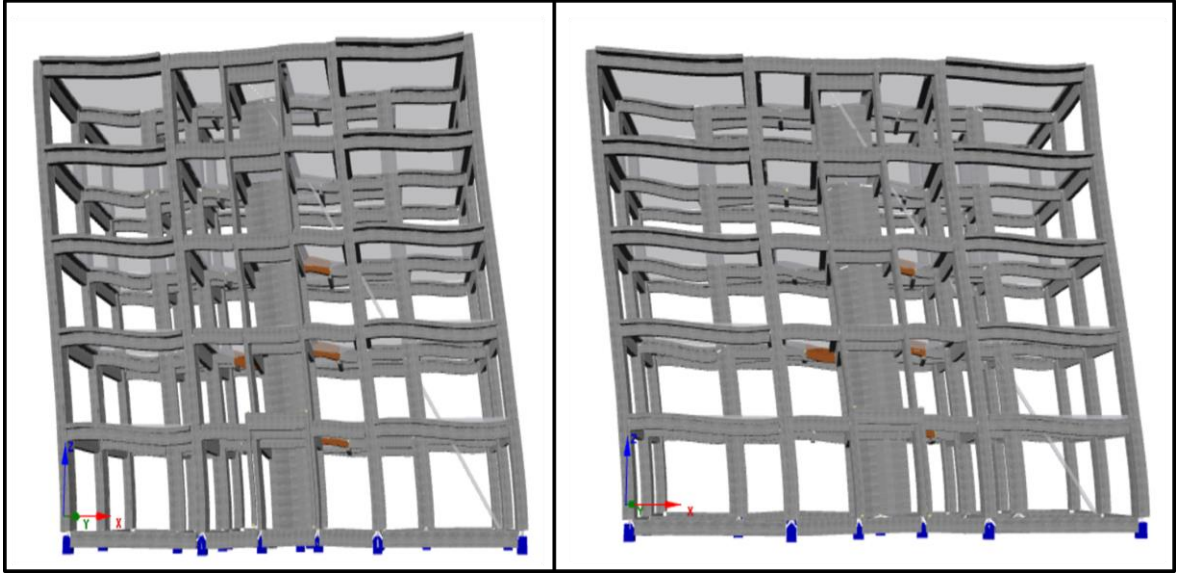
M4 modelinin D2 deprem kaydı altında uzun doğrultuda gerçekleştirilen analizinde, yapısal sistemin en üst katında 7,02’nci saniyede maksimum deplasman değeri 1,9 cm olarak tespit edilmiş ve kod dayalı kontrollerde kesme kapasitesi yetersizliği gösteren elemanların dağılımı Şekil 7.117’de görselleştirilmiştir.



Şekil 7.117: M4 modelinin D2 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.

Şekil 7.117’de, M4 yapı modelinin D2 deprem kaydı altında gerçekleştirilen doğrusal olmayan zaman tanımı analizinde, uzun doğrultuda (X) maksimum deplasman anında kesme kapasitesi yetersizliği gösteren elemanlar, sistemin tüm katlarındaki güçlendirme yapılmamış perde duvarları ile tüm katlardaki belirli güçlendirme uygulanmamış kolon ve kiriş gibi taşıyıcı elemanlarda gözlemlenmiştir. M4 modelinde, D2 deprem kaydı altında tüm katlarda ve ana taşıyıcı elemanlar olan perde, kolon ve kirişlerde yaygın olarak gözlenen kesme kapasitesi yetersizliği, sistemin sünek olmayan, gevrek hasar moduna eğilimli olduğunu ve can güvenliği performansı açısından ciddi bir risk oluşturduğunu göstermektedir.

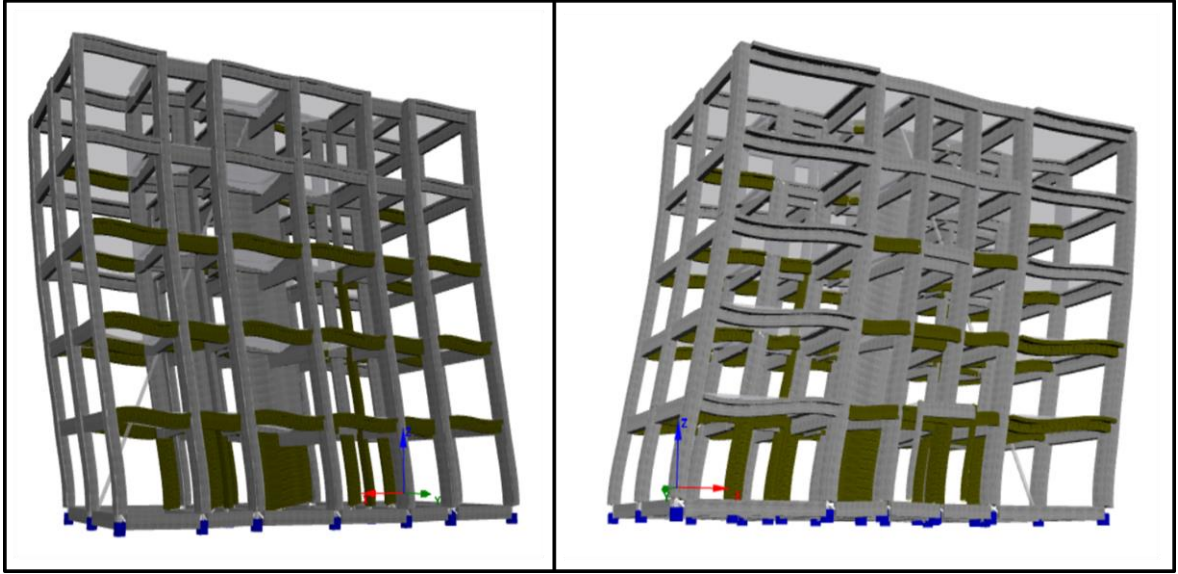
Ayrıca, M4 modelinin kod dayalı D2 deprem kaydı analizinde yapısal sistemde dönme kapasitesi yetersizliği gösteren herhangi bir eleman tespit edilmemiştir. Performans kriterlerine dayalı kontroller sonucunda donatısı akan elemanlar belirlenmiş olup, bu elemanların yapıdaki konumu Şekil 7.118’de gösterilmiştir.



Şekil 7.118: M4 modelinin D2 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) donatısı akan elemanlar.

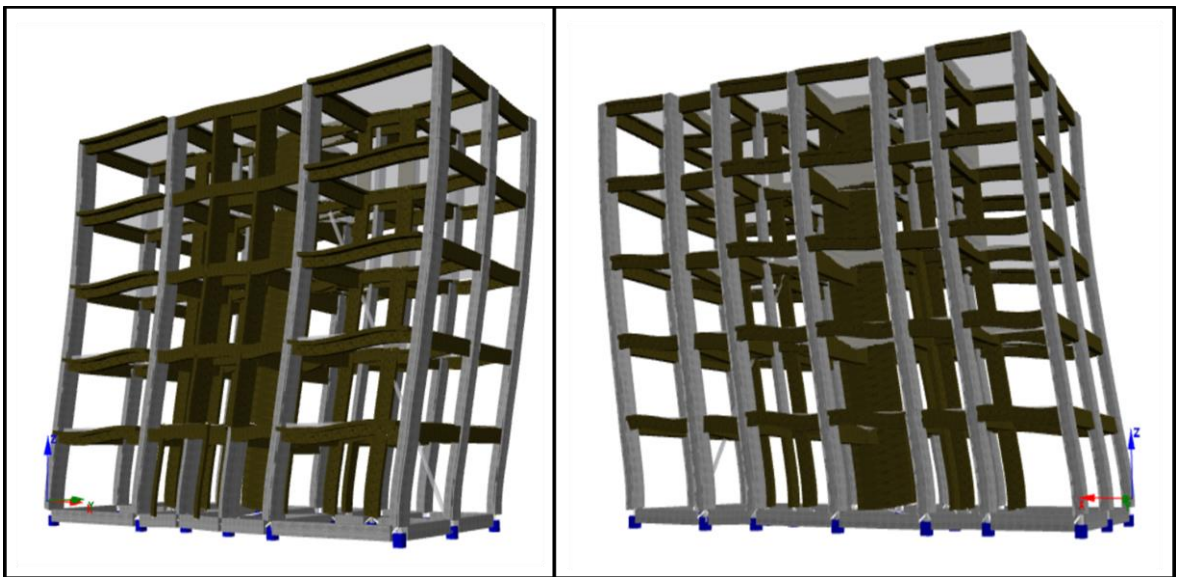
Şekil 7.118’de, M4 yapı modelinin D2 deprem kaydı altında gerçekleştirilen doğrusal olmayan zaman tanımı analizinde, uzun doğrultuda (X) maksimum deplasman anında donatısı akan elemanlar, sistemin zemin, 1. ve 2. katlarındaki perde duvarlara bağlı kiriş elemanlarında hem çift taraflı hem de tek taraflı olarak tespit edilmiştir. Alt katlarda kiriş elemanlarında yaygın donatı akmasının gözlemlenmesi, yapının kontrol edilen bölgelerde sünek plastik mafsal mekanizması geliştirdiğini göstermektedir. Ayrıca, performans kriterlerine dayalı D2 deprem kaydı analizinde çekirdeği ezilen veya kabuk atan herhangi bir eleman gözlemlenmemiştir.

M4 modelinin D3 deprem kaydı altında uzun doğrultuda gerçekleştirilen analizinde, yapısal sistemin en üst katında 28,27’nci saniyede maksimum deplasman değeri 6,9 cm olarak tespit edilmiş ve kod dayalı kontrollerde dönme kapasitesi yetersizliği gösteren elemanların dağılımı Şekil 7.119’da görselleştirilmiştir.



Şekil 7.119: M4 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) dönme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.

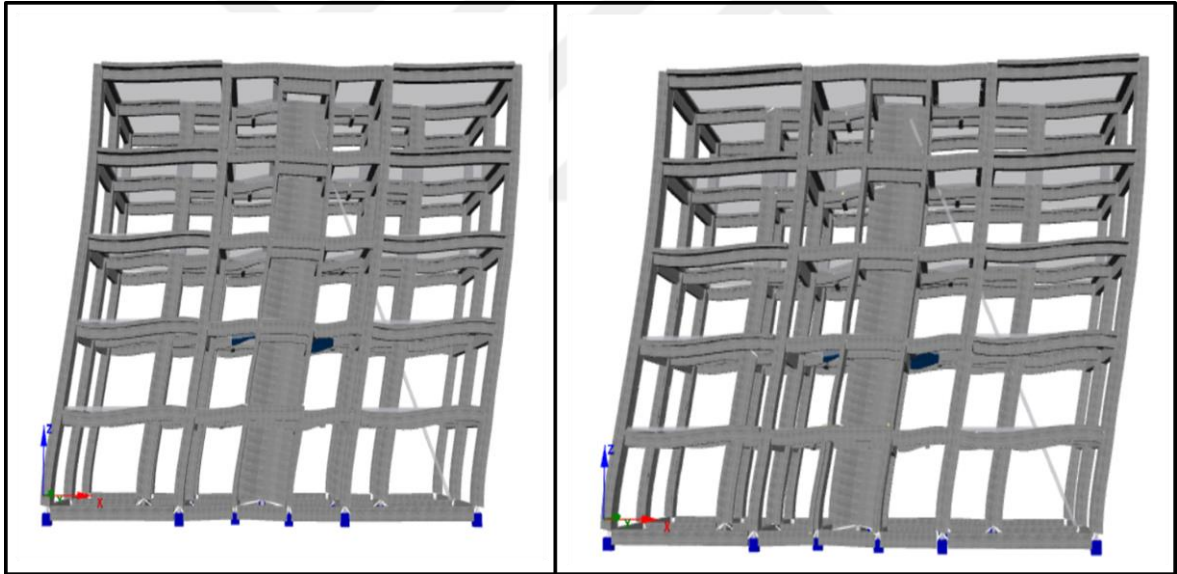
Şekil 7.119’da, M4 modelinin D3 deprem kaydı altında uzun doğrultuda (X) dönme kapasitesi yetersizliği gösteren elemanlar, maksimum deplasman anında özellikle zemin kattaki perde duvarlar ile iç taşıyıcı sistemde yer alan güçlendirme yapılmamış bazı kolon ve kiriş elemanlarında hasar oluşturduğu belirlenmiştir. Üst katlara doğru çıkıldıkça bu tür elemanların sayısında azalma gözlemlenmiştir. Dönme kapasitesi yetersizliğinin zemin katta yoğunlaşması, deprem etkisi altında alt katlarda oluşan kesme kuvvetlerinin ve moment taleplerinin daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar Şekil 7.120’de gösterilmiştir.



Şekil 7.120: M4 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.

Şekil 7.120’de, M4 modelinin D3 deprem kaydı altında gerçekleştirilen analizde, uzun doğrultuda (X) kesme kapasitesi yetersizliği gösteren elemanlar, maksimum deplasman anında sistemin tüm katlarındaki güçlendirme yapılmamış perde duvarlar ile belirli kolon ve kiriş taşıyıcı elemanlarında gözlemlenmiştir. Bu analiz, M4 modelinin D3 deprem kaydı altında kesme dayanımı açısından zayıf bölgelerinin hem düşey hem de yatay taşıyıcı sistem genelinde yayılım gösterdiğini ve güçlendirme yapılmamış elemanlarda oluşan bu yetersizliklerin, yapının rijitlik dağılımını olumsuz etkilediğini ve sistemin deprem etkisi altındaki sünek davranış kapasitesini azalttığını ortaya koymaktadır.

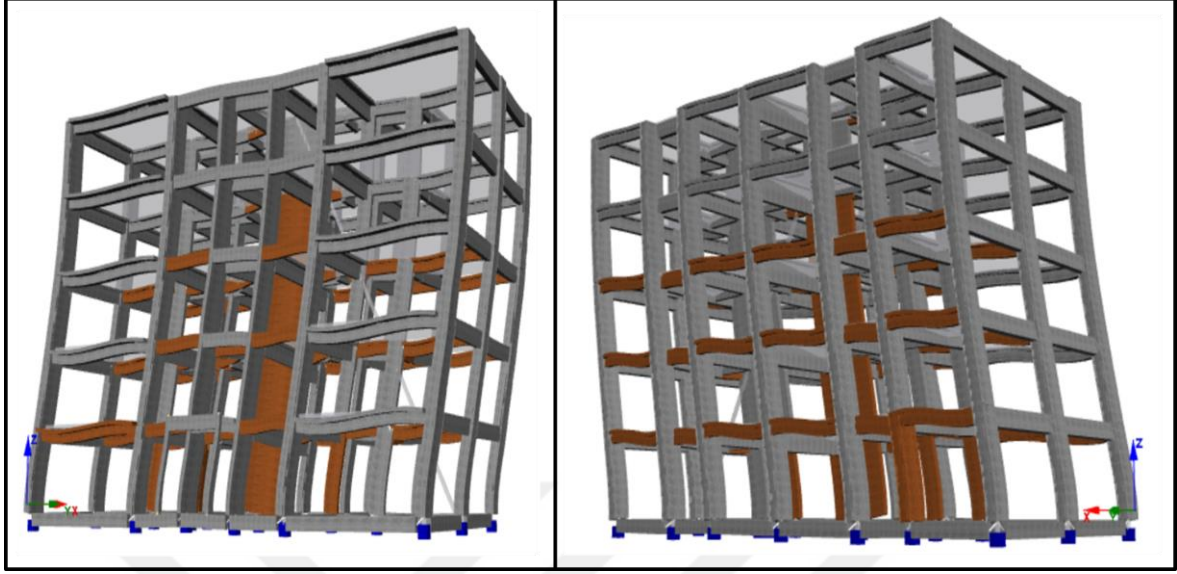
M4 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan kuvvet tabanlı doğrusal olmayan dinamik itme analizinde, performans kriterlerine dayalı kontroller sonucunda çekirdeği ezilen elemanlar belirlenmiş olup, bu elemanlar Şekil 7.121’de gösterilmiştir.



Şekil 7.121: M4 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) çekirdeği ezilen elemanlar.

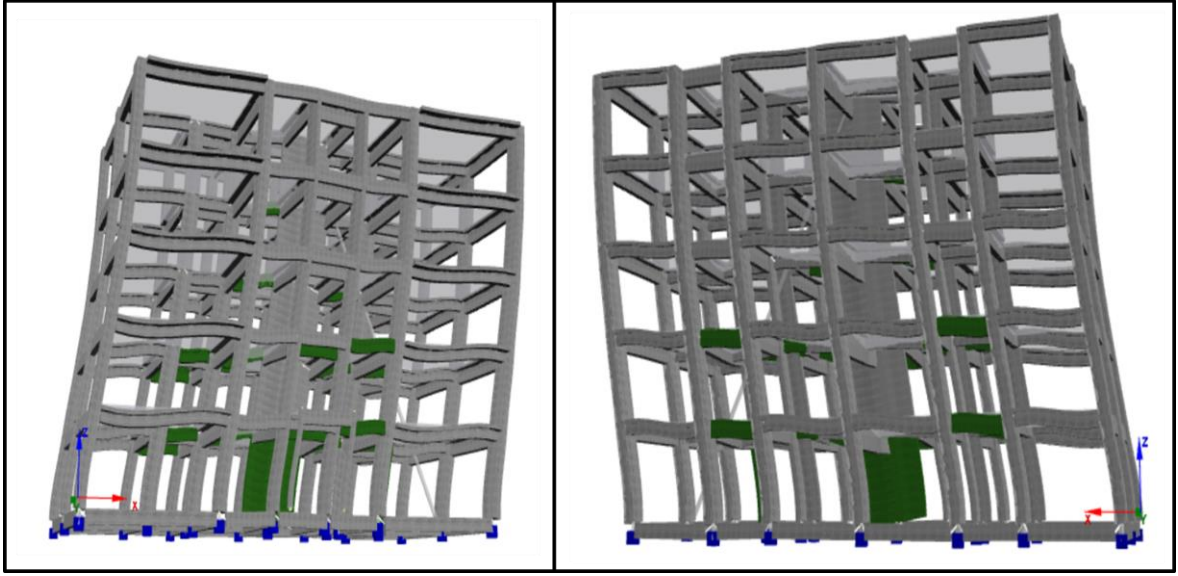
Şekil 7.121’de, M4 modelinin D3 deprem kaydı altında yapılan analizde, maksimum deplasman anında çekirdeği ezilen elemanlar, sistemin 1.kattaki güçlendirme yapılmamış perde duvarının her iki tarafında yer alan kiriş elemanlarında hasar oluşturmuştur. Analiz sonucuna göre, yapının en büyük yatay yük taşıyıcısı olan perde duvarın çekirdeği 1.katta ezilerek kritik seviyede hasar almıştır. Ayrıca, aynı anda perdeye bağlanan 1.kat kirişlerinin de hasar görmesi, gerilme birikiminin bu bölgede yoğunlaştığını

ve 1. katın bir zayıf kat olarak davrandığını teyit etmektedir. Donatısı akan elemanlar Şekil 7.122’de gösterilmiştir.



Şekil 7.122: M4 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) donatısı akan elemanlar.

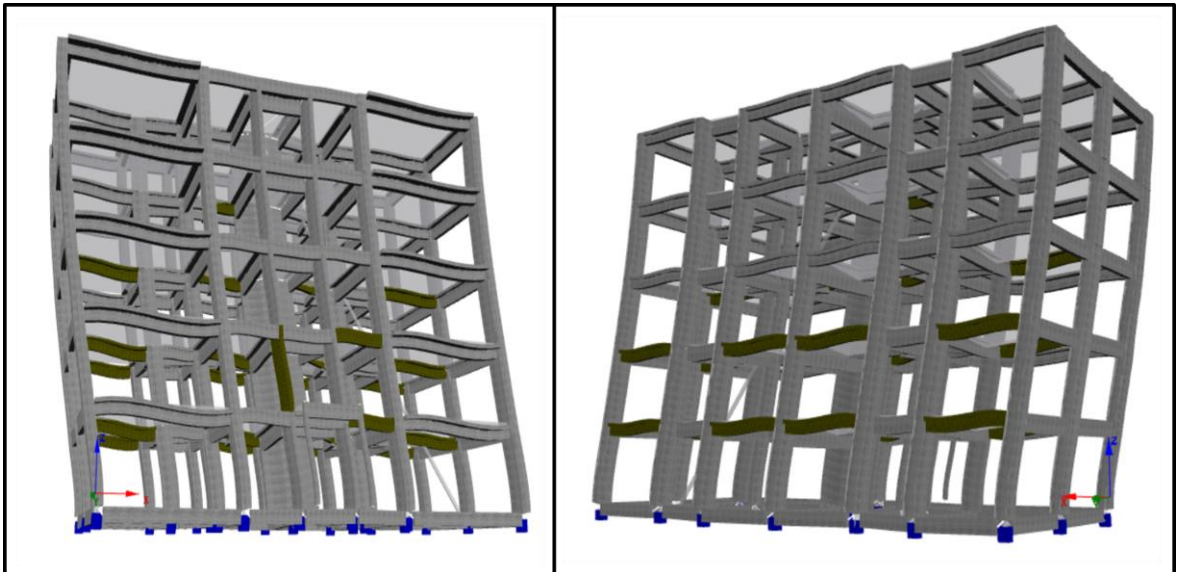
Şekil 7.122’de, M4 modelinin D3 deprem kaydı altında yapılan analizde, maksimum deplasman anında donatısı akan elemanların, sistemin zemin kattan 3. kata kadar olan perde duvarlarında ve güçlendirme yapılmamış belirli iç taşıyıcı elemanlar olan kolon ve kirişlerde hasar oluşturduğu belirlenmiştir. Donatının akması, yapının taşıma kapasitesinin önemli ölçüde azaldığını ve daha büyük bir deprem durumunda tamamen göçme riskinin bulunduğunu göstermektedir. Ayrıca, M4 modeli D3 deprem kaydı altında yaygın ve katlar arası yayılan bir hasar mekanizması sergilemiştir. Paspayı dökülen elemanlar Şekil 7.123’de gösterilmiştir.



Şekil 7.123: M4 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) paspayı dökülen elemanlar.

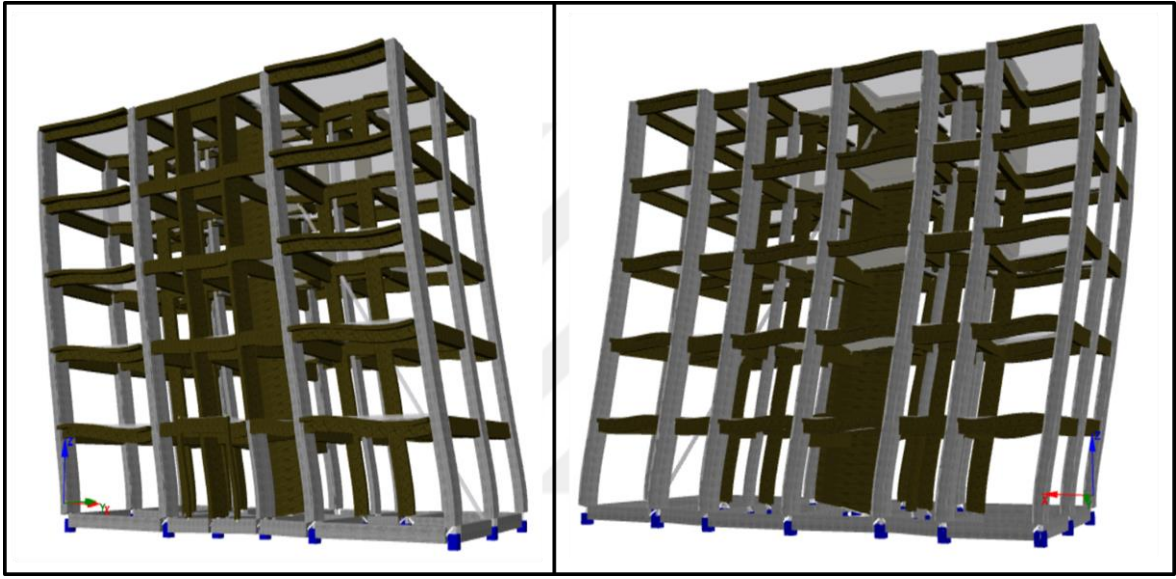
Şekil 7.123’de, uzun doğrultuda (X) yapılan analizde, yapının deforme olmuş hali ve paspayı dökülmüş olarak belirlenen elemanlar, sistemin zemin kattaki güçlendirme yapılmamış perde duvarı ile 3.kata kadar olan belirli sayıda kiriş elemanlarında hasar oluşturmuştur. Bu analiz, zemin kattan başlayarak hızla yayılan ilerleyici bir hasar sürecinin varlığını ortaya koymaktadır.

M4 modelinin D4 deprem kaydı altında yapılan analizde, uzun doğrultuda 8,07’nci saniyede yapısal sistemin son katında maksimum deplasman değeri 3,7 cm olarak tespit edilmiştir. Kodlara dayalı performans kontrolleri sonucunda dönme kapasitesi yetersizliği gösteren elemanlar belirlenmiş olup, bu elemanlar Şekil 7.124’de gösterilmiştir.



Şekil 7.124: M4 modelinin D4 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) dönme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.

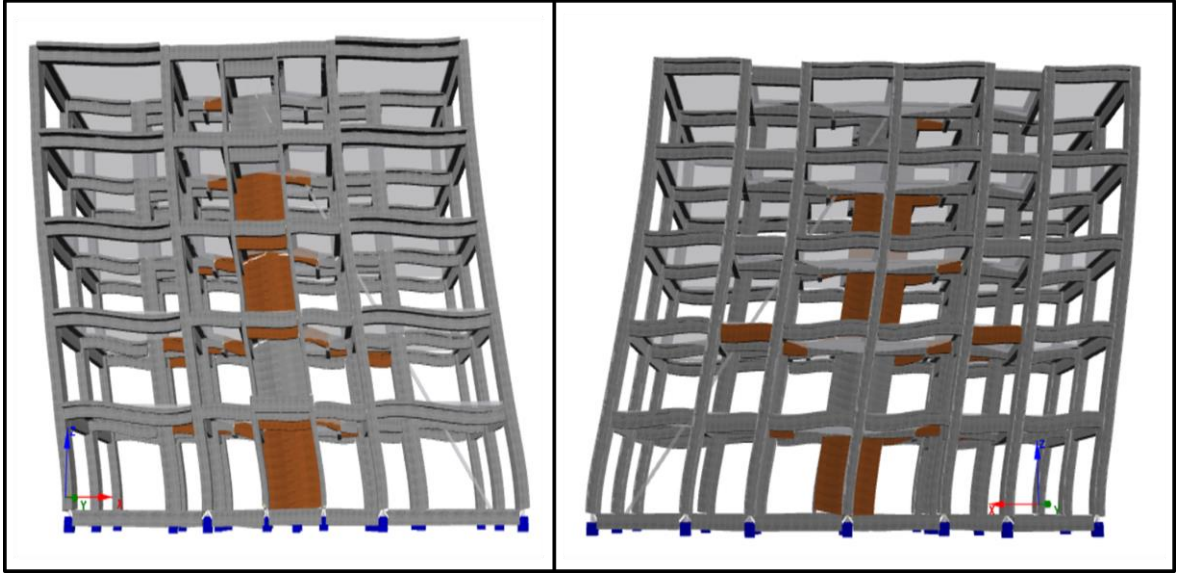
Şekil 7.124’de, M4 modelinin D4 deprem kaydı altında yapılan analizde, maksimum deplasman anında dönme kapasitesi yetersizliği gösteren elemanlar, sistemin zemin kattan 2.kata kadar olan belirli kiriş elemanlarında ve ayrıca 1. kattaki güçlendirme yapılmamış kolonda tespit edilmiştir. Alt katlarda gözlemlenen bu hasar, yapının genel tasarımında ciddi zafiyetlerin bulunduğunu ortaya koymaktadır. Kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar Şekil 7.125’te gösterilmiştir.



Şekil 7.125: M4 modelinin D4 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.

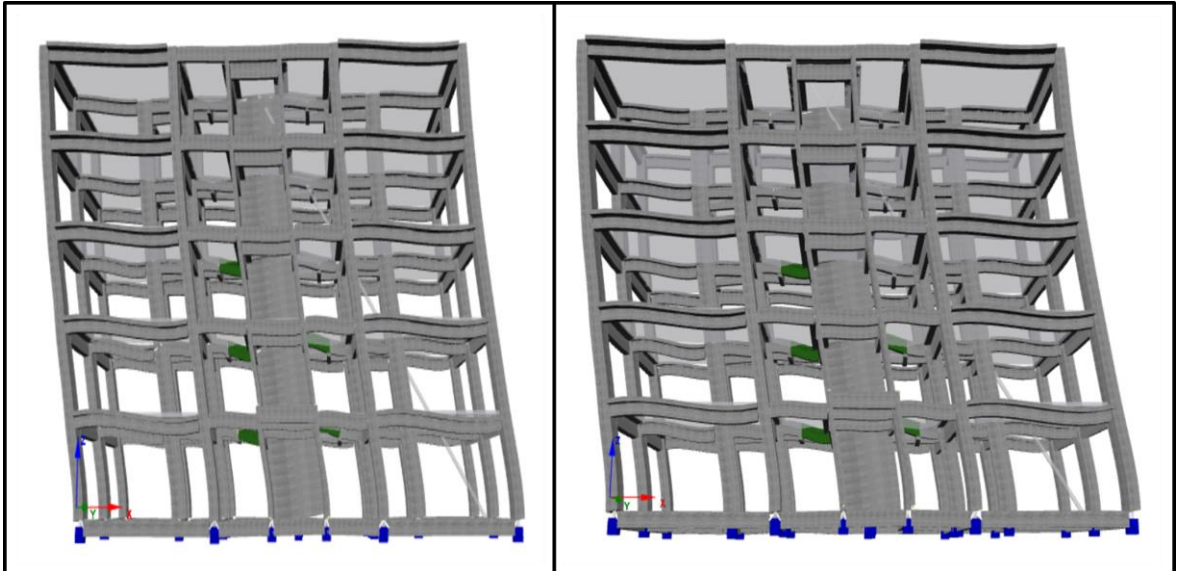
Şekil 7.125’te, M4 modelinin D4 deprem kaydı altında yapılan analizde, uzun doğrultuda (X) maksimum deplasman anında kesme kapasitesi yetersizliği gösteren elemanlar, sistemin tüm katlarındaki güçlendirme yapılmamış perde duvarlar ile tüm katlardaki belirli güçlendirme yapılmamış kolon ve kiriş taşıyıcı elemanlarında gözlemlenmiştir. Bu elemanların, güçlendirme yapılmamış perde duvarlar ve belirli katlardaki bazı kolon ve kirişlerde yoğunlaştığı belirlenmiştir.

Ayrıca, M4 modelinin D4 deprem kaydı ile yapılan analizde, performans kriterlerine dayalı kontroller sonucunda donatısı akan elemanlar tespit edilmiş olup, bu elemanlar Şekil 7.126’da gösterilmiştir.



Şekil 7.126: M4 modelinin D4 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) donatısı akan elemanlar.

Şekil 7.126’da, M4 modelinin D4 deprem kaydı altında yapılan analizde, uzun doğrultuda (X) maksimum deplasman anında donatısı akan elemanlar, sistemin zemin kat, 2. kat ve 3. kattaki perde duvarlar ile tüm katlardaki belirli kiriş elemanlarında tespit edilmiştir. Bu durum, yapının sünek davranış kapasitesinin sınırlı olduğunu göstermektedir. Paspayı dökülen elemanlar Şekil 7.127’de gösterilmiştir.



Şekil 7.127: M4 modelinin D4 deprem kaydı ile yapılan analizde uzun doğrultuda (X) paspayı dökülen elemanlar.

Şekil 7.127’de, M4 modelinin D4 deprem kaydı altında yapılan analizde, uzun doğrultuda (X) maksimum deplasman anında paspayı dökülen elemanlar, zemin kattan 1. kata kadar güçlendirme yapılmamış perde duvarın her iki tarafındaki kiriş elemanlarında ve 2. katta perde duvarın tek tarafında yer alan kiriş elemanında meydana gelmiştir. Analiz, M4 modelinde paspayı dökülmelerinin özellikle alt katlarda yoğunlaştığını ve bunun beton yüzey hasarlarını artırarak yapının dayanımında kısmi zayıflamalara yol açtığını göstermektedir. Ayrıca, performans kriterlerine dayalı D4 deprem kaydı ile yapılan analizde, sistemde çekirdeği ezilen herhangi bir eleman gözlemlenmemiştir.

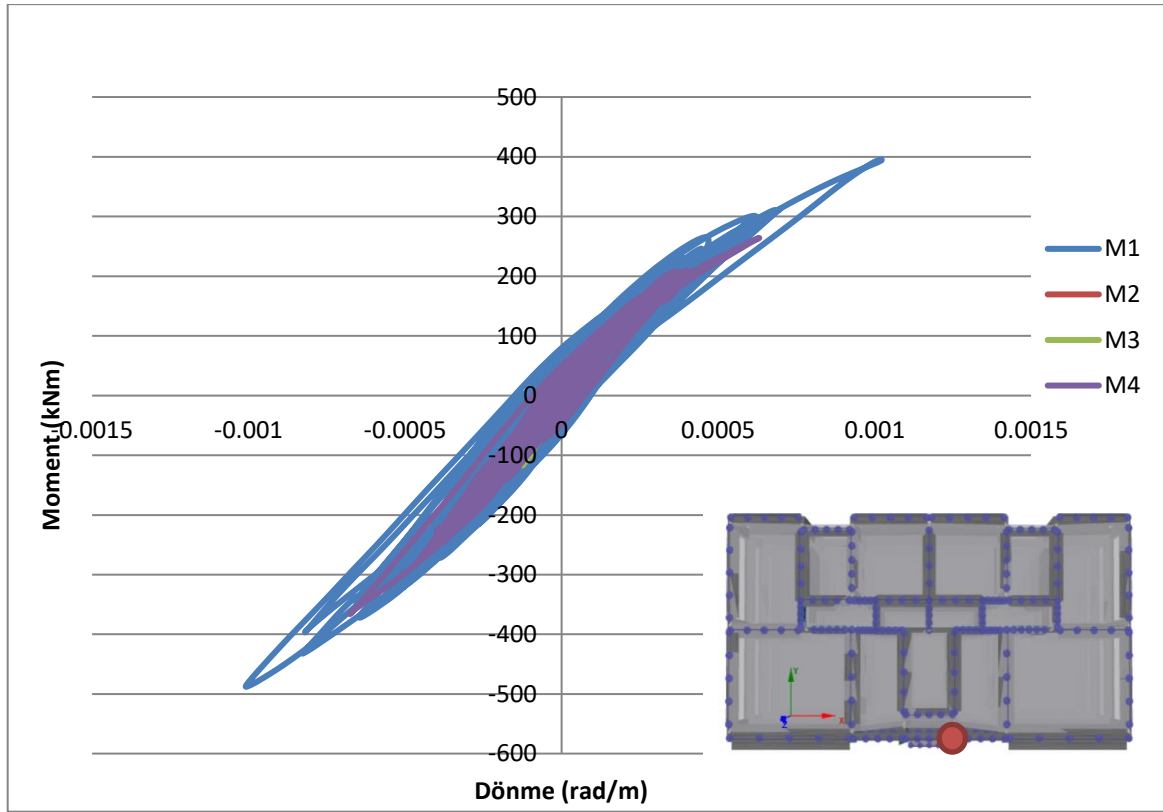
7.3.2 Kısa doğrultudaki (Y) analiz sonuçları

Kısa doğrultuda yapılan analizlerde göz önüne alınan elemanlar ise PZ03 perde duvarı ile SZ03 ve SZ18 numaralı kolonlardır. Bu elemanlar tüm modellerde D1, D2, D3 ve D4 deprem kayıtları ile gerçekleştirilen analiz sonuçlarında moment-dönme ve kesme kuvveti açısından koda dayalı kriterler haricinde ayrıca değerlendirilmiştir.

M1 modelinin kısa doğrultuda (Y) D1, D2, D3 ve D4 deprem kayıtları ile yapılan analizlerinde, çatı katında oluşan maksimum yer değiştirmeler sırasıyla 2,4 cm, 2,2 cm, 8,9 cm ve 4,7 cm olarak hesaplanmıştır.

M2 ve M3 modellerinin kısa doğrultuda (Y) D1, D2, D3 ve D4 deprem kayıtları ile yapılan analizlerinde, çatı katında oluşan maksimum yer değiştirmeler sırasıyla 0,5 cm, 0,9 cm, 0,7 cm ve 0,7 cm olarak elde edilmiştir. Yapının genel davranışında perde duvarın başlıklarının yapının genel ötelenmesine bir katkısının olmadığı görülmüştür.

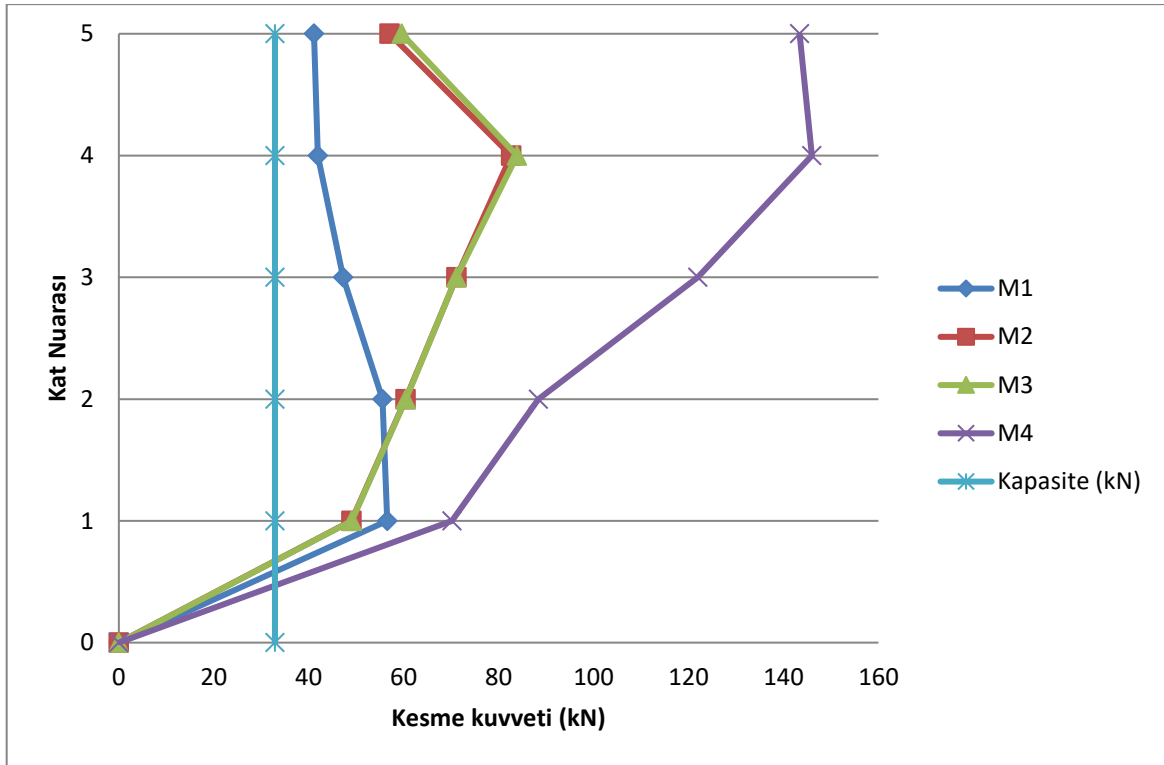
M4 modelinin kısa doğrultuda (Y) D1, D2, D3 ve D4 deprem kayıtları ile yapılan analizlerinde ise, çatı katında oluşan maksimum yer değiştirmeler sırasıyla 2,2 cm, 2,1 cm, 6,6 cm ve 4,2 cm olarak hesaplanmıştır. PZ03 numaralı perde duvarda uygulanan D1 deprem kaydı ile yapılan analizin moment-dönme grafiği Şekil 7.128’de gösterilmiştir.



Şekil 7.128: Kısa doğrultuda (Y) PZ03 numaralı perde duvarın D1 deprem kaydı ile yapılan analizin moment-dönme grafiği.

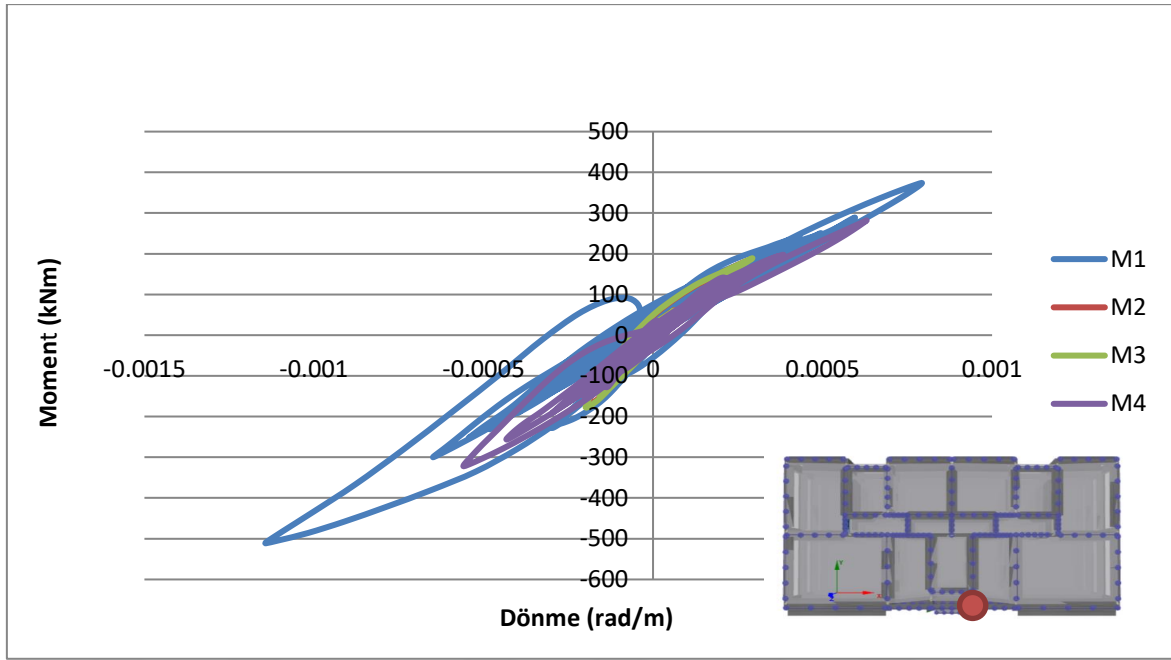
Şekil 7.128’de, PZ03 numaralı perde duvarın D1 deprem kaydı ile yapılan analizinde, yapısal sistem için moment-dönme değerleri sayısal olarak şu şekilde elde edilmiştir. M1 modeli, negatif yönde maksimum -487,8524 kNm moment, pozitif yönde ise maksimum 0,00102295 rad/m dönme oluşmuştur. M2 modeli ise negatif yönde maksimum -113,2459 kNm moment, negatif yönde maksimum ise -0,00012081 rad/m dönme yapmıştır. M3 modeli, negatif yönde maksimum -117,0758 kNm moment, negatif yönde maksimum ise -0,0001252 rad/m dönme yapmıştır. M4 modeli negatif yönde maksimum -366,035 kNm moment, negatif yönde ise maksimum -0,00067624 rad/m dönme yapmıştır.

Grafikte gözlenen eğriler, yaklaşık 400 kNm maksimum moment kapasitesine ulaşarak pozitif ve negatif yönde simetrik bir davranış sergilemektedir. M1 modelinin histeretik döngülerinin en geniş olduğu görülmektedir. Ayrıca, PZ03 perde duvar kısa doğrultuda (Y) geniş bir histeretik davranışa sahip olmakla birlikte hasar oluşumu da görülmektedir. Şekil 7.129’da, PZ03 numaralı perde duvarın D1 deprem kaydı ile yapılan analizine ait katlara göre kesme kuvveti dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 7.129: Kısa doğrultuda (Y) PZ03 numaralı perde duvarın D1 deprem kaydı ile yapılan analiz katlara göre kesme kuvveti grafiği.

Şekil 7.129’da, PZ03 numaralı perde duvarın D1 deprem kaydı ile yapılan analiz sonucunda, perde duvarın kesme kapasitesi 32,89 kN olarak hesaplanmıştır. Analiz sonuçlarına göre maksimum kesme kuvvetleri modeller bazında şu şekilde belirlenmiştir:M1 modeli: 1. katta 56,53 kN,M2 modeli: 4. katta 82,63 kN,M3 modeli: 4. katta 83,87 kN,M4 modeli: 4. katta 145,98 kN.Tüm modeller için hesaplanan maksimum kesme kuvvetleri, perde duvarın 32,89 kN olan kesme kapasitesini aşmaktadır. Bu durum, perde duvarın deprem sırasında kesme güvenliği açısından yetersiz kaldığını ve ciddi kesme hasarı riski altında olduğunu göstermektedir.Özellikle M2, M3 ve M4 modellerinde en büyük kesme kuvvetinin 4. katta meydana gelmesi dikkat çekicidir. M1 modelinde ise maksimum kesme kuvveti 1.katta oluşmuştur. M4 modelinde elde edilen 145,98 kN değeri, diğer modellere göre belirgin şekilde yüksek olup, bu modelin yapısal sisteme en büyük kesme kuvveti talebini ilettiğini ve dolayısıyla en kritik kesme performansını gösterdiğini ortaya koymaktadır. PZ03 numaralıperde duvarının D2 kaydı ile yapılan analizin moment-dönme grafiği Şekil 7.130’da gösterilmiştir.

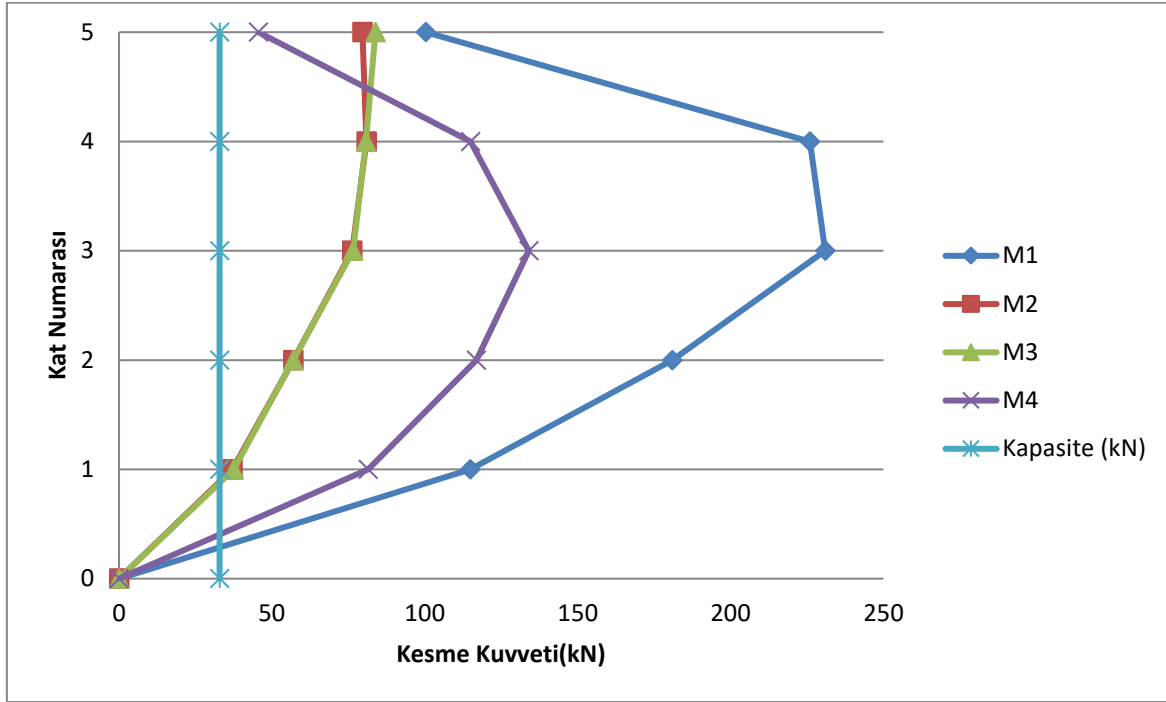


Şekil 7.130: Kısa doğrultuda (Y) PZ03 numaralı perde duvarın D2 deprem kaydı ile yapılan analizin moment-dönme grafiği.

Şekil 7.130’da, PZ03 numaralı perde duvara D2 deprem kaydı ile yapılan analizde elde edilen moment-dönme değerleri modeller bazında şu şekilde belirlenmiştir: M1 modeli: Negatif yönde maksimum moment $-511,4724$ kNm, negatif yönde maksimum dönme $-0,001143$ rad/m, M2 modeli: Pozitif yönde maksimum moment $182,9522$ kNm, pozitif yönde maksimum dönme $0,00027993$ rad/m, M3 modeli: Pozitif yönde maksimum moment $189,0888$ kNm, pozitif yönde maksimum dönme $0,00029322$ rad/m, M4 modeli: Negatif yönde maksimum moment $-322,0834$ kNm, pozitif yönde maksimum dönme $0,00063013$ rad/m. Analiz sonuçlarına göre, M1 modeli, diğer modellere kıyasla hem pozitif hem de negatif yönde daha yüksek moment kapasitesi sergilemiştir. Özellikle M1 ve M4 modellerinde maksimum moment değerlerinin pozitif ve negatif yönlerde belirgin farklılıklar gösterdiği gözlenmiştir. M2 ve M3 modelleri, düşük dönme değerleri ile benzer davranışlar sergilerken, M1 ve M4 modelleri daha yüksek dönme kapasitelerine ulaşmıştır.

Histeretik eğrilere bakıldığında, M2 ve M3 modelleri dar çevrimler oluşturmuş, bu durum daha rijit davranış ve sınırlı süneklik ile sonuçlanmıştır. M1 modeli ise geniş çevrimler oluşturarak yüksek enerji tüketimi ve sünek davranış göstermiştir. Bu doğrultuda, PZ03 perde duvarın D2 deprem kaydı altındaki performansında M1 modeli en yüksek moment kapasitesine ulaşırken, M2 ve M3 modelleri güçlendirmelerin olumlu katkısı ile rijit ve elemanın üzerine gelen yükleri sınırlamıştır. Şekil 7.131’de, PZ03

numaralı perde duvarının D2 deprem kaydı ile yapılan analizinde, kat numaralarına göre kesme kuvvetleri grafikte verilmiştir.

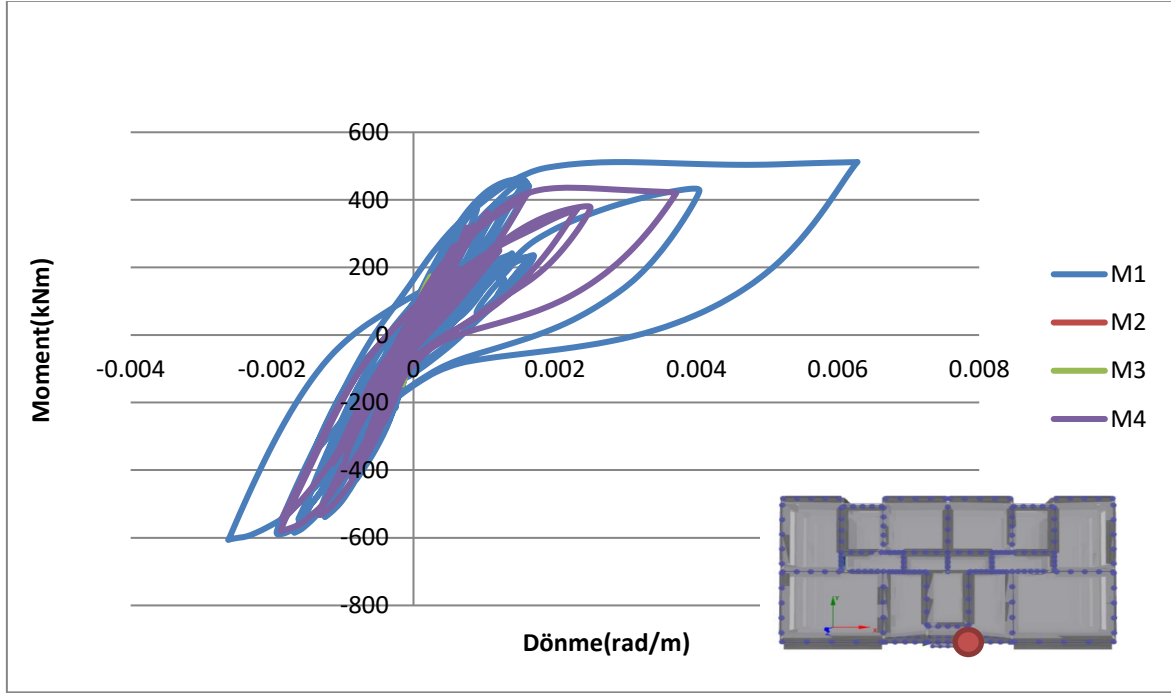


Şekil 7.131: Kısa doğrultuda (Y) PZ03 numaralı perde duvarın D2 deprem kaydı ile yapılan analiz katlarına göre kesme kuvveti grafiği.

Şekil 7.131’de, PZ03 numaralı perde duvara D2 deprem kaydı ile yapılan analizde, elemanın kesme kapasitesi 32,89 kN olarak hesaplanmıştır. Analiz sonuçları modellere göre şu şekildedir: M1 modeli: 3. katta maksimum kesme kuvveti 230,944 kN, M2 modeli: 4. katta maksimum kesme kuvveti 80,919 kN, M3 modeli: 5. katta maksimum kesme kuvveti 83,849 kN, M4 modeli: 3. katta maksimum kesme kuvveti 134,014 kN. Tüm modeller için hesaplanan kesme kuvveti talepleri, elemanın 32,89 kN olan kesme kapasitesini büyük oranda aşmaktadır. Özellikle M1 modelinde 230,944 kN değerinin kapasitenin yaklaşık yedi katı olması, PZ03 perde duvarın D2 depremi altında kritik bir kesme göçme riski taşıdığını ortaya koymaktadır.

Ayrıca, M1 ve M4 modellerinde maksimum kesme kuvveti 3.katta yoğunlaşırken, M2 ve M3 modellerinde bu yoğunlaşma sırasıyla 4. ve 5. katlarda gerçekleşmiştir. Bu durum, güçlendirme alternatiflerinin katlar arasında kesme kuvvetinin farklı dağıldığını ve özellikle orta katlarda kritik kesme talebi oluştuğunu göstermektedir.

Sonuç olarak, PZ03 perde duvarının D2 deprem kaydı altındaki kesme talebi, tüm modellerde hesaplanan kapasitenin oldukça üzerinde olup, yapısal sistemin kesme güvenliğinin sağlanmasında güçlendirme alternatiflerinin katkısının yetersiz olduğu görülmektedir. PZ03 numaralı perde duvarın D3 deprem kaydı ile yapılan analizine ait moment-dönme grafiği Şekil 7.132’de gösterilmiştir.

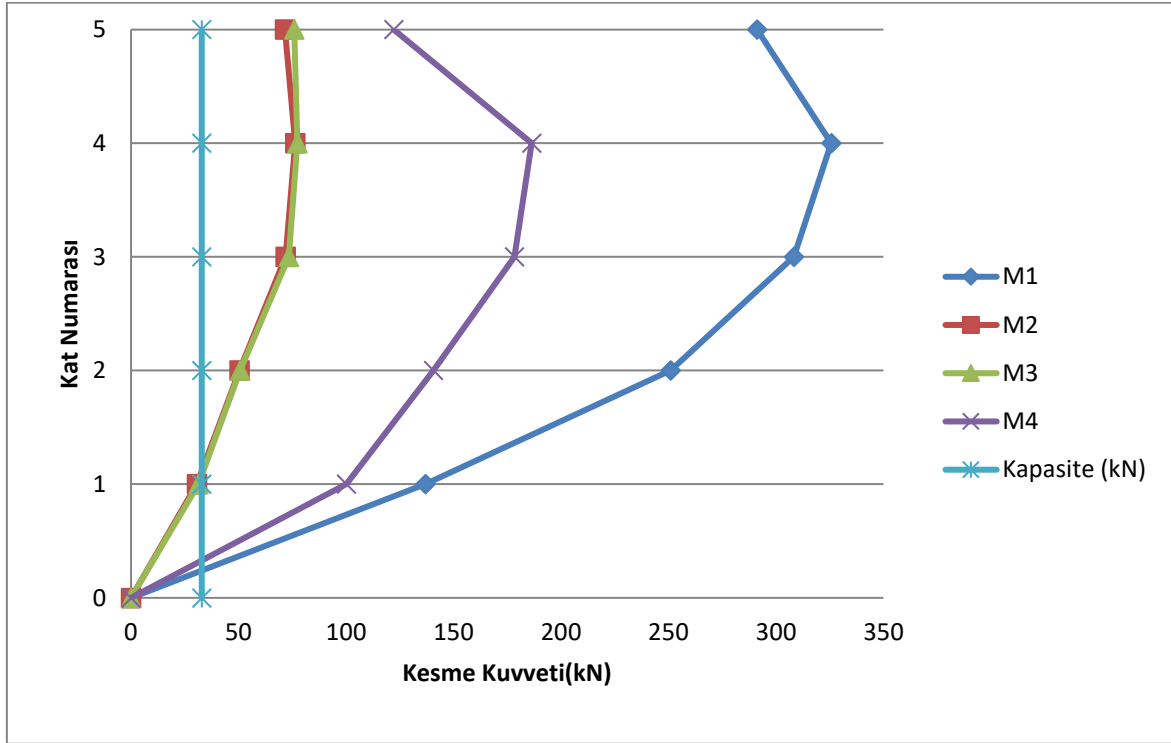


Şekil 7.132: Kısa doğrultuda (Y) PZ03 numaralı perde duvarın D3 deprem kaydı ile yapılan analiz moment-dönme grafiği.

Şekil 7.132’de, PZ03 numaralı perde duvara D3 deprem kaydı ile yapılan analiz sonuçları sunulmuştur. Analiz sonucunda elde edilen moment ve dönme değerleri modellere göre şu şekilde sayısal değerler elde edilmiştir. M1 modelinde negatif yönde maksimum -606,4812 kNm moment ve pozitif yönde maksimum 0,00627972 rad/m dönme, M2 modelinde pozitif yönde maksimum 166,8914 kNm moment ve pozitif yönde maksimum 0,00022939 rad/m dönme, M3 modelinde pozitif yönde maksimum 173,6567 kNm moment ve pozitif yönde maksimum 0,00024509 rad/m dönme, M4 modelinde ise negatif yönde maksimum -579,6813 kNm moment ve pozitif yönde maksimum 0,00371763 rad/m dönme yapmıştır. Analiz sonuçlarına göre, M1 ve M4 modelleri negatif yönde sırasıyla yaklaşık -606 kNm ve -580 kNm gibi yüksek moment kapasitesine ulaşmıştır. M1 modeli, yaklaşık 0,0063 rad/m dönme değeri ile en büyük deformasyonu göstermiş ve diğer modellere kıyasla en zayıf model olmuştur. Buna karşın, M2 ve M3 modellerinin histeretik eğrileri merkeze yakın, dar çevrimler oluşturmaktadır. Bu durum,

söz konusu modellerin D3 deprem kaydına karşı yüksek rijitlik sergilediğini ve dolayısıyla elemanın üzerine gelen momentleri azaltarak hasar alma potansiyelini azaltmaktadır.

Sonuç olarak, D3 deprem kaydı altındaki analiz, PZ03 perde duvarın M1 ve M4 modellerinde yüksek hasar alma potansiyeline sahip olduğunu, M2 ve M3 modellerinde ise daha rijit ve sınırlı deformasyon içeren bir davranış sergilediğini ortaya koymaktadır. Şekil 7.133’de, PZ03 perde duvarın D3 deprem kaydı ile yapılan analiz sonucunda elde edilen katlara göre kesme kuvveti dağılımını göstermektedir.

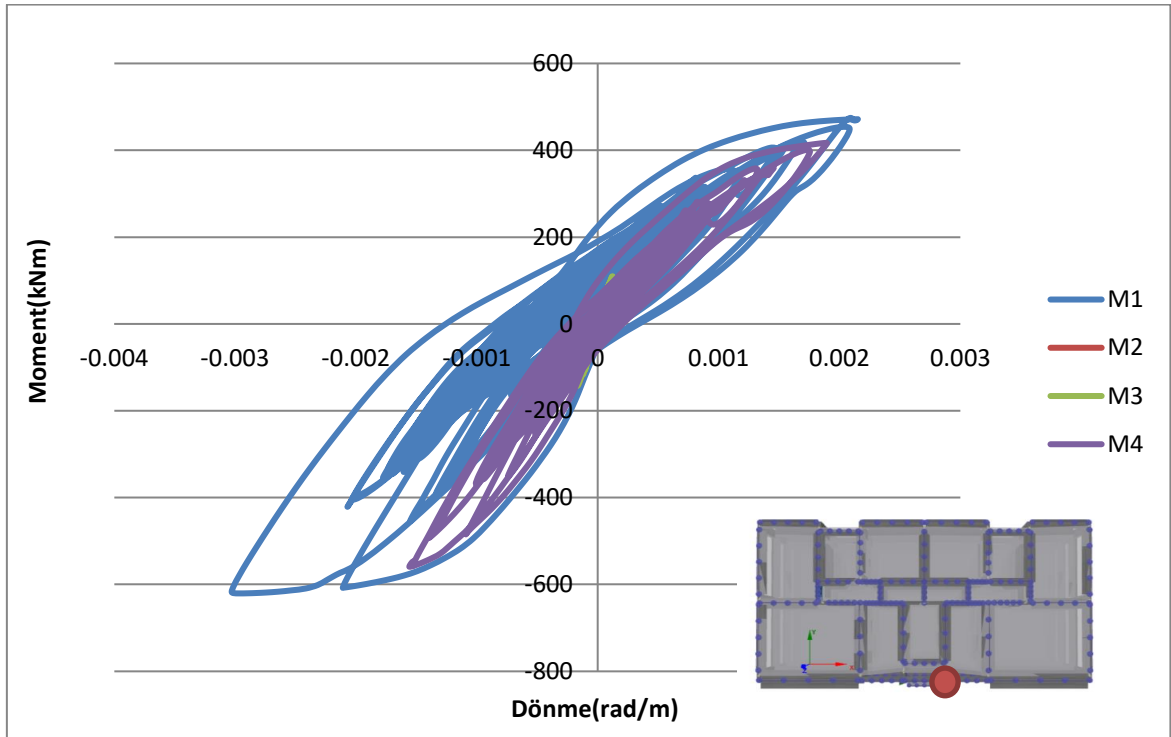


Şekil 7.133: Kısa doğrultuda (Y) PZ03 numaralı perde duvarın D3 deprem kaydı ile yapılan analiz katlara göre kesme kuvveti grafiği.

Şekil 7.133’de, PZ03 numaralı perde duvara D3 deprem kaydı ile yapılan analiz sonuçları sunulmuştur. Daha önce belirtilmiş olduğu üzere, PZ03 perde duvarın kesme kapasitesi 32,89 kN olarak hesaplanmıştır. Analiz sonucunda elde edilen maksimum kesme kuvvetleri modellere göre şu şekilde elde edilmiştir; M1 modeli 4.katta 325,696 kN, M2 modeli 4. katta 76,377 kN, M3 modeli 4. katta 77,364 kN, M4 modeli 4. katta 186,347 kN.

Tüm modellerde maksimum kesme kuvvetinin 4.katta meydana gelmesi, kesme kuvvetlerinin alt katlar yerine üst katlara yığıldığını ve yüksek kesme talebinin yapı yüksekliğinin orta üst kısmında yoğunlaştığını göstermektedir.

D3 deprem kaydı altında, tüm sayısal modellerinin hesaplanan kesme kuvvetleri, PZ03 perde duvarın 32,89 kN olan kesme kapasitesini önemli ölçüde aşmaktadır. Özellikle M1 modelinde elde edilen 325,696 kN değeri, kapasitenin yaklaşık 10 katı olup, perde duvarın D3 depremi altında kesinlikle kesme göçmesi riski taşıdığını ortaya koymaktadır. Sonuç olarak, PZ03 perde duvarın D3 deprem kaydı altındaki kesme performansı yetersiz olup, oluşan kesme kuvveti talebi mevcut kesme kapasitesinin oldukça üzerindedir. PZ03 numaralı perde duvarın D4 deprem kaydı ile yapılan analizinde moment-dönme grafiği Şekil 7.134’de gösterilmiştir.

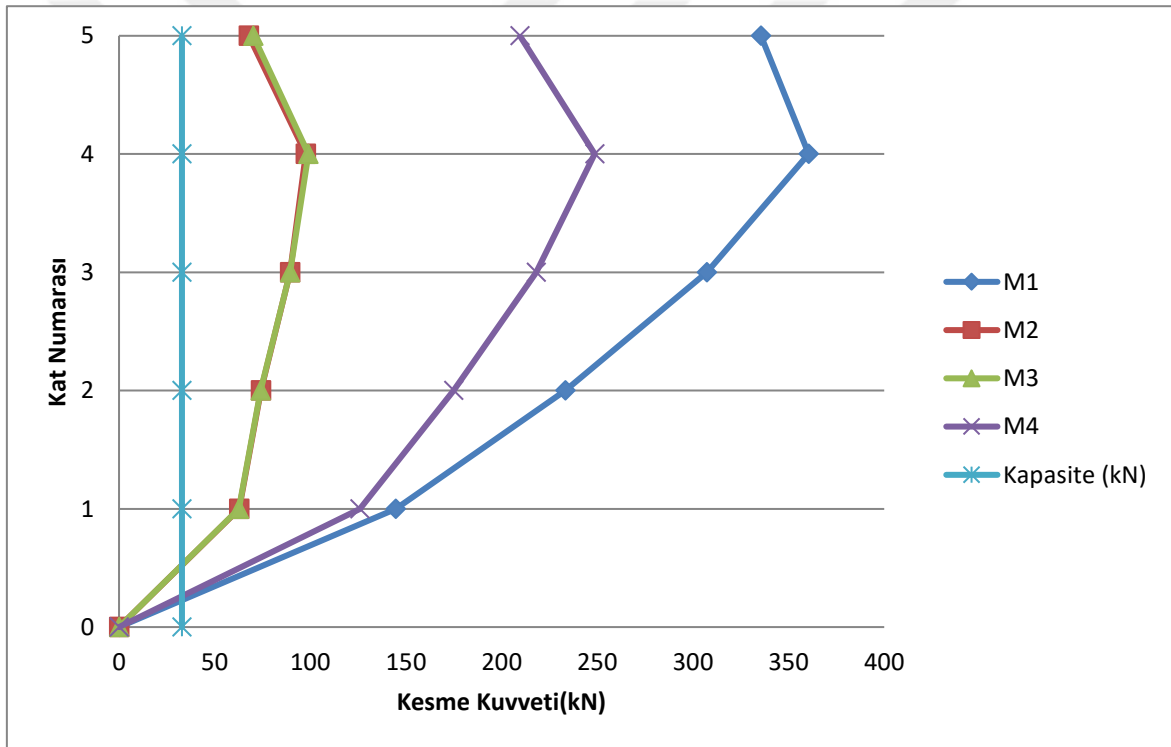


Şekil 7.134: Kısa doğrultuda (Y) PZ03 numaralı perde duvarın D4 deprem kaydı ile yapılan analiz moment-dönme grafiği.

Şekil 7.134’de, PZ03 numaralı perde duvarın D4 deprem kaydı ile yapılan analiz sonuçları gösterilmektedir. Analiz bulgularına göre, yapısal sistemde maksimum moment ve dönme değerleri modellere göre şu şekilde elde edilmiştir; M1 modelinde negatif yönde maksimum -620,6664 kNm moment ve -0,003028 rad/m dönme, M2 modelinde negatif yönde maksimum -139,4082 kNm moment ve -0,00016366 rad/m dönme, M3 modelinde negatif yönde maksimum -142,1451 kNm moment ve -0,0001667 rad/m dönme ve en son M4 modelinde negatif yönde maksimum -559,2656 kNm moment ve pozitif yönde maksimum 0,00189532 rad/m dönme yapmıştır. Bu sonuçlar, M1, M2, M3 ve M4 modelleri arasında belirgin farklılıklar olduğunu göstermektedir. M2 ve M3 modelleri, M1

modeline kıyasla sırasıyla %94,6 ve %94,5 daha az dönme yapmış, M4 modeli ise %37,4 daha az dönme yapmıştır. Bu durum, D4 deprem kaydı altında M1 ve M4 modellerinin üzerine gelen aşırı yükten dolayı hasar alma potansiyelinin yüksek kapasiteye sahip olduğunu, M2 ve M3 modellerinin ise düşük hasar alma potansiyeline ve yüksek rijitlik gösterdiğini ortaya koymaktadır. Genel olarak, M1 modelinde elde edilen -620 kNm değeri, incelenen deprem kayıtları altındaki en yüksek moment taleplerinden biri olarak kaydedilmiştir.

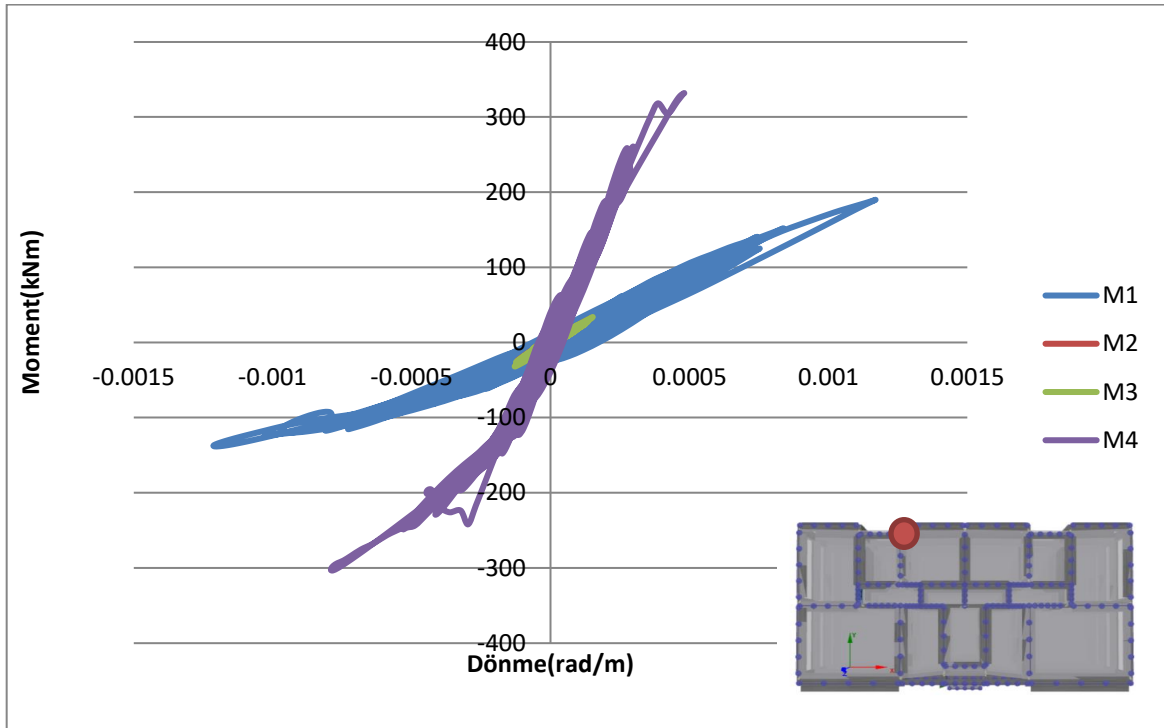
Şekil 7.135’de ise, PZ03 numaralı perde duvarın D4 deprem kaydı ile yapılan analizinde, katlar bazında maksimum kesme kuvvetleri grafiksel olarak sunulmuştur. Bu grafik, katlar arasındaki kesme kuvveti dağılımını ve üst katlarda oluşan yoğunlaşmayı göstermektedir.



Şekil 7.135: Kısa doğrultuda (Y) PZ03 numaralı perde duvarın D4 deprem kaydı ile yapılan analizin katlara göre kesme kuvveti grafiği.

Şekil 7.135’te, PZ03 numaralı perde duvarın D4 deprem kaydı ile yapılan analiz sonuçları sunulmaktadır. Analiz kapsamında perde duvarın kesme kapasitesi 32,89 kN olarak belirlenmiş olup, tüm modellerde maksimum kesme kuvvetinin 4. katta oluştuğu gözlenmiştir. Modeller bazında maksimum kesme kuvvetleri sırasıyla, M1 modelinde 360,487 kN, M2 modelinde 97,632 kN, M3 modelinde 99,007 kN, M4 modelinde ise 248,635 kN olarak elde edilmiştir. Elde edilen değerler, dört modelde de perde duvarın

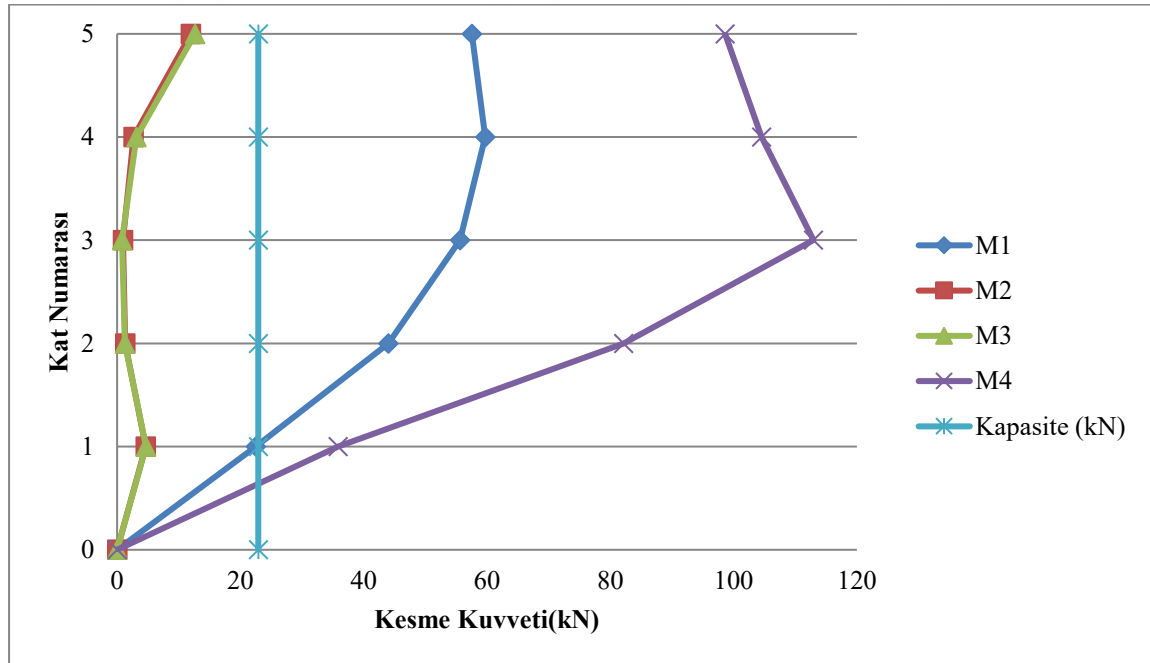
kesme kapasitesinin açıkça aşıldığını göstermektedir. Maksimum kesme kuvvetlerinin 4.katta yoğunlaşması, kesme kuvvetlerinin aslında üst katlardan aşağıya doğru üçgensel bir yükleme tarzını da doğrulamaktadır. Bu sonuçlar, 1975 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği esaslarına göre tasarlanmış yapının, incelenen tüm yapısal modeller (M1, M2, M3, M4) kapsamında PZ03 perde duvarının D4 deprem kaydı altında kesme kapasitesi açısından yetersiz olduğunu ve ciddi kesme hasarı riski taşıdığını göstermektedir. SZ03 numaralı kolonun D4 deprem kaydı ile yapılan analizine ait moment-dönme grafiği ile katlara göre kesme kuvveti grafiği Şekil 7.136'da verilmiştir.



Şekil 7.136: Kısaca doğrultuda (Y) SZ03 numaralı kolonun D1 deprem kaydı ile yapılan analizin moment-dönme grafiği.

Şekil 7.136'da, SZ03 numaralı kolonun kısaca doğrultuda (Y) D1 deprem kaydı ile yapılan zaman tanım alanı analizleri sonucunda elde edilen moment-dönme ilişkileri gösterilmektedir. Analiz bulguları şu şekilde özetlenmiştir; M1 modelinde pozitif yönde maksimum 189,9075 kNm moment ve negatif yönde maksimum -0,0012131 rad/m dönme, M2 modelinde negatif yönde maksimum -32,9049 kNm moment ve pozitif yönde maksimum 0,00014799 rad/m dönme, M3 modelinde pozitif yönde maksimum 33,9048 kNm moment ve pozitif yönde maksimum 0,00015221 rad/m dönme ve son olarak M4 modelinde ise pozitif yönde maksimum 331,9766 kNm moment ve negatif yönde maksimum -0,00078986 rad/m dönme elde edilmiştir.

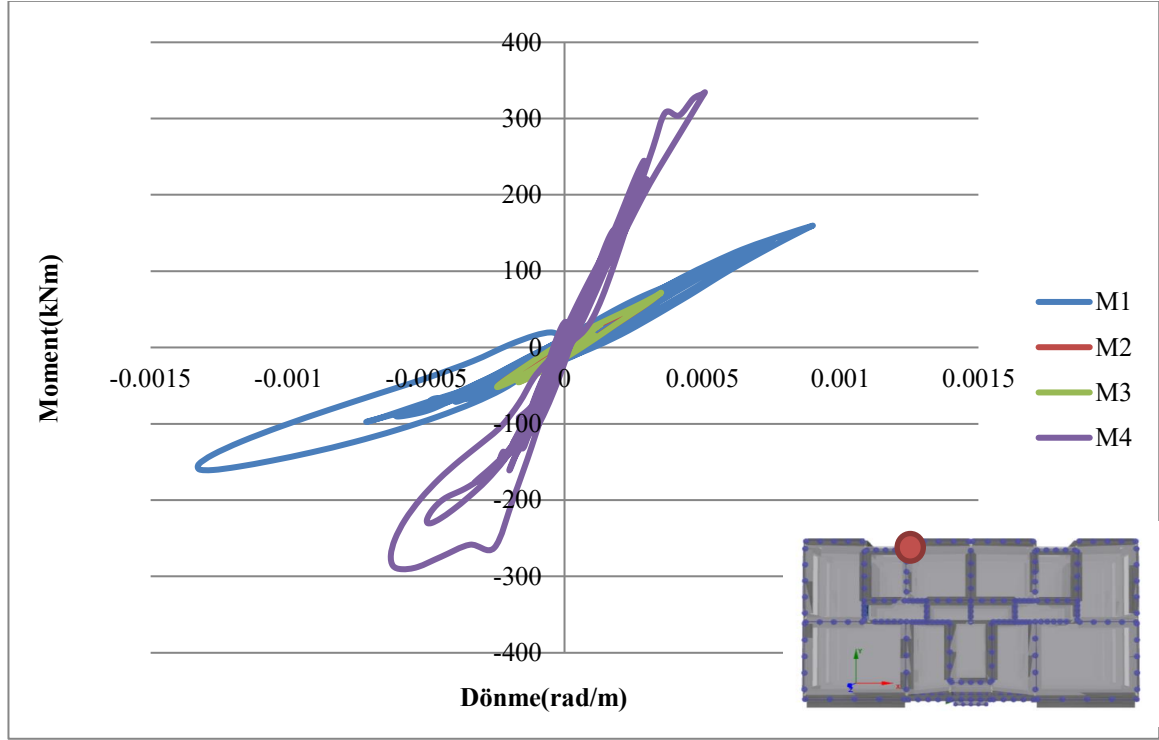
Bu sonuçlar, M1 modelinde pozitif moment yönünde yüksek moment ve negatif yönde belirgin dönme oluştuğunu göstermektedir. M4 modeli, incelenen tüm modeller arasında en yüksek moment değerine sahip olup, 331,9766 kNm ile kolonun taşıma kapasitesinin zorlandığını ortaya koymaktadır. Buna karşın, M2 ve M3 modelleri çok daha düşük moment ve dönme değerleri almış, histeretik çevrimleri merkeze yakın ve dar bir dağılım göstermiştir. Bu durum, söz konusu modellerde kolonun elastik davranış sınırları içinde kaldığını ve deprem enerjisinin büyük kısmının bu kolondan güçlendirme sonrası başka elemanlara transfer edildiğini, dolayısıyla hasar riskinin düşük olduğunu göstermektedir. Şekil 7.137’de, SZ03 numaralı kolonun D1 deprem kaydı ile yapılan analizinde, kat numaralarına göre kesme kuvvetleri aşağıdaki grafikte verilmiştir.



Şekil 7.137: Kısa doğrultuda (Y) SZ03 numaralı kolonun D1 deprem kaydı ile yapılan analizin katlara göre kesme kuvveti grafiği.

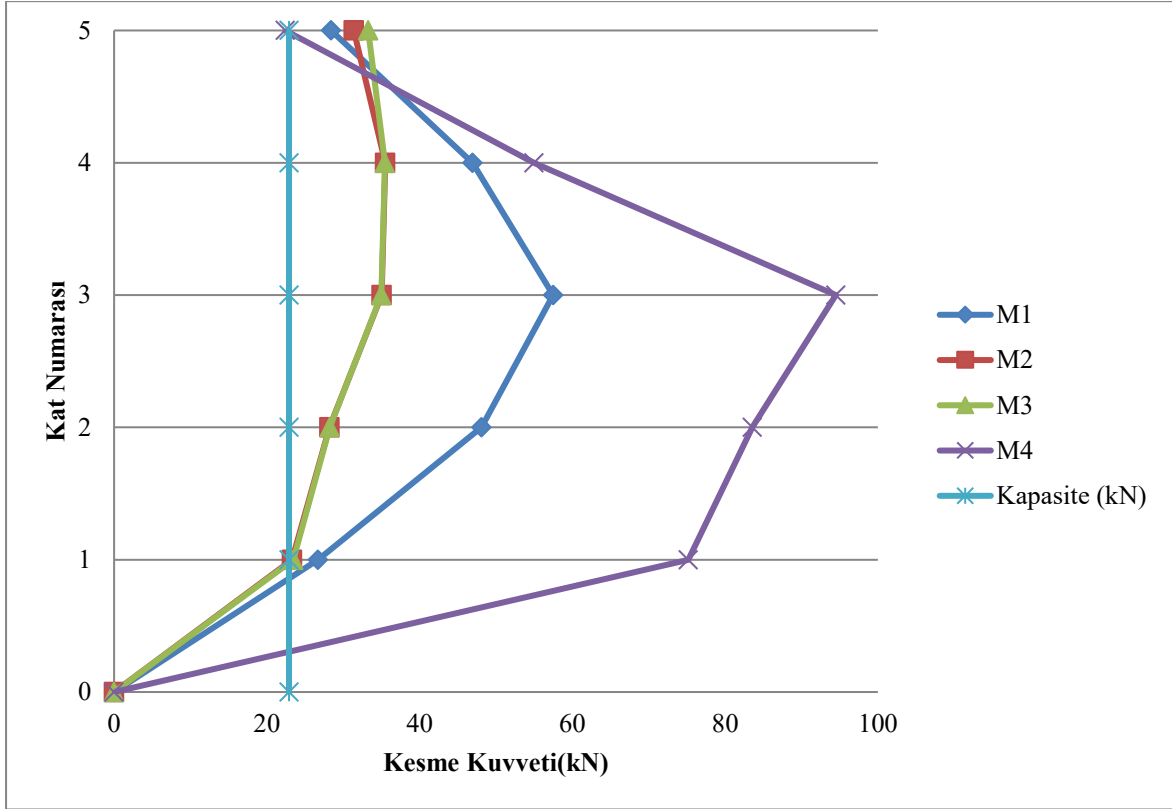
Şekil 7.137’de, SZ03 numaralı kolonun D1 deprem kaydı ile yapılan analiz sonuçları gösterilmektedir. Analiz kapsamında, kolonun kesme kapasitesi 22,9 kN olarak hesaplanmıştır. Farklı modellerde meydana gelen maksimum kesme kuvvetleri ve bulundukları katlar şu şekilde elde edilmiştir; M1 modelinde maksimum kesme kuvveti 4.katta 59,705 kN, M2 modelinde maksimum kesme kuvveti 5. katta 11,978 kN, M3 modelinde maksimum kesme kuvveti 5. katta 12,652 kN ve M4 modeli ise maksimum kesme kuvveti 3. katta 104,545 kN. Bu sonuçlara göre, M1 modelinde oluşan maksimum değer kapasitenin yaklaşık 2,6 katı, M4 modelinde ise yaklaşık 4,5 katı seviyesindedir.

Buna karşın, M2 ve M3 modellerinde maksimum kesme kuvvetleri, kolonun kesme kapasitesinin altında kalmıştır. Bu durum, M2 ve M3 yapısal sistemlerinde güçlendirmeden dolayı SZ03 numaralı kolonun kesme güvenliğinin sağlandığını ve kesme hasarı riskinin bulunmadığını göstermektedir. SZ03 numaralı kolonun D2 deprem kaydı ile yapılan analizin moment-dönme grafiği Şekil 7.138’de gösterilmiştir.



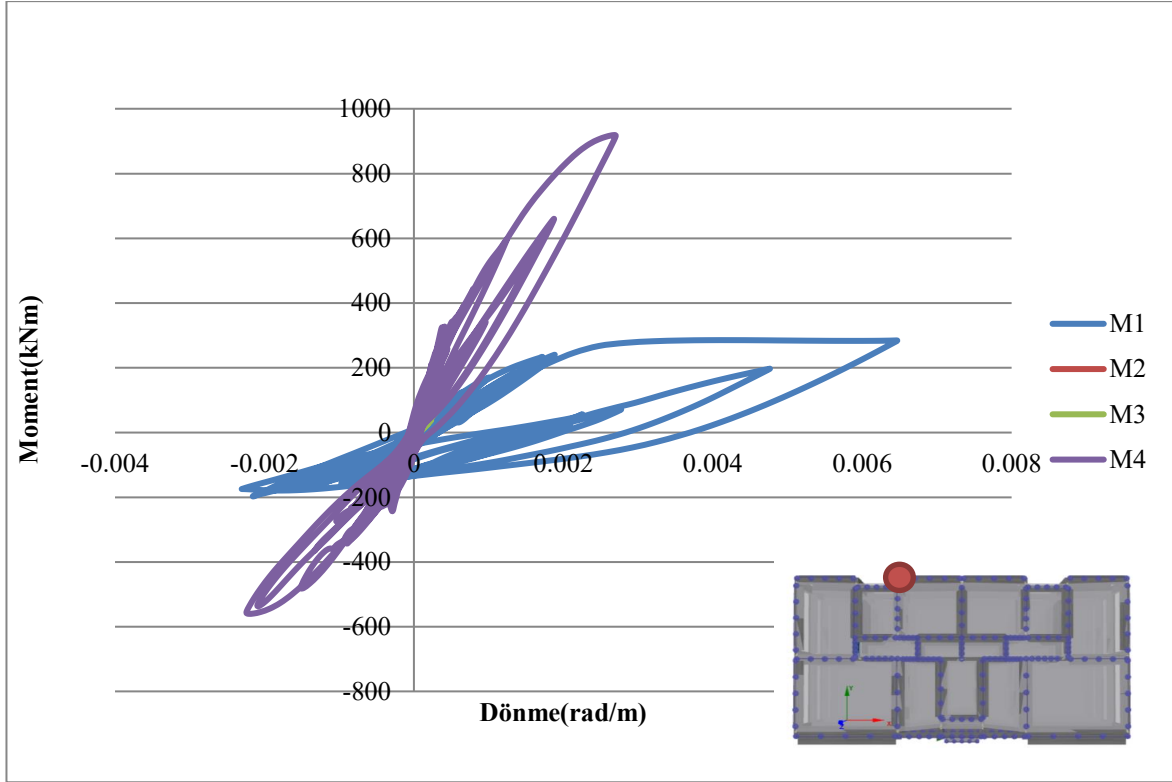
Şekil 7.138: Kısa doğrultuda (Y) SZ03 numaralı kolonun D2 deprem kaydı ile yapılan analizin moment-dönme grafiği.

Şekil 7.138’de, SZ03 numaralı kolonun kısa doğrultuda (Y) D2 deprem kaydı ile yapılan analizinde moment-dönme grafiği sunulmuştur. Grafikte M1 modeli, negatif yönde yüksek moment kapasitesi (-160,62 kNm) ve belirgin bir dönme (0,00132 rad/m) sergileyerek tüm modeller arasında kolonun göçme riski taşıdığını göstermiştir. M4 modeli ise en yüksek moment talebine (334,50 kNm) ulaşmış ve dönme kapasitesi sınırlı kalmıştır. M2 ve M3 modelleri ise daha düşük moment ve dönme talepleri almış, histeretik çevrimleri dar ve merkeze yakın kalmıştır. Bu sonuçlara göre, M2 ve M3 modellerinin güçlendirme perdelerinin etkisiyle daha rijit ve sınırlı dönme yaptığını göstermektedir. Şekil 7.139’da, SZ03 numaralı kolonun D2 deprem kaydı ile yapılan analizinde, kat numaralarına göre kesme kuvvetleri aşağıdaki grafikte verilmiştir.



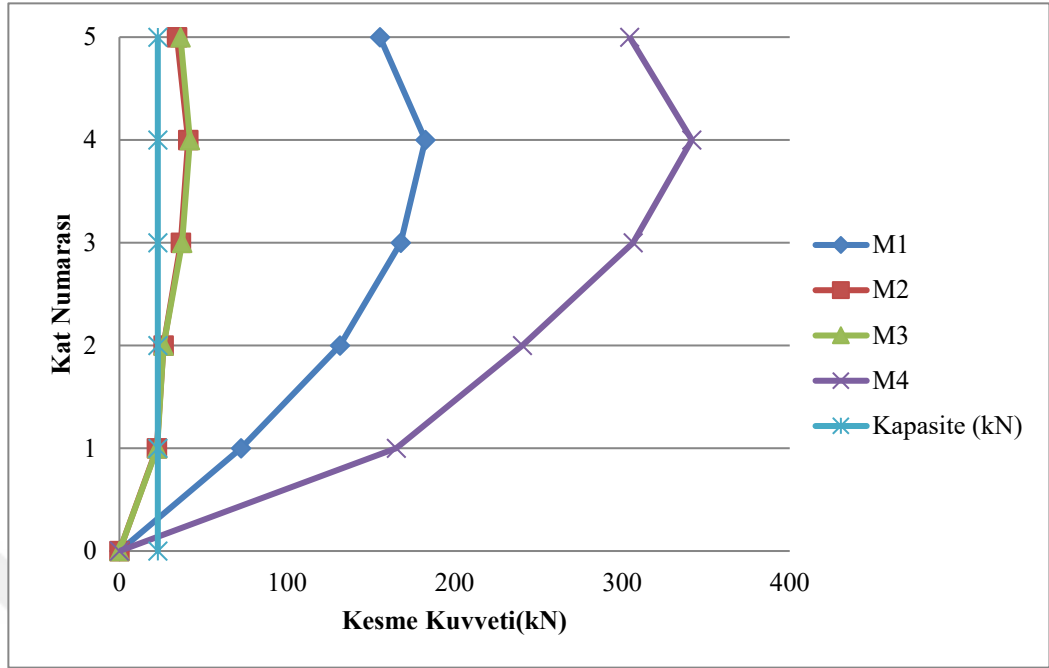
Şekil 7.139: Kısa doğrultuda (Y) SZ03 numaralı kolonun D2 deprem kaydı ile yapılan analizin katlara göre kesme kuvveti grafiği.

Şekil 7.139’da, SZ03 numaralı kolonun D2 deprem kaydı ile yapılan analizinde, kolon kapasitesinin 22,9 kN olduğu belirlenmiştir. Analiz sonuçlarına göre, M1 ve M4 modellerinde maksimum kesme kuvveti 3.katta, M2 ve M3 modellerinde ise 4. katta gerçekleşmiştir. Maksimum kesme kuvvetleri sırasıyla M1 modelinde 57,481 kN, M2 modelinde 35,503 kN, M3 modelinde 35,461 kN ve M4 modelinde ise 94,496 kN olarak bulunmuştur. D2 deprem kaydı analizi, SZ03 kolonunun kesme kuvveti talebinin tüm modellerde kesme kapasitesini aştığını göstermektedir. Özellikle M4 modeli, 94,496 kN ile kapasitenin yaklaşık 4,1 katı olarak en kritik durumu ortaya koymaktadır. M1 modelinde talep, kapasitenin yaklaşık 2,5 katı iken, M2 ve M3 modellerinde yaklaşık 1,55 kat olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar, tüm modellerde kolonun kesme güvenliğinin sağlanamadığını ve tasarımın kesme açısından yetersiz kaldığını göstermektedir. SZ03 numaralı kolonun D3 deprem kaydı ile yapılan analizin moment-dönme grafiği Şekil 7.140’da gösterilmiştir.



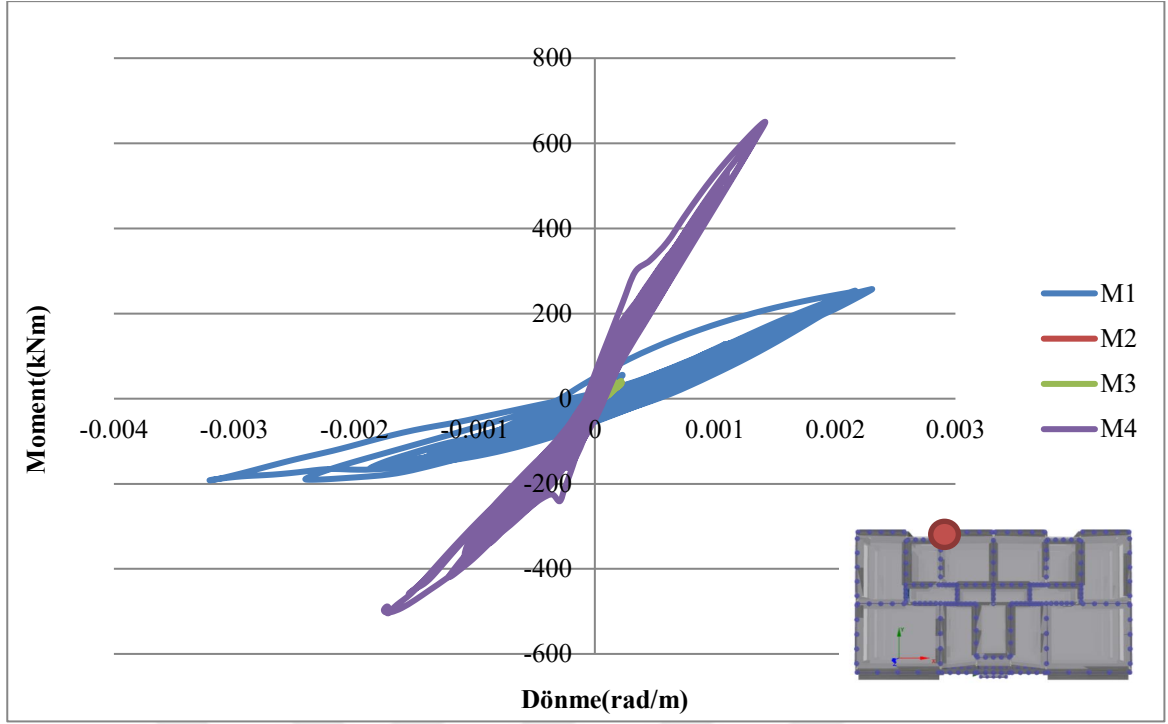
Şekil 7.140:Kısa doğrultuda (Y) SZ03 numaralı kolonun D3 deprem kaydı ile yapılan analizinin moment-dönme grafiği.

Şekil 7.140’da, SZ03 numaralı kolonun D3 deprem kaydı ile yapılan analizinde maksimum moment ve dönme değerleri, modeller bazında şu şekilde elde edilmiştir; M1 modelinde pozitif moment maksimum 285,493 kNm, pozitif dönme maksimum 0,0064684 rad/m, M2 modelinde pozitif moment maksimum 69,720 kNm, pozitif dönme maksimum 0,0003225 rad/m, M3 modelinde pozitif moment maksimum 73,717 kNm, pozitif dönme maksimum 0,0003398 rad/m, M4 modelinde ise pozitif moment maksimum 918,935 kNm, pozitif dönme maksimum 0,0026995 rad/m olarak bulunmuştur. D3 deprem kaydı, SZ03 kolonunun performansını test eden en zorlayıcı kayıt olmuştur. Özellikle M4 modelinde ortaya çıkan 918,935 kNm’lik moment ve M1 modelinde gözlenen 0,0064684 rad/m’lik dönme, kolonun kritik taşıyıcı eleman haline geldiğini ve yüksek hasar riski taşıdığını göstermektedir. Analizler, M4 modelinde mantolama ile güçlendirme yapılmasına rağmen kolonun dayanım ve sünekliğinin ciddi manada sorgulanması gerektiğini, M2 ve M3 modellerinde ise kolonun daha güvenli bir performans sergilediğini ortaya koymaktadır. SZ03 numaralı kolonun D3 deprem kaydı ile yapılan analizinde, kat numaralarına göre kesme kuvvetleri Şekil 7.141’de gösterilmiştir.



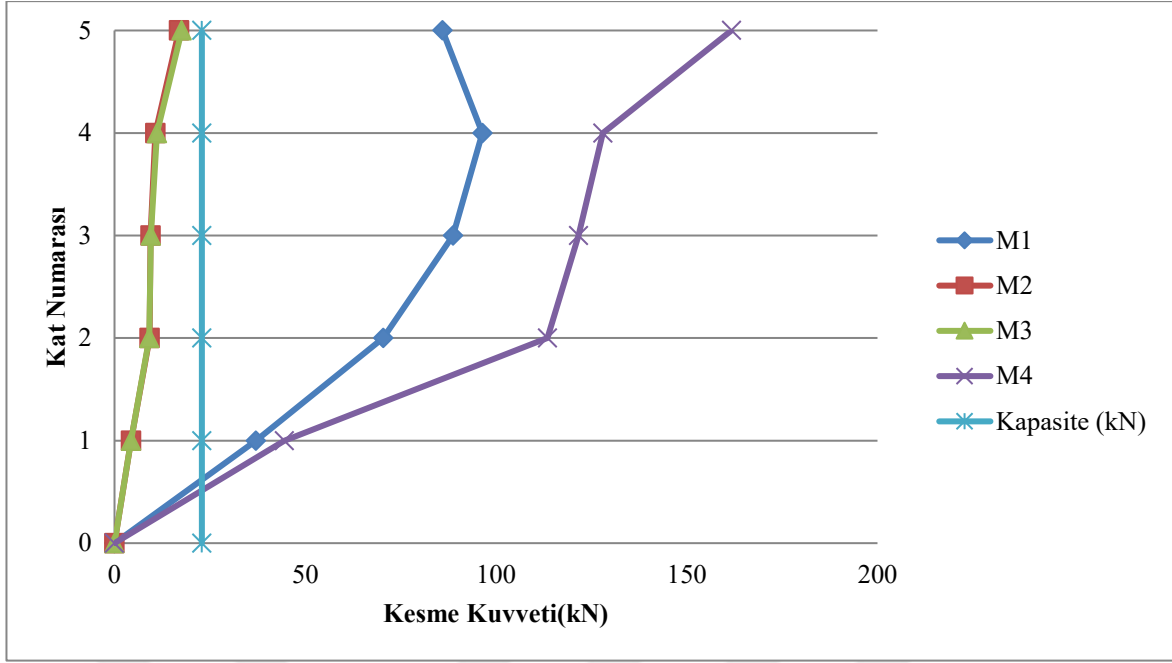
Şekil 7.141: Kısa doğrultuda (Y) SZ03 numaralı kolonun D3 deprem kaydı ile yapılan analizin katlara göre kesme kuvveti grafiği.

Şekil 7.141’de, SZ03 numaralı kolonun kesme kapasitesi 22,9 kN olarak hesaplanmıştır. D3 deprem kaydı ile yapılan analizde, tüm modellerde maksimum kesme kuvveti 4.katta meydana gelmiştir. Maksimum kesme kuvvetleri sırasıyla M1 modelinde 182,525 kN, M2 modelinde 41,009 kN, M3 modelinde 42,065 kN, M4 modelinde ise 341,586 kN olarak hesaplanmıştır. Analiz sonuçları, M4 modelinde kesme talebinin kapasitenin yaklaşık 14,9 katı olduğunu göstermekte ve dış kolonların mantolanmasına rağmen kolonun gevrek kesme göçmesi riskinin son derece yüksek olduğunu ortaya koymaktadır. M1 modelinde talep kapasitenin yaklaşık 7,97 katı olup, kabul edilemez bir yetersizlik sergilemektedir. M2 ve M3 modellerinde talep kapasitenin yaklaşık 1,8 katı olup, bu modellerde yetersizlik oranı daha düşük olsa da kolonun gevrek göçme riski devam etmektedir. SZ03 numaralı kolonun D4 deprem kaydı ile yapılan analizin moment-dönme grafiği Şekil 7.142’de gösterilmiştir.



Şekil 7.142: Kısa doğrultuda (Y) SZ03 numaralı kolonun D4 deprem kaydı ile yapılan analizin moment-dönme grafiği.

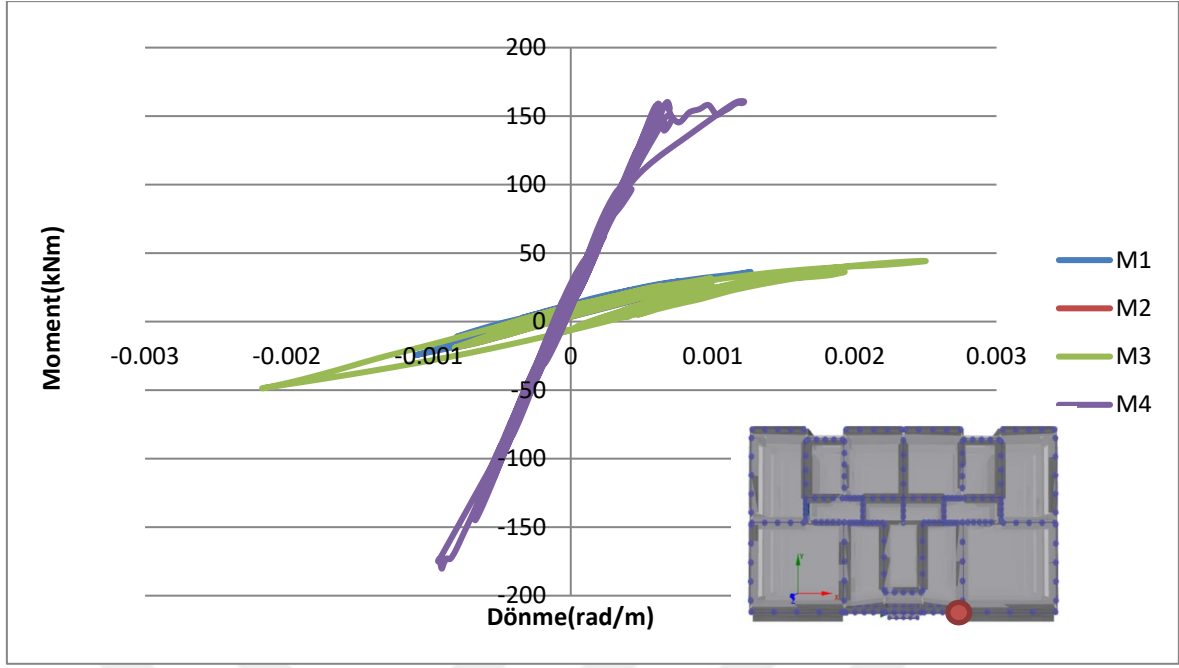
Şekil 7.142’de, SZ03 numaralı kolonun D4 deprem kaydı ile yapılan analizde maksimum moment ve dönme değerleri modeller bazında şu şekilde elde edilmiştir; M1 modelinde pozitif moment maksimum 257,563 kNm, negatif dönme maksimum -0,003206 rad/m, M2 modelinde negatif moment maksimum -40,696 kNm, pozitif dönme ise maksimum 0,000224 rad/m, M3 modelinde pozitif moment maksimum 41,718 kNm, pozitif dönme maksimum 0,000225 rad/m ve M4 modelinde ise pozitif moment maksimum 650,485 kNm, negatif dönme maksimum -0,001755 rad/m. Analizler, SZ03 kolonunun performansının güçlendirme alternatiflerine göre keskin farklılıklar gösterdiğini ortaya koymaktadır. M4 modeli en yüksek moment talebini alırken, M1 modeli en büyük şekil değiştirme talebine sahiptir. Her iki modelde de, M4 manto ile güçlendirilmiş olmasına rağmen kolon, moment kapasitesi ve süneklik sınırları açısından kritik durumdadır ve ciddi hasar riski taşımaktadır. Buna karşılık, M2 ve M3 modelleri kolonun yapısal hasar açısından güvenli bir performans sergilemesini sağlamıştır. Şekil 7.143, SZ03 numaralı kolonun D4 deprem kaydı ile yapılan analizinde kat numaralarına göre kesme kuvveti dağılımını göstermektedir.



Şekil 7.143: Kısa doğrultuda (Y) SZ03 numaralı kolonun D4 deprem kaydı ile yapılan analiz katlara göre kesme kuvveti grafiği.

Şekil 7.143’de, SZ03 numaralı kolonun D4 deprem kaydı ile yapılan analizde kesme kapasitesi 22,9 kN olarak belirlenmiştir. Maksimum kesme kuvvetleri ve kat dağılımları modeller bazında şu şekilde elde edilmiştir; M1 modeli 4.katta 96,424 kN (kapasitenin ~4,21 katı), M2 modeli 5. katta 16,905 kN (kapasitenin altında), M3 modeli 5. katta 17,625 kN (kapasitenin altında), M4 modeli ise 5. katta 161,713 kN (kapasitenin ~7,06 katı). Analiz sonuçları, M2 ve M3 modellerinde SZ03 kolonunun kesme kapasitesini aşmadığını ve gevrek kesme hasarı riskinin bulunmadığını göstermektedir. Buna karşılık, M1 ve M4 modellerinde kolonun kesme kapasitesinin önemli ölçüde aşıldığı, dolayısıyla yüksek gevrek göçme riski taşıdığı anlaşılmaktadır.

Şimdiye kadar yapılan analizler SZ03 numaralı kolon için gerçekleştirilmiştir. Bundan sonraki bölümde, SZ18 numaralı kolon için D1 deprem kaydı ile yapılan analize ait moment–dönme grafiği Şekil 7.144’de sunulmuştur.

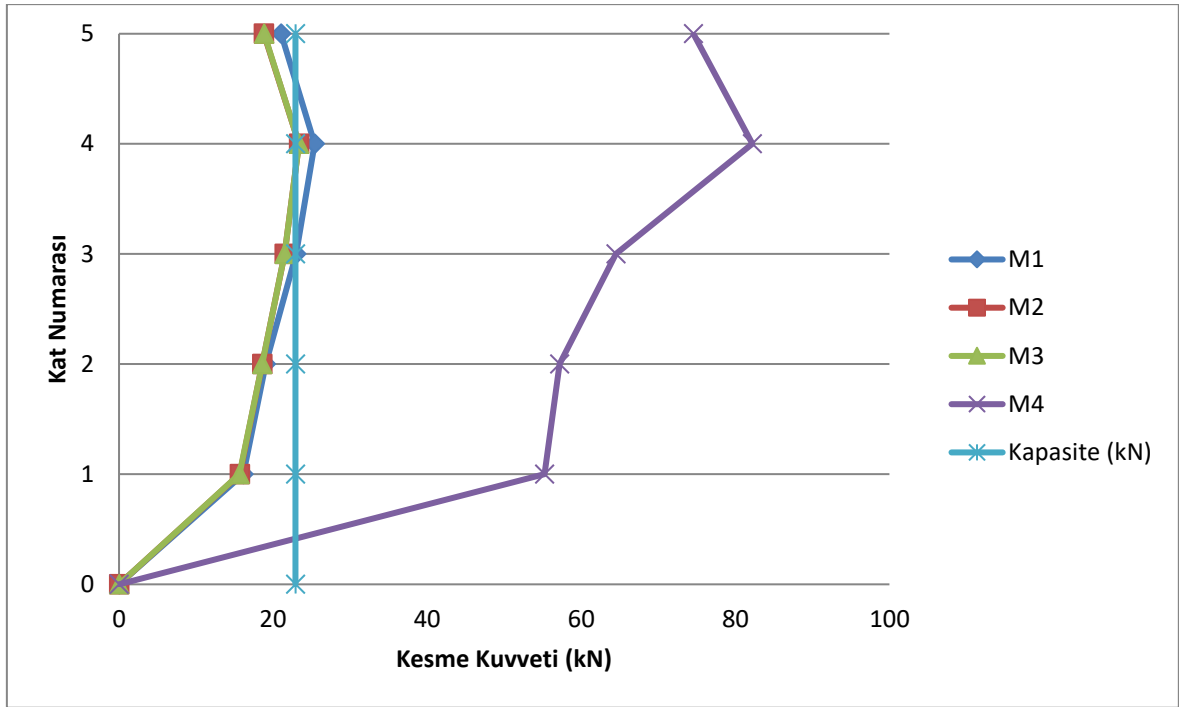


Şekil 7.144: Kısa doğrultuda (Y) SZ18 numaralı kolonun D1 kaydı ile moment-dönme grafiği.

Şekil 7.144’de, SZ18 numaralı kolonun D1 deprem kaydı ile yapılan analizi sonucunda elde edilen moment-dönme ilişkileri sunulmuştur. Buna göre, yapısal sistemin M1 modelinde pozitif yönde maksimum 8,26 kNm moment ve 0,00126838 rad/m dönme; M2 modelinde pozitif yönde maksimum 31,49 kNm moment ve 0,000979 rad/m dönme; M3 modelinde negatif yönde maksimum -48,68 kNm moment ve pozitif yönde maksimum 0,00250186 rad/m dönme; M4 modelinde ise negatif yönde maksimum -180,2542 kNm moment ve pozitif yönde maksimum 0,0012201 rad/m dönme değerlerinin meydana geldiği görülmektedir.

Grafikler incelendiğinde, kolonun deprem etkisi altında doğrusal olmayan bir davranış sergilediği; artan dönme talepleriyle birlikte moment kapasitesine ulaşıldıktan sonra rijitliğin azaldığı anlaşılmaktadır.

Şekil 7.145’te, SZ18 numaralı kolonun D1 deprem kaydı altında, kat numaralarına göre elde edilen kesme kuvvetleri sunulmuştur.

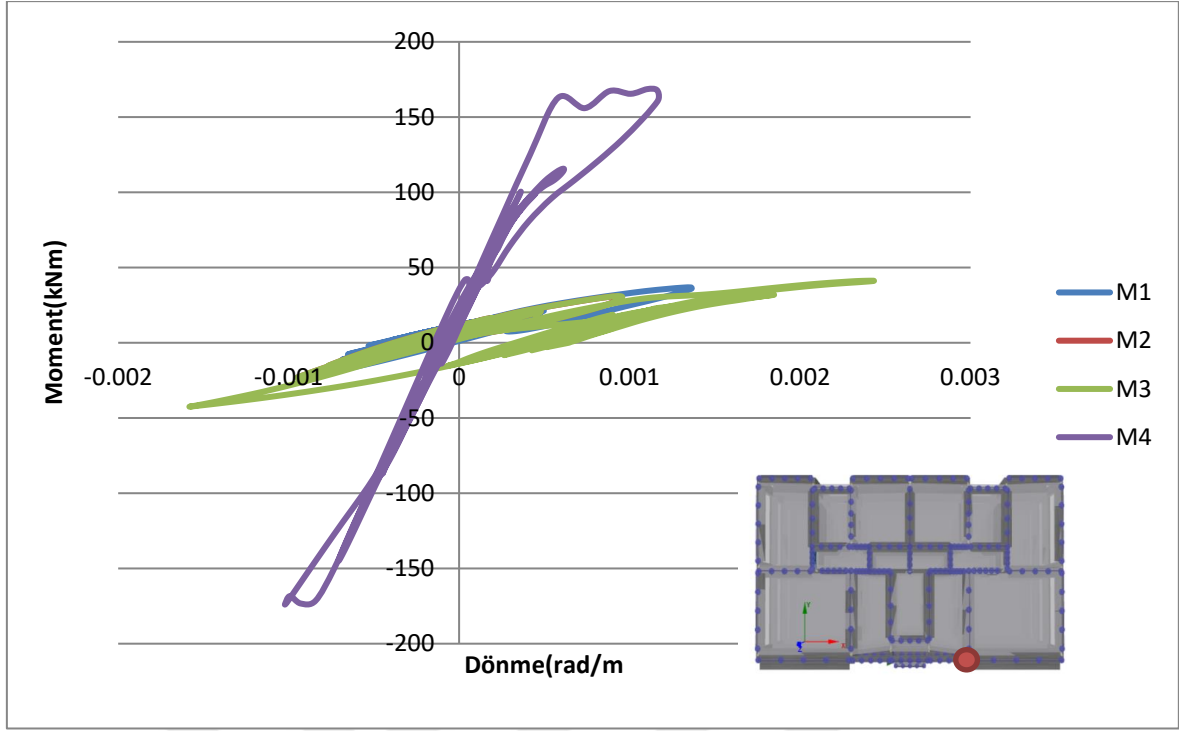


Şekil 7.145: Kısa doğrultuda (Y) SZ18 numaralı kolonun D1 kaydı ile katlara göre kesme kuvveti grafiği.

Şekil 7.145'te, D1 deprem kaydı ile yapılan analiz sonucunda, SZ18 numaralı kolonun kapasite değerinin 22,9 kN olarak hesaplandığı görülmektedir. Bu kapsamda, M1 modelinde 4. kat maksimum kesme kuvveti 25,39 kN, M2 modelinde 23,36 kN, M3 modelinde 23,36 kN ve M4 modelinde ise 82,21 kN olarak elde edilmiştir.

Kısa doğrultuda (Y doğrultusu) SZ18 numaralı kolonun D1 analizine ait katlara göre kesme kuvveti dağılımı incelendiğinde, kesme kuvveti değerlerinin üst katlara doğru azaldığı görülmektedir. Alt katlarda oluşan kesme kuvvetlerinin daha yüksek olması, deprem yüklerinin önemli bir bölümünün alt katlarda toplandığını göstermektedir. Bu durum, yapı davranışı açısından alt katların daha kritik olduğunu ve kesme kuvveti bakımından kritik bölgelerin bu katlarda oluşabileceğini ifade etmektedir.

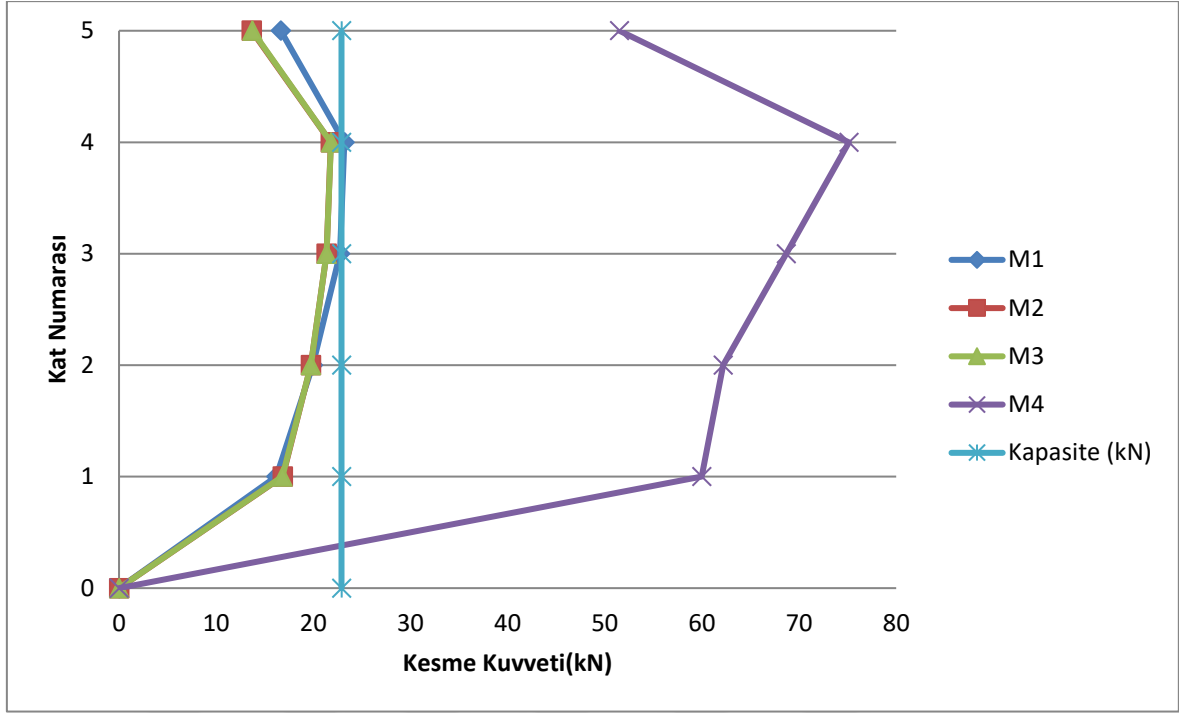
SZ18 numaralı kolon için D2 sismik kaydı ile yapılan dinamik analiz sonucunda elde edilen moment–dönme grafiği Şekil 7.146'da sunulmuştur.



Şekil 7.146: SZ18 numaralı kolonun D2 kaydı ile elde edilen moment-dönme grafiği.

Şekil 7.146’da, SZ18 numaralı kolonun D2 deprem kaydı ile yapılan analizi sonucunda elde edilen moment–dönme ilişkileri sunulmuştur. Buna göre, yapısal sistemin M1 modelinde pozitif yönde maksimum 36,78 kNm moment ve 0,00136384 rad/m dönme; M2 modelinde pozitif yönde maksimum 30,86 kNm moment ve 0,00094584 rad/m dönme; M3 modelinde negatif yönde maksimum –42,5074 kNm moment ve pozitif yönde maksimum 0,00243436 rad/m dönme; M4 modelinde ise negatif yönde maksimum –174,0678 kNm moment ve pozitif yönde maksimum 0,00117121 rad/m dönme değerlerinin meydana geldiği görülmektedir.

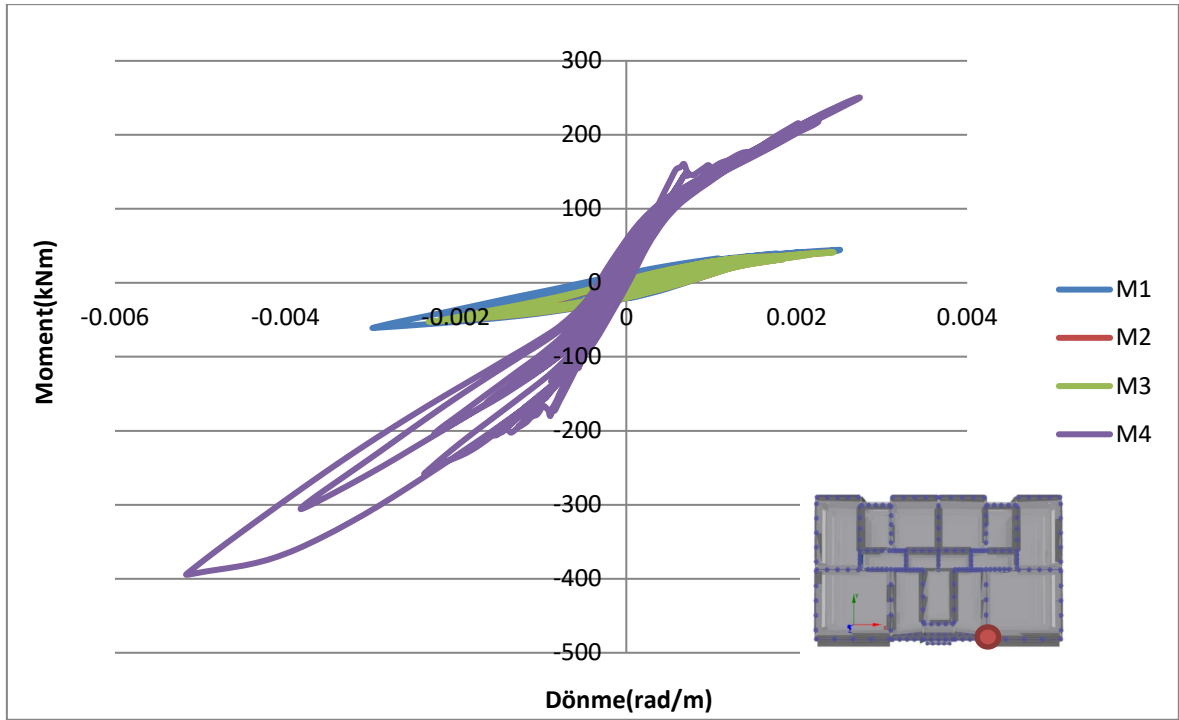
SZ18 numaralı kolonun D2 deprem kaydı ile elde edilen moment–dönme grafiği incelendiğinde, kolonun plastik mafsallık bölgesinde moment kapasitesine ulaştığı, bu noktadan sonra dönme artmasına rağmen moment değerinde belirgin bir artış olmadığı gözlemlenmiştir. Bu durum, elemanın sünek davranış sergilediğini ve enerji sönmeme kapasitesinin yeterli düzeyde olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca eğrinin genel formu, kolonun doğrusal olmayan davranışını ve deprem etkisi altında rijitliğin azaldığını göstermektedir. Şekil 7.147’de, SZ18 numaralı kolonun D2 deprem kaydı ile yapılan analiz sonucunda, kat numaralarına göre elde edilen kesme kuvvetleri sunulmuştur.



Şekil 7.147: SZ18 numaralı kolonun D2 kaydı ile katlara göre kesme kuvveti grafiği.

Şekil 7.147’de, D2 deprem kaydı ile yapılan analiz sonucunda, SZ18 numaralı kolonun kapasite değerinin 22,9 kN olarak hesaplandığı görülmektedir. Bu kapsamda, M1 modelinde 4. kat maksimum kesme kuvveti 23,19 kN, M2 modelinde 21,80 kN, M3 modelinde 21,82 kN ve M4 modelinde ise 75,13 kN olarak elde edilmiştir.

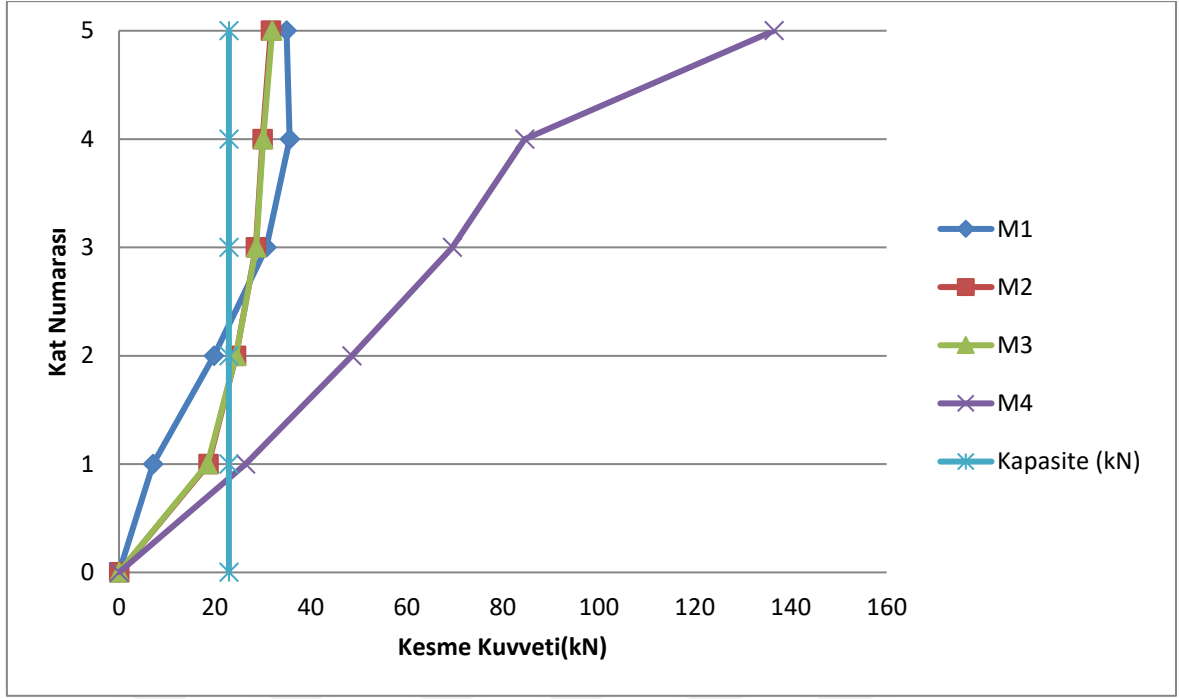
Grafik incelendiğinde, alt katlarda oluşan kesme kuvveti değerlerinin üst katlara kıyasla daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum, deprem yüklerinin önemli bir bölümünün alt katlarda toplandığını ve bu bölgelerde kesme kuvveti etkilerinin daha belirgin hale geldiğini göstermektedir. SZ18 numaralı kolon için D3 deprem kaydı ile yapılan analize ait moment–dönme grafiği Şekil 7.148’de sunulmuştur.



Şekil 7.148:Kısa doğrultuda (Y) SZ18 numaralı kolonun D3 deprem kaydı ile yapılan analizin moment-dönme grafiği.

Şekil 7.148’de, SZ18 numaralı kolonun D3 deprem kaydı ile yapılan analizi sonucunda elde edilen moment–dönme ilişkileri sunulmuştur. Buna göre, yapısal sistemin M1 modelinde negatif yönde maksimum –61,13178 kNm moment ve –0,00297947 rad/m dönme; M2 modelinde negatif yönde maksimum –51,9819 kNm moment ve pozitif yönde maksimum 0,00239998 rad/m dönme; M3 modelinde negatif yönde maksimum –52,5409 kNm moment ve pozitif yönde maksimum 0,00243436 rad/m dönme; M4 modelinde ise negatif yönde maksimum –394,522 kNm moment ve –0,00516654 rad/m dönme değerlerinin meydana geldiği görülmektedir.

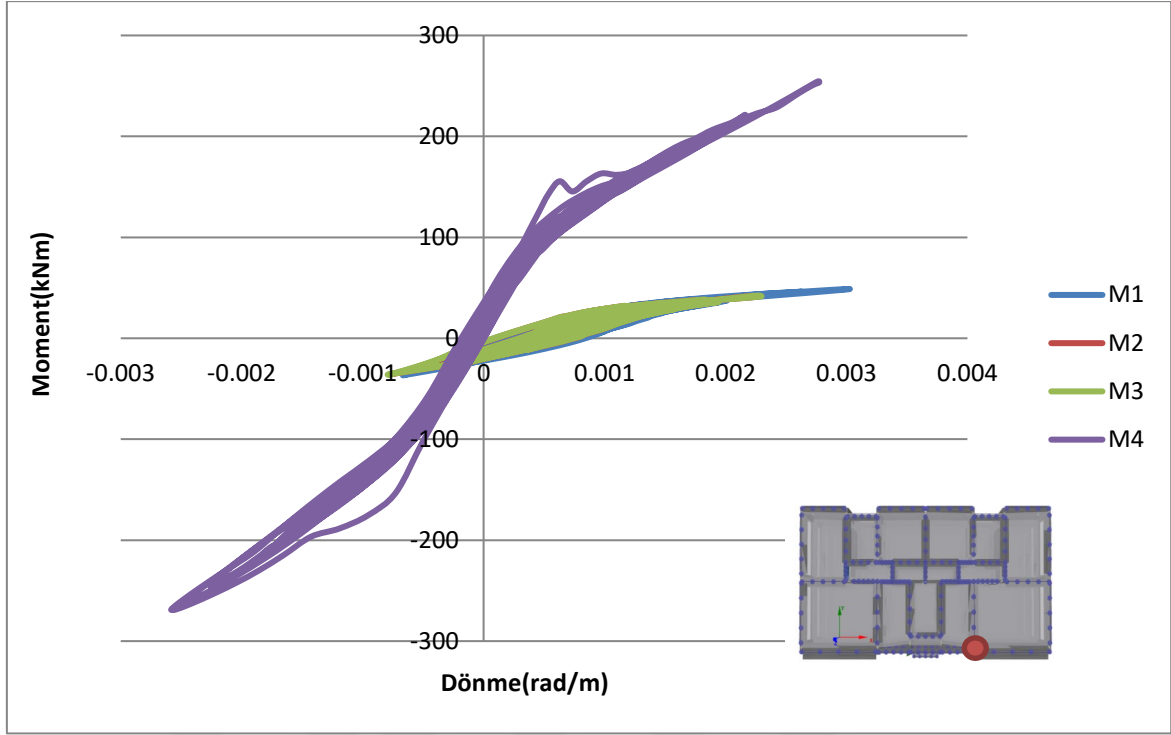
D3 deprem kaydı ile yapılan analize ait moment–dönme grafiği incelendiğinde, kolonun artan dönme talepleri ile birlikte moment kapasitesine ulaştığı, bu noktadan sonra rijitliğinde belirgin bir azalma meydana geldiği anlaşılmaktadır. Eğrinin genel formu, elemanın plastik mafsallık bölgesinde sünek bir davranış sergilediğini ve enerji tüketme kapasitesinin yüksek olduğunu göstermektedir. Özellikle M4 modeline ait eğrinin, yüksek süneklik ve etkin enerji sönümlerme performansı sergilediği görülmektedir. Ayrıca, kesitin maksimum dönme talepleri altında dahi önemli bir moment taşıma kapasitesini koruduğu sonucuna ulaşılmıştır. Şekil 7.149’da, SZ18 numaralı kolonun D3 deprem kaydı ile yapılan analiz sonucunda, kat numaralarına göre elde edilen kesme kuvvetleri sunulmuştur.



Şekil 7.149: Kısa doğrultuda (Y) SZ18 numaralı kolonun D3 deprem kaydı ile yapılan analizin katlara göre kesme kuvveti grafiği.

Şekil 7.149’da, D3 deprem kaydı ile yapılan analiz sonucunda, SZ18 numaralı kolonun kapasite değerinin 22,9 kN olarak hesaplandığı görülmektedir. Bu kapsamda, M1 modelinde 4. kat maksimum kesme kuvveti 35,56 kN, M2, M3 ve M4 modellerinde ise 5. kat kesme kuvvetleri sırasıyla 31,64 kN, 31,94 kN ve 136,51 kN olarak elde edilmiştir.

Analiz sonuçları, özellikle M4 modeli ile temsil edilen durumda, SZ18 numaralı kolonun üst katlarında belirgin bir kesme kuvveti yetersizliği bulunduğunu açıkça ortaya koymaktadır. Kolonun eğilme moment kapasitesi yüksek olmasına rağmen, katlar bazında oluşan kesme taleplerinin kapasite değerlerini aşması, elemanın sismik performansını gevrek kesme geçmesi riski altına sokmaktadır. Bu durum, kolon davranışında eğilme kontrollü sünek mekanizma yerine kesme kontrollü gevrek bir mekanizmanın oluşabileceğine işaret etmektedir. SZ18 numaralı kolon için D4 deprem kaydı ile yapılan analize ait moment–dönme grafiği Şekil 7.150’de sunulmuştur.



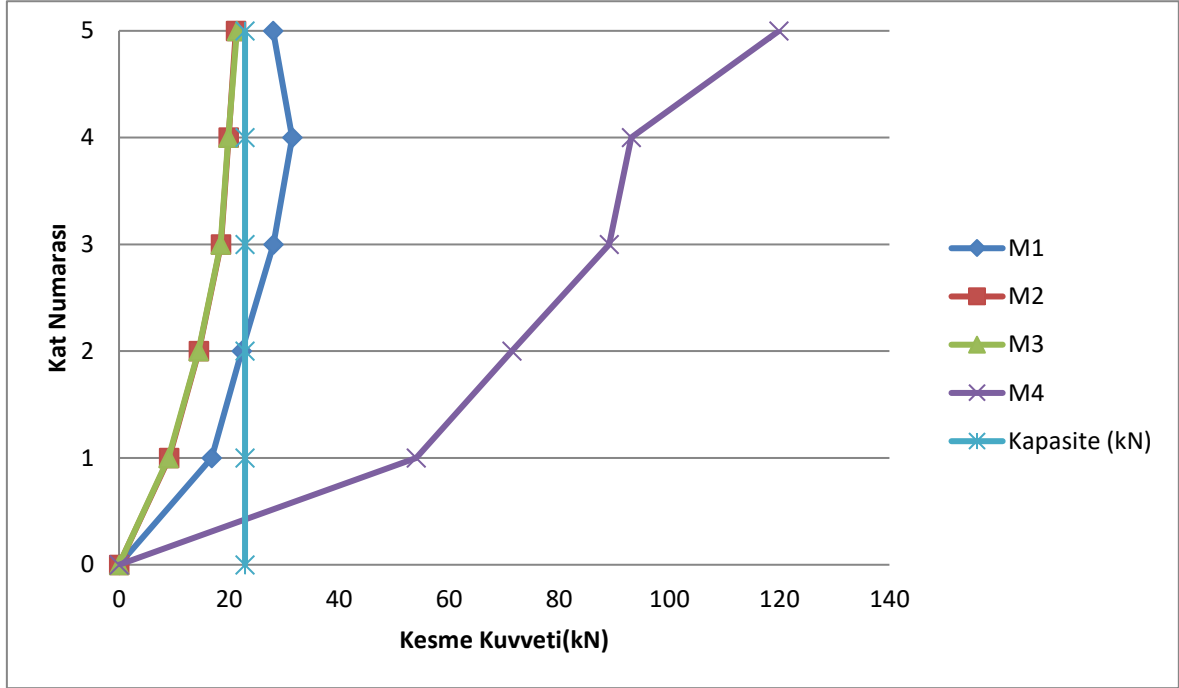
Şekil 7.150: Kısa doğrultuda(Y) SZ18 numaralı kolonun D4 deprem kaydı ile yapılan analizin moment-dönme grafiği.

Şekil 7.150’de, SZ18 numaralı kolonun D4 deprem kaydı ile yapılan analizi sonucunda elde edilen moment-dönme ilişkileri sunulmuştur. Buna göre, yapısal sistemin M1 modelinde pozitif yönde maksimum 48,86 kNm moment ve 0,00302825 rad/m dönme; M2 modelinde pozitif yönde maksimum 41,87 kNm moment ve 0,00226157 rad/m dönme; M3 modelinde pozitif yönde maksimum 42,29 kNm moment ve 0,00229761 rad/m dönme; M4 modelinde ise negatif yönde maksimum -269,05 kNm moment ve -0,00277504 rad/m dönme değerlerinin meydana geldiği görülmektedir.

M1, M2 ve M3 modellerinin, yaklaşık 42–49 kNm aralığında nispeten düşük moment kapasiteleri sergilediği; bu durumun, söz konusu modellere ait eğrilerin pozitif bölgede yatay eksene yakın ve düşük moment seviyelerinde sonlanması ile teyit edildiği anlaşılmaktadır. M1 modelinin, bu grup içerisinde 0,00302825 rad/m ile en büyük dönme talebine ulaştığı belirlenmiştir. M4 modeline ait eğrinin ise negatif moment bölgesinde yaklaşık -270 kNm seviyesine ulaşması, grafikte uyumlu bir davranış sergilediğini göstermektedir. Bu moment ve dönme düzeyleri, kolon kesitinde donatının akmaya başladığını ve plastik mafsall oluşumunun gerçekleştiğini ortaya koymaktadır.

D4 deprem kaydı ile yapılan analiz sonuçları, SZ18 numaralı kolonun sünek bir davranış sergilediğini teyit etmektedir. Kolonun nihai moment kapasitesinin yaklaşık 269 kNm seviyesindeki talepleri karşılayabildiği görülmektedir.

Şekil 7.151’de, SZ18 numaralı kolonun D4 deprem kaydı ile yapılan analiz sonucunda, kat numaralarına göre elde edilen kesme kuvvetleri sunulmuştur.



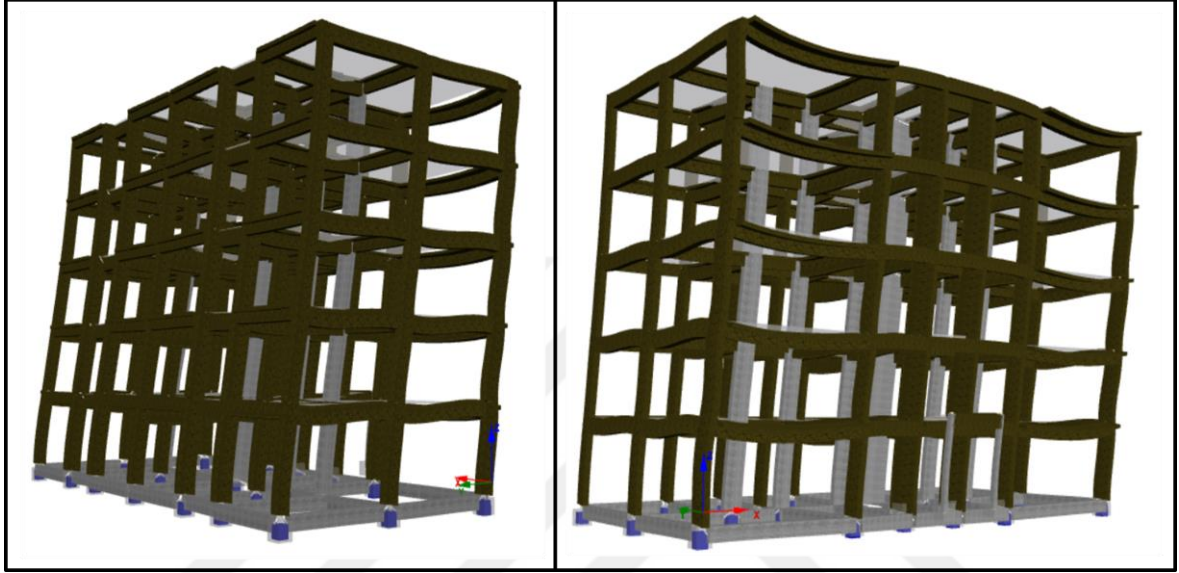
Şekil 7.151: Kısa doğrultuda (Y) SZ18 numaralı kolonun D4 deprem kaydı ile yapılan analizin katlara göre kesme kuvveti grafiğı.

Şekil 7.151’de, D4 deprem kaydı ile yapılan analiz sonucunda, SZ18 numaralı kolonun kesme kapasite değeri 22,9 kN olarak hesaplandığı görülmektedir. Bu kapsamda, M1 modelinde 4. kat maksimum kesme kuvveti 31,46 kN, M2, M3 ve M4 modellerinde ise 5. kat kesme kuvvetleri sırasıyla 21,23 kN, 21,42 kN ve 119,93 kN olarak elde edilmiştir.

M1 modelinde 4. katta hesaplanan 31,46 kN’luk kesme talebinin, 22,9 kN olan kapasiteyi yaklaşık %37,4 oranında aştığı görülmektedir. Buna karşılık, M2 (21,23 kN) ve M3 (21,42 kN) modellerinde 5. katta oluşan maksimum kesme taleplerinin, kapasite değeri altında kaldığı ve bu modellerde kolonun kesmeye karşı yeterli güvenliğe sahip olduğu anlaşılmaktadır. M4 modelinde ise 5. katta hesaplanan 119,93 kN’luk maksimum kesme kuvvetinin, 22,9 kN olan kapasiteyi yaklaşık 5,2 kat (yaklaşık %424) oranında aştığı görülmektedir. Ayrıca M4 modeline ait eğrinin, kapasite çizgisinden oldukça

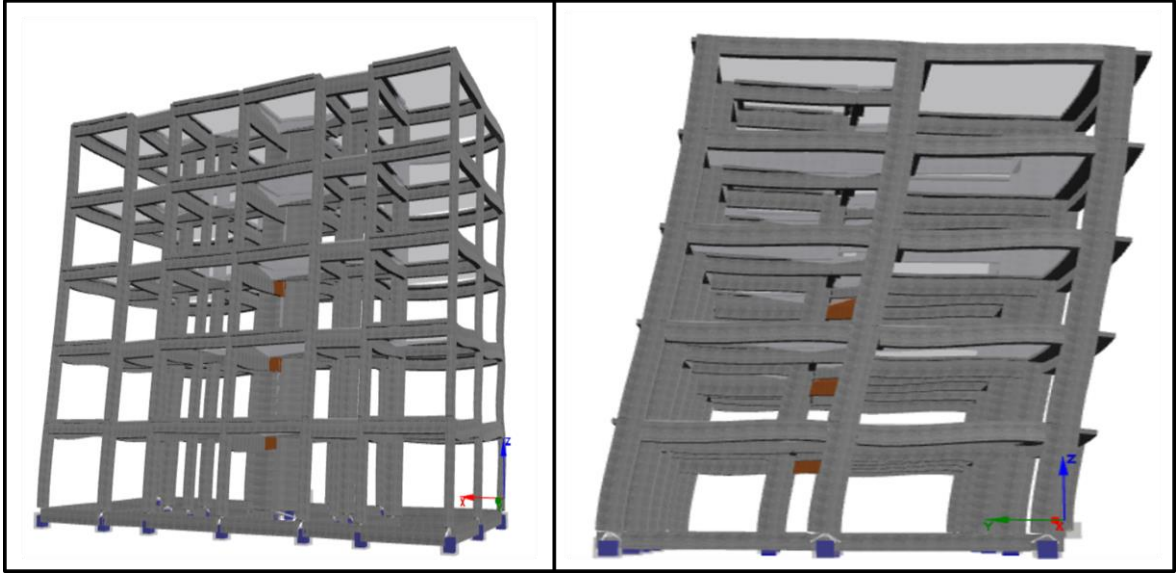
uzaklaşarak 5. katta 120 kN seviyesine ulaşması, kolonun belirgin bir kesme göçmesi riski altında olduğunu açıkça ortaya koymaktadır.

Ayrıca, kısa doğrultuda (Y) M1 modelinin D1 deprem kaydı ile yapılan analizinde, 21,07 saniyede yapısal sistemin son katında maksimum deplasman değeri 2,4 cm olarak elde edilmiştir. Analiz sonucunda, koda dayalı kontrollerde kesme kapasitesi yetersizliği belirlenen elemanlar Şekil 7.152’de gösterilmiştir.



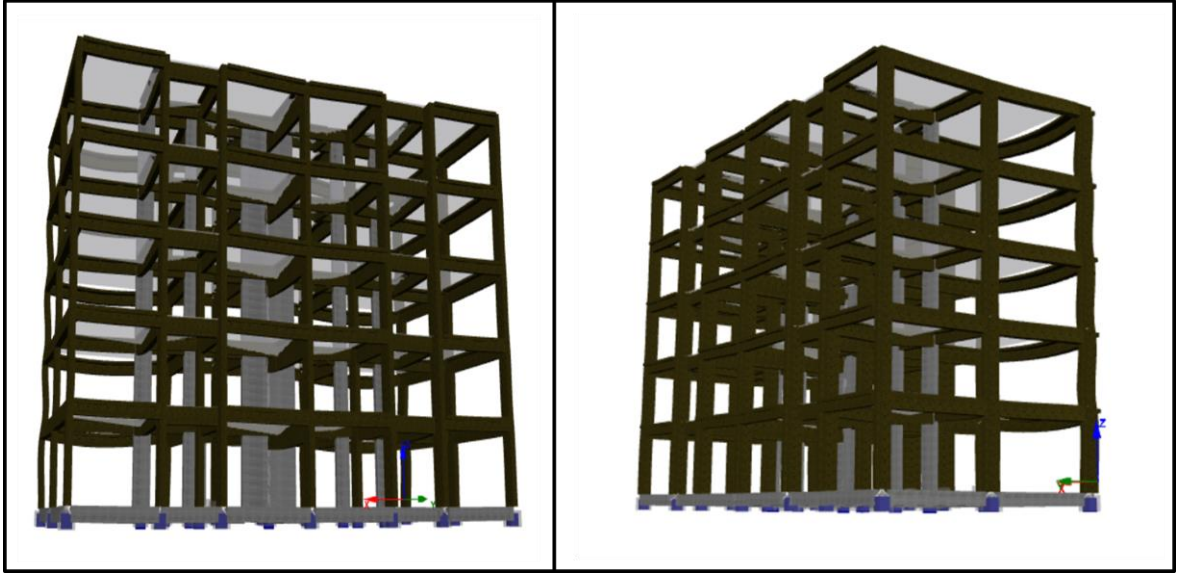
Şekil 7.152: M1 modelinin D1 deprem kaydı ile yapılan analizde kısa doğrultuda (Y) kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.

Şekil 7.152’de, M1 modelinin D1 deprem kaydı ile yapılan kısa doğrultuda (Y) doğrusal olmayan analiz sonucunda, maksimum deplasman anında kesme kapasitesi yetersizliği tespit edilen elemanlar tüm katlardaki perde duvarlarda ve bazı taşıyıcı elemanlarda yoğunlaşmıştır. Bu durum, sistemin kısa doğrultuda yeterli rijitlik ve dayanımı sağlayamadığını ve perde duvarların deprem enerjisini sönümleme kapasitesinin sınırlı kaldığını göstermektedir. Koda dayalı analiz sonuçları, moment-dönme yetersizliğinden kaynaklı ek hasar oluşmadığını ortaya koymuştur. Ayrıca, performans kriterlerine göre yapılan kontrollerde, donatısı akma sınırına ulaşan elemanlar belirlenmiştir. Bu elemanlar Şekil 7.153’de gösterilmiştir.



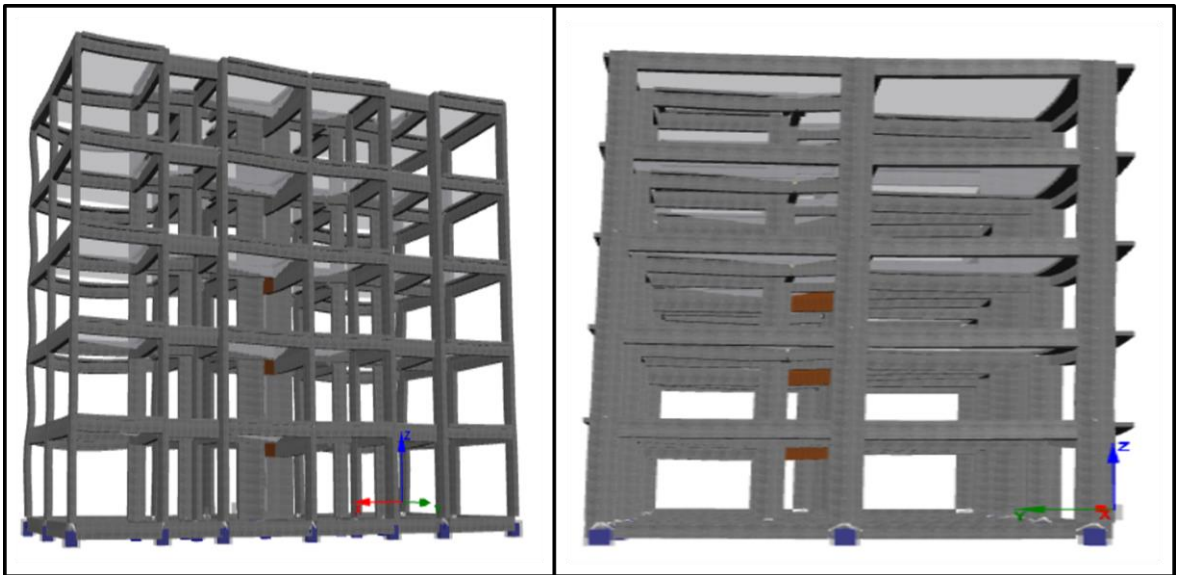
Şekil 7.153: M1 modelinin D1 deprem kaydı ile yapılan analizde kısa doğrultuda (Y) donatısı akan elemanlar.

Şekil 7.153’de, M1 modelinin D1 deprem kaydı ile yapılan kısa doğrultuda (Y) analizinde, maksimum deplasman anında donatısı akmış elemanlar zemin, 1.ve 2. katlarda bulunan perde duvar–kiriş bağlantı bölgelerinde yoğunlaşmıştır. Bu durum, alt kat elemanlarının deprem etkisi altında daha yüksek iç kuvvetlere maruz kaldığını ve plastik mafsallaşmanın bu bölgelerde başladığını göstermektedir. Performans kriterlerine dayalı analizde, sistemde çekirdeği ezilen veya kabuğu atan herhangi bir eleman gözlemlenmemiştir. Ayrıca, kısa doğrultuda (Y) M1 modelinin D2 deprem kaydı ile yapılan analizde, maksimum deplasman 7,03 saniyede son katta 2,2 cm olarak elde edilmiştir. Analiz sonucunda, koda dayalı kontroller kapsamında kesme kapasitesi yetersizliği bulunan elemanlar Şekil 7.154’te gösterilmiştir.



Şekil 7.154: M1 modelinin D2 deprem kaydı ile yapılan analizde kısa doğrultuda (Y) kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.

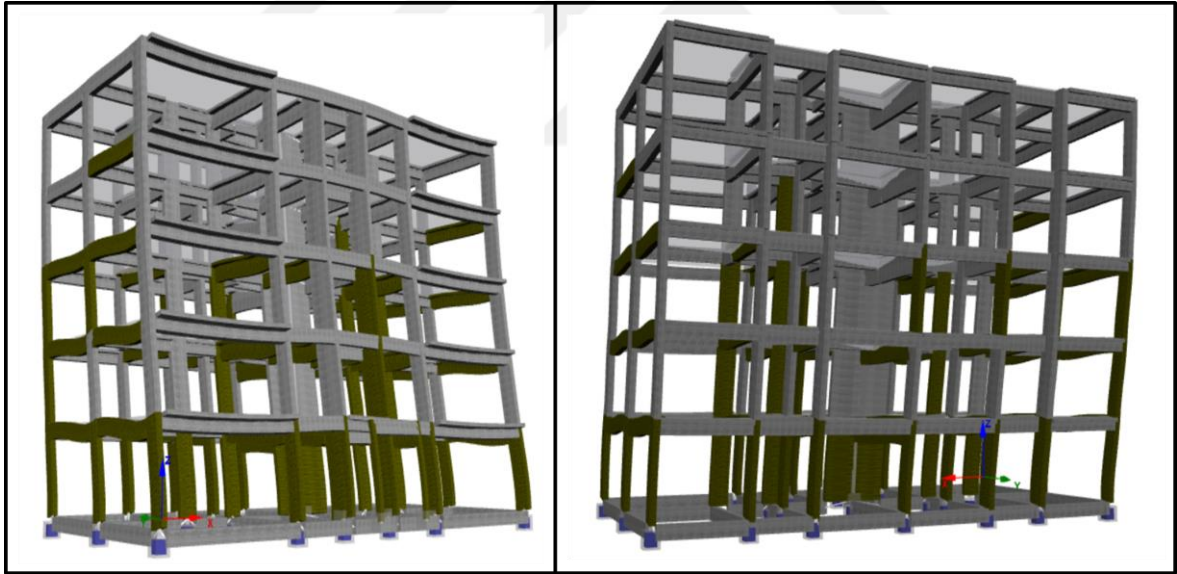
Şekil 7.154’te, M1 modelinin D2 deprem kaydı ile yapılan kısa doğrultuda (Y) analizde, maksimum deplasman anında kesme kapasitesi yetersizliği tespit edilen elemanlar, tüm katlarda perde duvarlar dışında kalan belirli taşıyıcı elemanlarda yoğunlaşmıştır. Bu durum, sistemin kısa doğrultuda yatay yük aktarımında özellikle çerçeve elemanlarının kesme dayanımı açısından zayıf kaldığını ve bu bölgelerde hasar yoğunlaşması meydana geldiğini göstermektedir. Koda dayalı analiz sonucunda moment-dönme yetersizliğinden kaynaklı herhangi bir hasar oluşmamıştır. Ayrıca, performans kriterlerine dayalı kontrollerde donatısı akma sınırına ulaşan elemanlar belirlenmiştir. Bu elemanlar Şekil 7.155’de gösterilmiştir.



Şekil 7.155: M1 modelinin D2 deprem kaydı ile yapılan analizde kısa doğrultuda (Y) donatısı akan elemanlar.

Şekil 7.155’de, D2 deprem kaydı altında M1 modelinin kısa doğrultuda (Y) zaman tanım alanı analizinde, maksimum deplasman anında donatısı akma sınırına ulaşan elemanlar zemin, 1.ve 2. katlarda yoğunlaşmış, özellikle perde duvar-kiriş birleşim bölgelerinde meydana gelmiştir. Bu durum, yüksek eğilme momenti taleplerinin kritik bölgelerde yoğunlaştığını ve yapının deprem enerjisini sönmölemek amacıyla bu bölgelerde plastik mafsall oluşturarak sünek davranış sergilediğini göstermektedir. Performans kriterlerine dayalı analiz sonucunda, sistemde çekirdeği ezilen veya kabuğu atan herhangi bir eleman gözlemlenmemiştir.

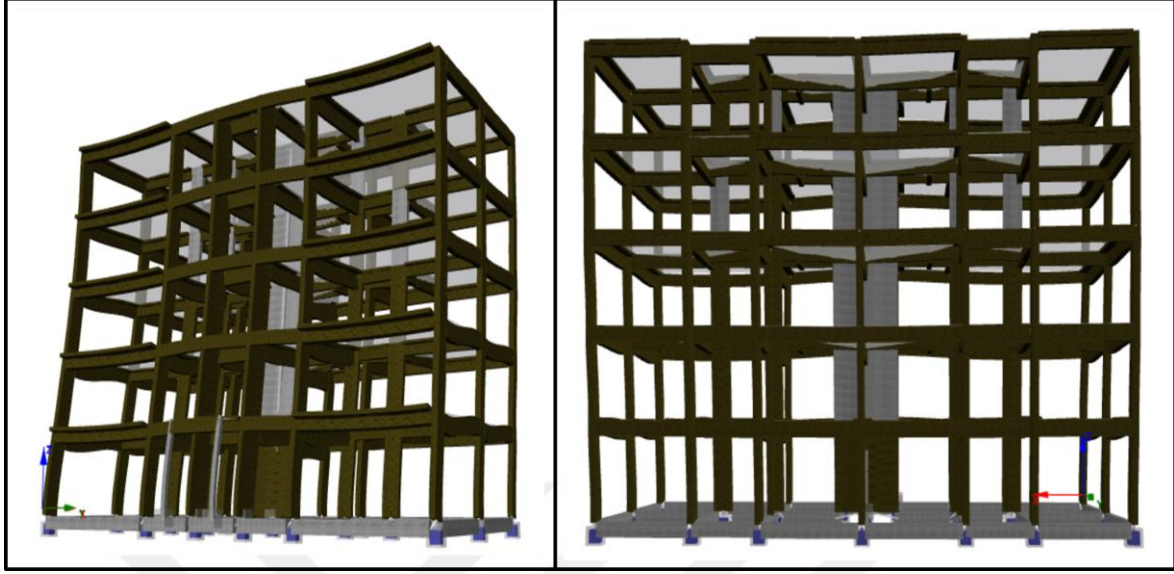
Kısa doğrultuda (Y) M1 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan analizde, 31.saniyede son katta maksimum deplasman 8,9 cm olarak elde edilmiştir. Analiz sonucunda, koda dayalı kontroller kapsamında dönme kapasitesi yetersizliği bulunan elemanlar Şekil 7.156’da gösterilmiştir.



Şekil 7.156: M1 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan analizde kısa doğrultuda (Y) dönme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.

Şekil 7.156’da, M1 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan kısa doğrultuda (Y) analizinde, dönme kapasitesi yetersizliği gösteren elemanlar tespit edilmiştir. Zaman tanım alanı analizi sonucunda, maksimum deplasman anında kritik hasar sınırına ulaşan elemanlar özellikle zemin katta yoğunlaşmış, üst katlara doğru 1., 2. ve 3. katlarda belirli taşıyıcı elemanlarda hasar gözlemlenmiştir. Bu durum, yapısal sistemin D3

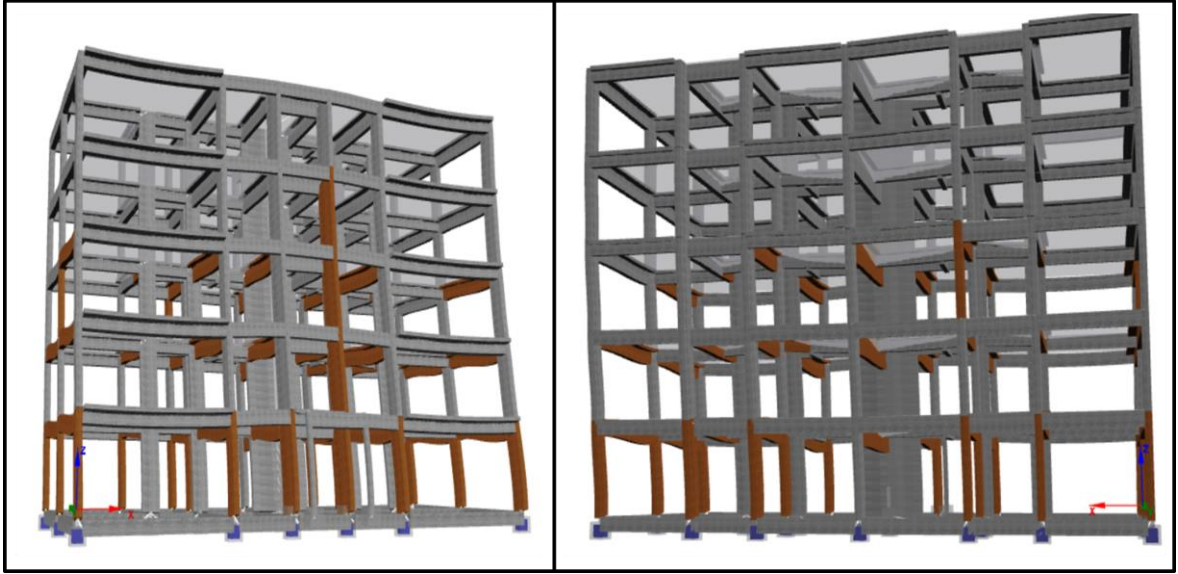
büyükölğündeki deprem etkisi altında yüksek derecede hasar aldığını göstermektedir. Kesme kapasitesi yetersizliğı olan elemanlar Şekil 7.157’de gösterilmiştir.



Şekil 7.157: M1 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan analizde kısa doğrultuda (Y) kesme kapasitesi yetersizliğı olan elemanlar.

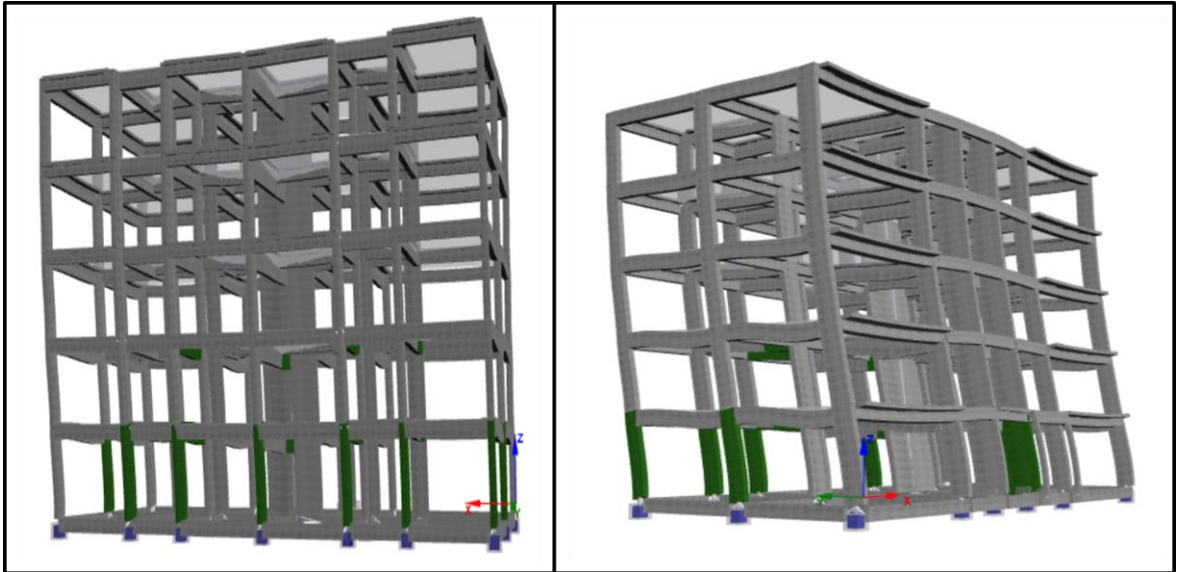
Şekil 7.157’de,M1 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan kısa doğrultuda (Y) analizinde, kesme kapasitesi yetersizliğı gösteren elemanlar tespit edilmiştir.Zaman tanım alanı analizinde, maksimum deplasman anında kesme kapasitesi yetersizliğı olan elemanlar zemin kattaki perde duvarlar ve üst katlarda perde duvarlar dışında kalan belirli taşıyıcı elemanlarda yoğunlaşmıştır.Bu durum, yaygın kesme kapasitesi yetersizliğinin yapının performansında ciddi bir stabiliteproblemi oluşturduğunu, kesme yetersizliğinin ani ve uyarı vermeden gevrek kırılmaya yol açabileceğini göstermektedir.

Aynı analiz ve performans kriterlerine dayalı kontroller sonucunda, M1 modelinde donatısında akma meydana gelen elemanların dağılımı Şekil 7.158'de sunulmuştur.



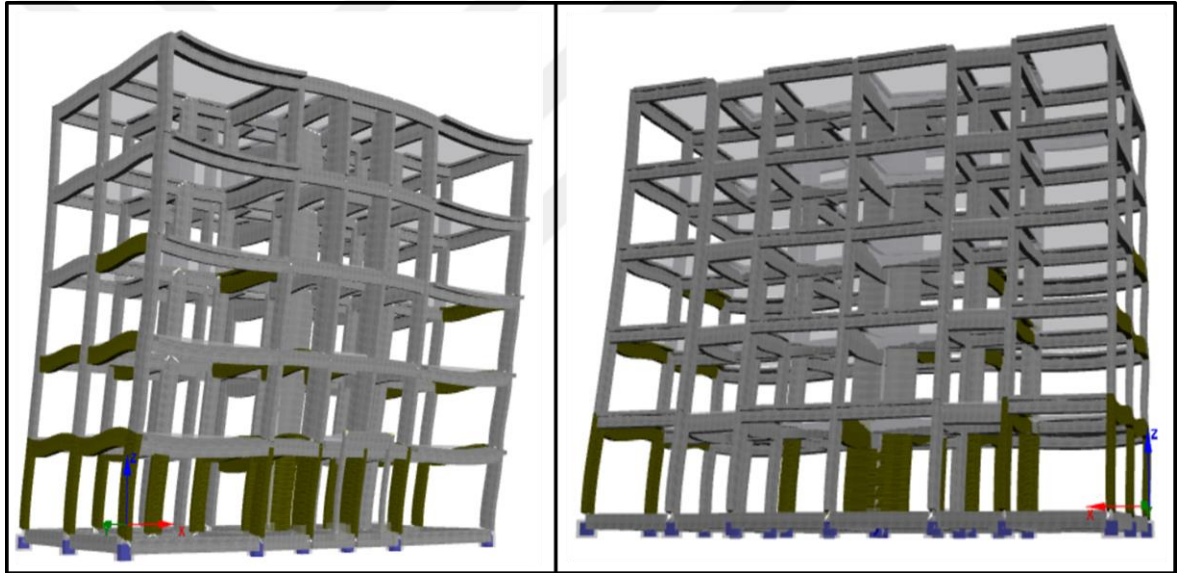
Şekil 7.158: M1 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan analizde kısa doğrultuda (Y) donatısı akan elemanlar.

Şekil 7.158’de, M1 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan kısa doğrultuda (Y) analizinde, donatısı akma sınırına ulaşan elemanlar tespit edilmiştir. Zaman tanım alanı analizinde, maksimum deplasman anında donatısı akmış elemanlar özellikle alt katlarda yoğunlaşmakta, üst katlara doğru azalmaktadır. Bu durum, deprem etkisiyle alt katlarda oluşan yüksek eğilme momentlerini ve bu bölgelerdeki akmanın, yapının deprem enerjisini absorbe ederek sünek davranış sergilediğini göstermektedir. Paspayı dökülen elemanlar Şekil 7.159’da gösterilmiştir.



Şekil 7.159: M1 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan analizde kısa doğrultuda (Y) kabuk atan elemanlar.

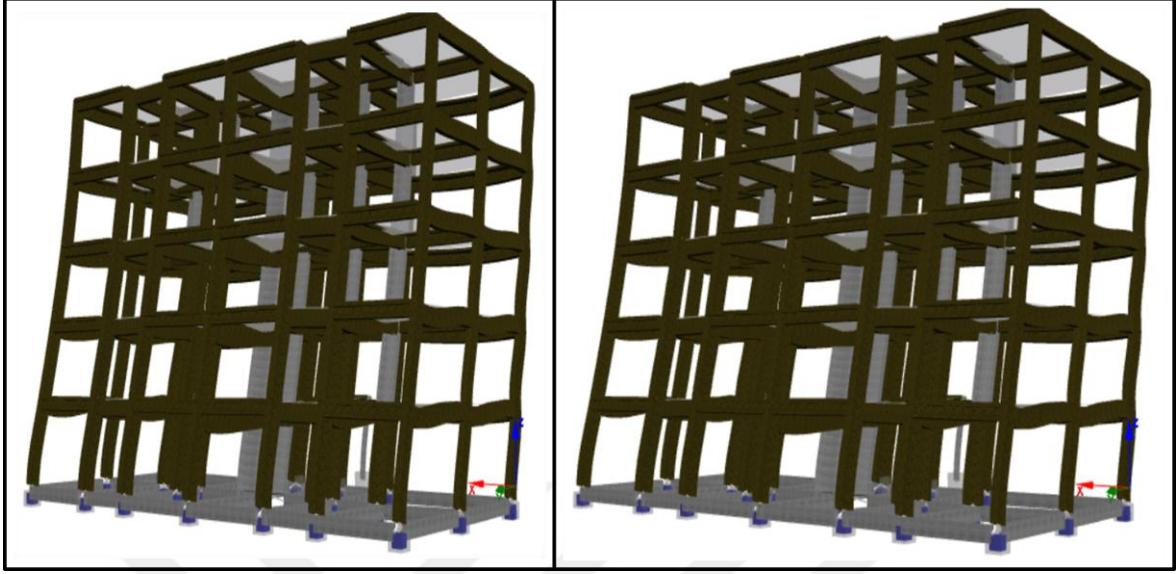
Şekil 7.159’da, M1 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan kısa doğrultuda (Y) analizinde, beton kabuk atması gözlenen elemanlar tespit edilmiştir. Maksimum deplasman anında kabuk atan elemanlar özellikle zemin kattaki belirli kolonlarda yoğunlaşmış, 1.kattaki bazı kiriş elemanlarında da hasar gözlemlenmiştir. Kolonlardaki kabuk atması, yüksek aksenal yük ve eğilme taleplerinin birleşimiyle beton dayanımının aşıldığını ve etriye etkinliğinin azaldığını göstermektedir. Kirişlerdeki kabuk atması ise aşırı plastikleşme, yüksek eğilme momentleri ve dönme kapasitesinin zorlandığını ortaya koymaktadır. Performans kriterlerine dayalı analiz sonucunda, sistemde çekirdeği ezilen herhangi bir eleman gözlemlenmemiştir. Şekil 7.160’da, D4 deprem kaydı ile yapılan analizde, M1 modelinin kısa doğrultudaki maksimum çatı deplasmanı 8,11 saniyede 4,7 cm olarak belirlenmiş ve bu durum, kodlara dayalı kontroller kapsamında bazı elemanlarda dönme kapasitesi yetersizliğine yol açmıştır.



Şekil 7.160: M1 modelinin D4 deprem kaydı ile yapılan analizde kısa doğrultuda (Y) dönme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.

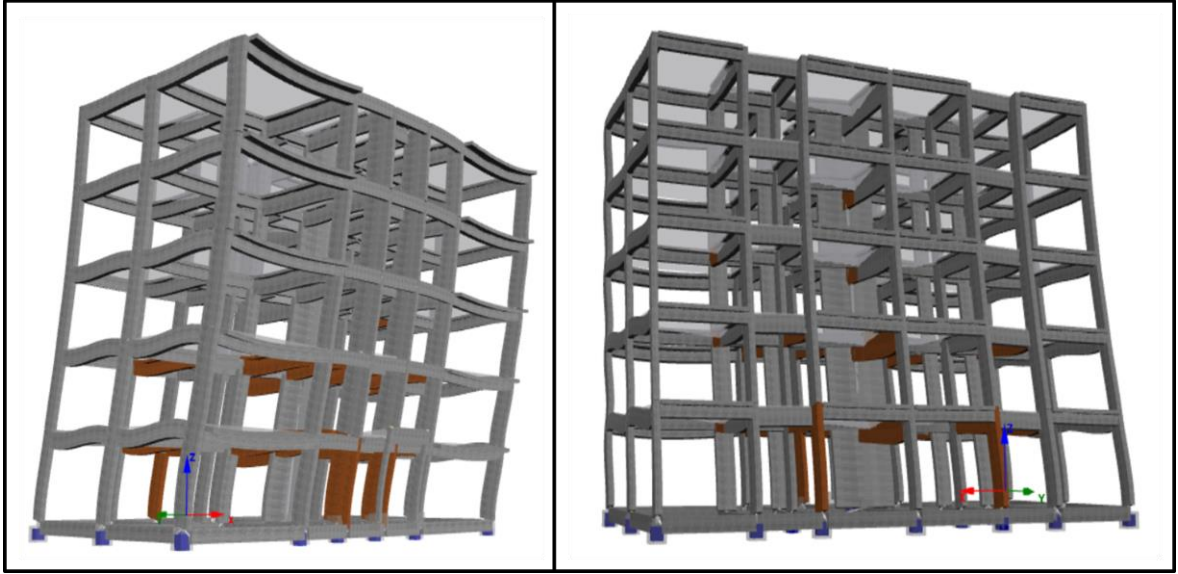
Şekil 7.160'da, M1 modelinin D4 deprem kaydı ile yapılan kısa doğrultuda (Y) analizinde, dönme kapasitesi yetersizliği gösteren elemanlar tespit edilmiştir. Maksimum deplasman anında, bu elemanlar zemin kattaki perde duvarlar dahil belirli taşıyıcı elemanlarda yoğunlaşmış, 2.kata doğru azalan sayıda taşıyıcı elemanlarda hasar gözlemlenmiştir. Gözlemler, zemin katta yüksek plastik talep oluştuğunu ve elemanların güvenli performans sınırlarını aştığını göstermektedir. Bu durum, yapının kısa doğrultuda D4 deprem kaydına karşı yeterli süneklik ve dayanım performansını sergileyemediğini

ortaya koymaktadır. Kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar Şekil 7.161’de gösterilmiştir.



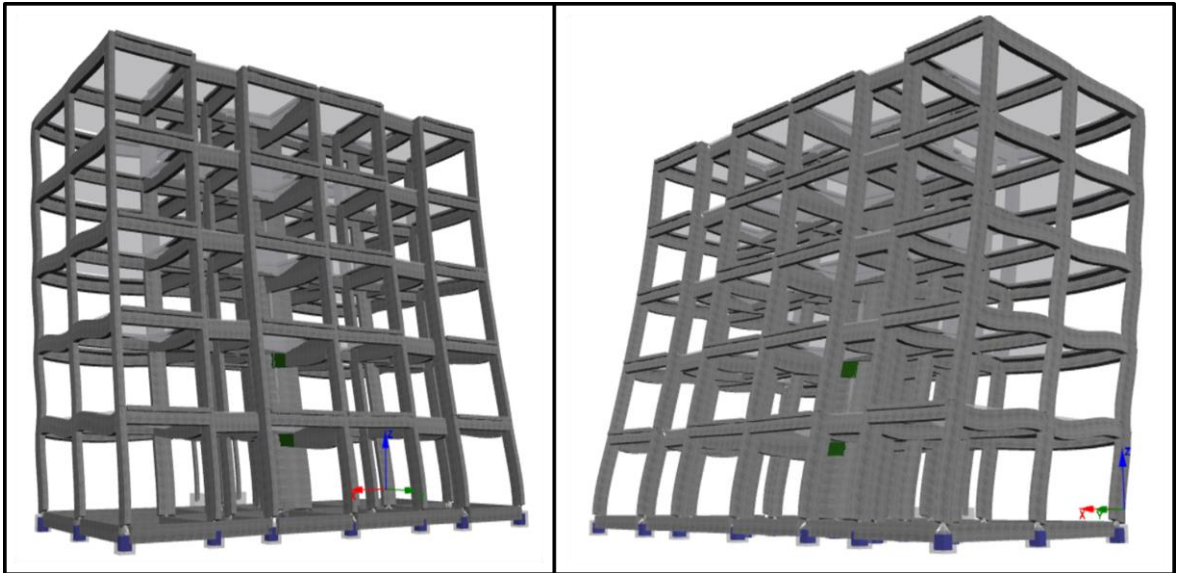
Şekil 7.161: M1 modelinin D4 deprem kaydı ile yapılan analizde kısa doğrultuda (Y) kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.

M1 modelinin D4 deprem kaydı altında kısa doğrultuda (Y) analizinde, kesme kapasitesi yetersizliği gösteren elemanlar tespit edilmiştir. Maksimum deplasman anında, bu elemanlar tüm katlarda perde duvarlar hariç belirli taşıyıcı elemanlarda yoğunlaşmıştır. Yaygın kesme kapasitesi yetersizliği, yapının yalnızca süneklik taleplerini karşılamada değil, aynı zamanda rijitlik ve dayanım açısından da yetersiz kaldığını göstermektedir. Özellikle kiriş ve kolonlarda görülen hasarlı elemanlar, şiddetli deprem etkisi altında gevrek hasara yakın bir davranış sergilemektedir. Ayrıca, performans kriterlerine dayalı kontroller sonucunda, M1 modelinde donatısı akan elemanlar tespit edilmiştir. Bu elemanlar Şekil 7.162’de gösterilmiştir.



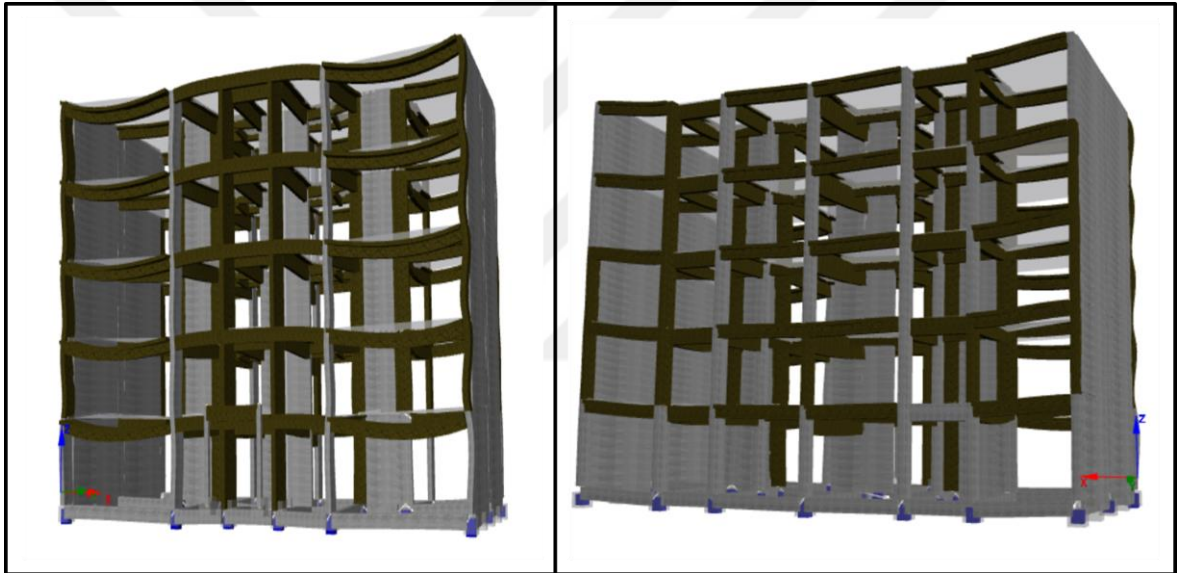
Şekil 7.162: M1 modelinin D4 deprem kaydı ile yapılan analizde kısa doğrultuda (Y) donatısı akan elemanlar.

Şekil 7.162’de,M1 modelinin D4 deprem kaydı ile yapılan dinamik analizinde, maksimum deplasman anında donatı akması gösteren elemanlar tespit edilmiştir.Bu elemanlar özellikle zemin katta yoğunlaşmış olup, üst katlara doğru azalan sayıda taşıyıcı elemanda gözlemlenmiştir.Bu durum, zemin katın deprem kuvvetlerini karşılamada en yüksek zorlanmaya maruz kaldığını ve bu bölgede plastik mafsalların oluşmaya başladığını göstermektedir. Paspayı dökülen elemanlar Şekil 7.163’te gösterilmiştir.



Şekil 7.163: M1 modelinin D4 deprem kaydı ile yapılan analizde kısa doğrultuda (Y) kabuk atan elemanlar.

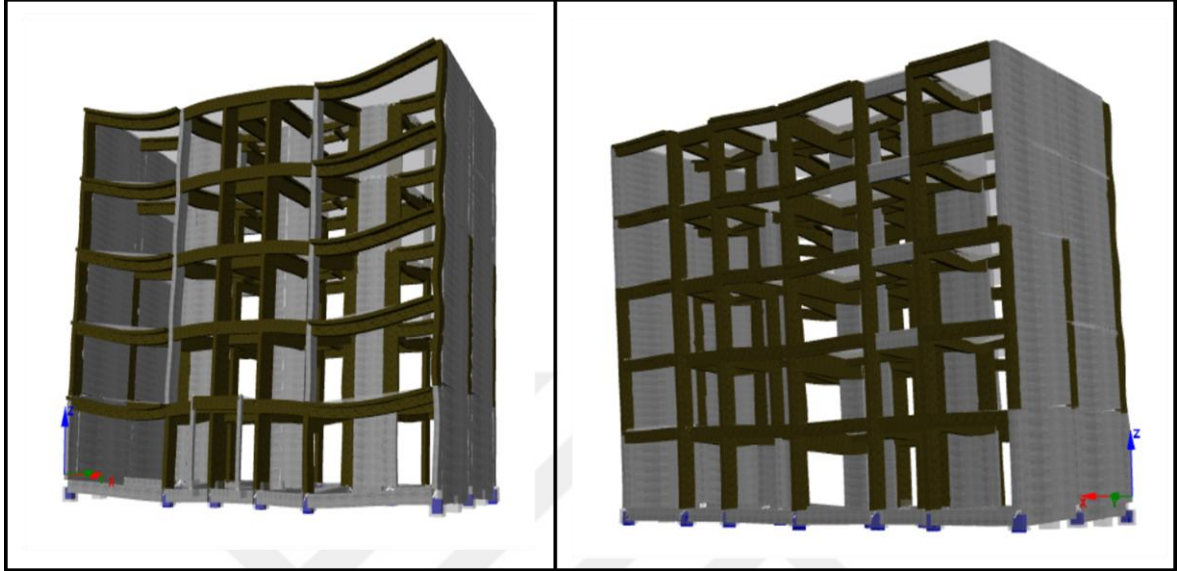
Şekil 7.163’de, M1 modelinin D4 deprem kaydı ile yapılan kısa doğrultuda (Y) analizinde, maksimum deplasman anında kabuk atan (paspayı dökülen) elemanlar tespit edilmiştir. Bu elemanlar sadece zemin kat ve 1.kattaki giriş-perde duvar birleşim noktalarında gözlemlenmiştir. Bu durum, elemanın yük taşıma kapasitesinde belirgin bir azalmanın başladığını ve bölgeye etki eden yüksek gerilmeler ile aşırı kesme zorlanmaları sonucu beton basınç liflerinin ezildiğini ve döküldüğünü göstermektedir. Performans kriterlerine dayalı analiz sonucunda, sistemde çekirdeği ezilen herhangi bir eleman gözlemlenmemiştir. Kısa doğrultuda (Y) M2 modelinin D1 deprem kaydı ile yapılan analizde, 18,14 saniyede son katta maksimum deplasman 0,5 cm olarak elde edilmiştir. Analiz sonucunda, koda dayalı kontrollerde kesme kapasitesi yetersizliği tespit edilen elemanlar Şekil 7.164’de gösterilmiştir.



Şekil 7.164: M2 modelinin D1 deprem kaydı ile yapılan analizde kısa doğrultuda (Y) kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.

Şekil 7.164’de, M2 modelinin D1 deprem kaydı altında kısa doğrultuda (Y) maksimum deplasman anında, kesme kapasitesini aşan elemanlar sistemin tüm katlarında yaygın olarak gözlemlenmiştir. Hasar, perde duvarlar hariç diğer belirli taşıyıcı elemanlarda yoğunlaşmıştır. Katlar boyunca bu denli yaygın kesme yetersizliği, M2 modelinin D1 deprem kaydına karşı güçlendirilmemiş elemanlarda genel bir kesme dayanımı eksikliği sergilediğini ve yapının deprem etkilerini, rijitliği artsa bile, eski elemanların karşılamakta zorlandığını göstermektedir. Koda dayalı analiz sonucunda, moment-dönme yetersizliğinden kaynaklı herhangi bir eleman hasarı görülmemiştir. Performans kriterlerine dayalı kontrollerde de çekirdeği ezilen, donatısı akan veya paspayı dökülen

herhangi bir eleman tespit edilmemiştir. Kısa doğrultuda (Y) M2 modelinin D2 deprem kaydı ile yapılan analizde, 7,08 saniyede son katta maksimum deplasman 0,9 cm olarak elde edilmiştir. Analiz sonucunda, koda dayalı kontrollerde kesme kapasitesi yetersizliği belirlenen elemanlar Şekil 7.165’de gösterilmiştir.

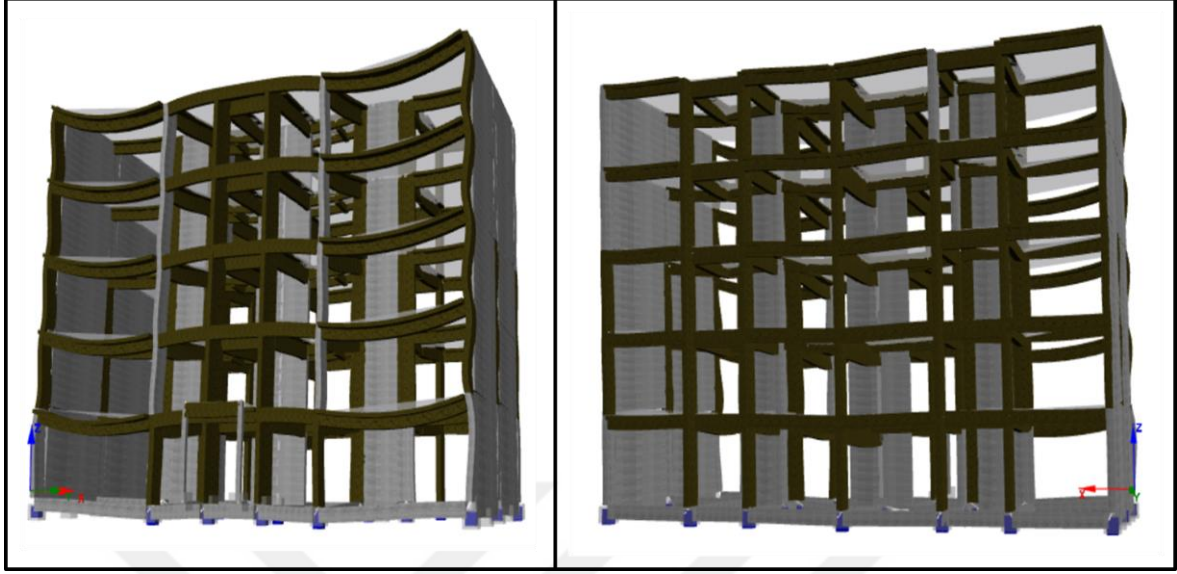


Şekil 7.165: M2 modelinin D2 deprem kaydı ile yapılan analizde kısa doğrultuda (Y) kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.

Şekil 7.165’te, M2 modelinin D2 deprem kaydı altında kısa doğrultuda (Y) maksimum deplasman anında, kesme kapasitesi yetersizliği gösteren elemanlar sistemin tüm katlarında ve perde duvarlar haricindeki taşıyıcı elemanlarda yaygın olarak gözlemlenmiştir. Koyu renkli bölgeler eski elemanlardaki hasarı temsil etmektedir. Bu koyu bölgelerin katlar boyunca eşit dağılım göstermesi, perde duvar ile güçlendirmenin ne kadar elzem olduğunu göstermektedir. Ayrıca her ne kadar yapının rijitliği artsa bile, M2 modelinin D2 deprem kaydına karşı da eski elemanlarda genel kesme dayanımının yetersiz olduğunu ve hasarın katlar arasında yayıldığını ortaya koymaktadır. Koda dayalı analiz sonucunda, moment-dönme yetersizliğinden kaynaklı herhangi bir eleman hasarı gözlenmemiştir. Performans kriterlerine dayalı kontrollerde de çekirdeği ezilen, donatısı akan veya paspayı dökülen eleman tespit edilmemiştir. Bu durum da perde duvar ile güçlendirme elemanlarının yapısal sisteme olan süneklik katkısını eski elemanların taşıyamadığını göstermektedir.

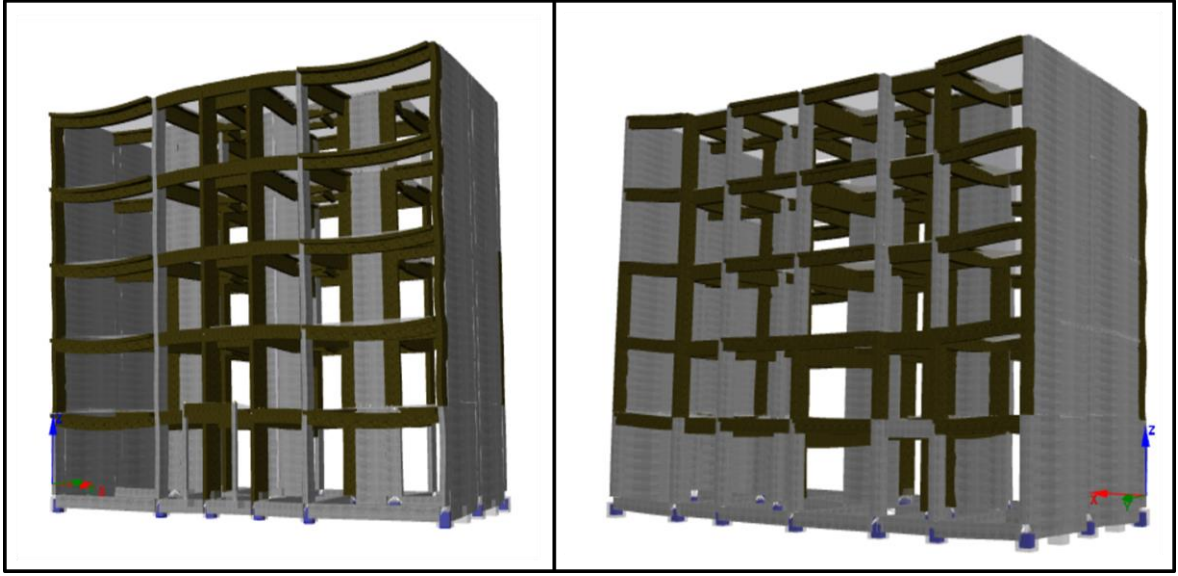
Kısa doğrultuda (Y) M2 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan analizde, 28,14 saniyede son katta maksimum deplasman 0,7 cm olarak elde edilmiştir. Analiz sonucunda,

koda dayalı kontrollerde kesme kapasitesi yetersizliği bulunan elemanlar Şekil 7.166’da gösterilmiştir.



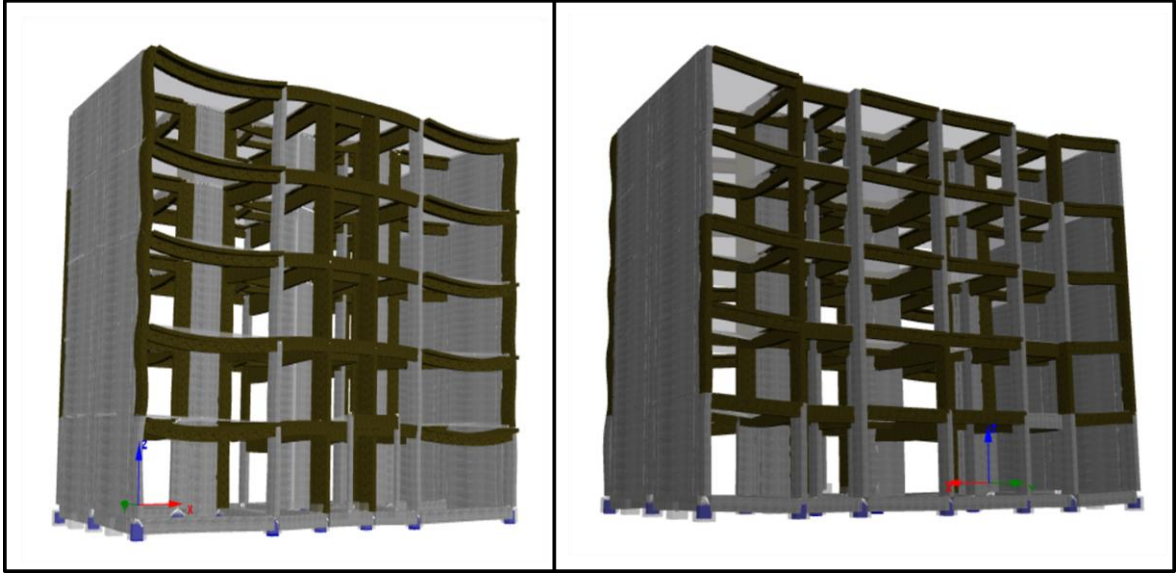
Şekil 7.166: M2 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan analizde kısa doğrultuda (Y) kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.

Şekil 7.166’da, M2 modelinin D3 deprem kaydı altında kısa doğrultuda (Y) yapılan dinamik analizde, maksimum deplasman anında sistemde yapısal hasarlar tespit edilmiştir. Hasarlar, perde duvarlar hariç tüm katlardaki belirlenmiş taşıyıcı elemanlarda kesme kapasitesi yetersizliği olarak gözlemlenmiştir. Bu durum, M2 modelinin kısa doğrultuda deprem etkilerine karşı gevrek davranış sergileyerek kritik bir yapısal risk taşıdığını göstermektedir. Koda dayalı analiz sonucunda, moment-dönme yetersizliğinden kaynaklı herhangi bir eleman hasarı gözlenmemiştir. Performans kriterlerine dayalı kontrollerde de çekirdeği ezilen, donatısı akan veya paspayı dökülen eleman tespit edilmemiştir. Kısa doğrultuda (Y) M2 modelinin D4 deprem kaydı ile yapılan analizde, 11,26 saniyede son katta maksimum deplasman 0,7 cm olarak elde edilmiştir. Analiz sonucunda yapılan koda dayalı kontrollerde, kesme kapasitesi yetersizliği bulunan elemanlar Şekil 7.167’de gösterilmiştir.



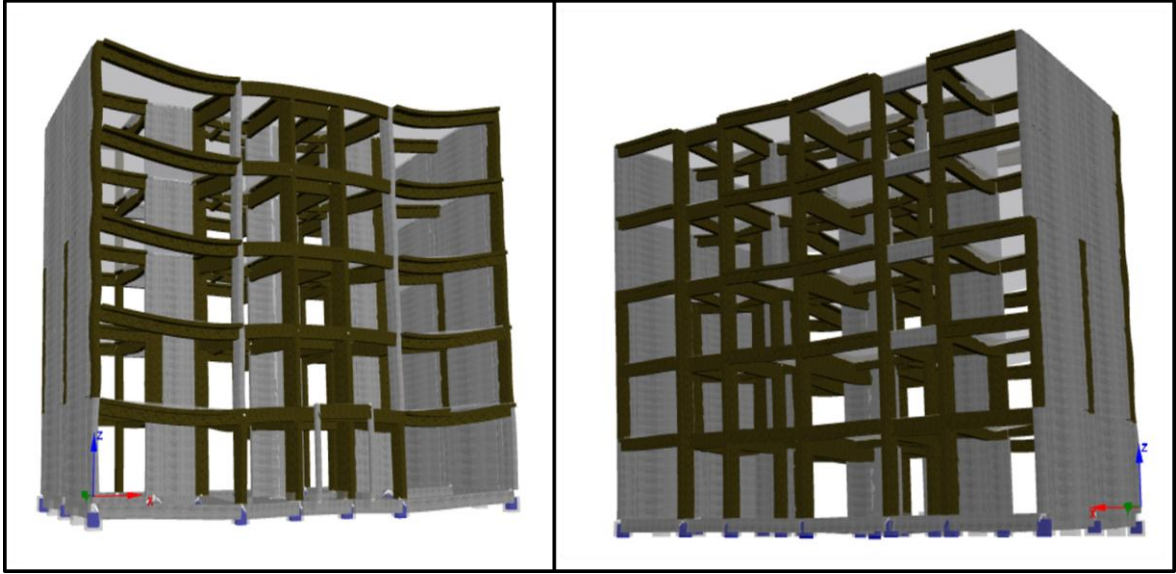
Şekil 7.167: M2 modelinin D4 deprem kaydı ile yapılan analizde kısa doğrultuda (Y) kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.

Şekil 7.167’de, M2 modelinin D4 deprem kaydı altında kısa doğrultuda (Y) yapılan dinamik analizde, maksimum deplasman anında, tüm katlarda perde duvarlar hariç diğer taşıyıcı elemanlarda yaygın kesme kapasitesi yetersizliği gözlemlenmiştir. Bu durum, M2 modelinin kısa doğrultuda D4 deprem kaydına karşı gevrek davranış eğilimi gösterdiğini ve can güvenliği performansını sağlayamayacağını ortaya koymaktadır. Koda dayalı analiz sonucunda, moment-dönme yetersizliğinden kaynaklı herhangi bir eleman hasarı gözlenmemiştir. Performans kriterlerine dayalı kontrollerde de çekirdeği ezilen, donatısı akan veya paspayı dökülen eleman tespit edilmemiştir. Kısa doğrultuda (Y) M3 modelinin D1 deprem kaydı ile yapılan analizde, 18,14 saniyede son katta maksimum deplasman 0,4 cm olarak elde edilmiştir. Analiz sonucunda yapılan koda dayalı kontrollerde, kesme kapasitesi yetersizliği bulunan elemanlar Şekil 7.168’de gösterilmiştir.



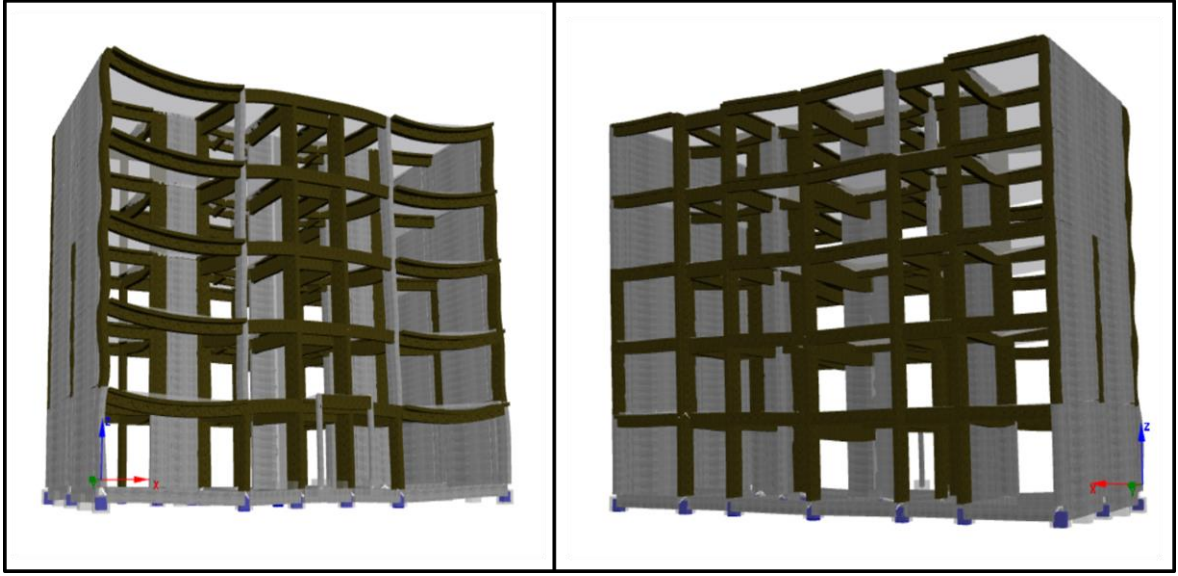
Şekil 7.168: M3 modelinin D1 deprem kaydı ile yapılan analizde kısa doğrultuda (Y) kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.

Şekil 7.168’de, M3 modelinin D1 deprem kaydı kullanılarak yapılan kısa doğrultuda (Y) analizde, maksimum deplasman anında, perde duvarlar hariç tüm katlardaki taşıyıcı elemanlarda yaygın kesme kapasitesi yetersizliği tespit edilmiştir. Bu durum, M3 modelinin D1 deprem kaydına karşı gevrek göçme potansiyeli taşıdığını göstermektedir. Koda dayalı analiz sonucunda moment-dönme yetersizliğinden kaynaklı herhangi bir eleman hasarı gözlenmemiştir. Performans kriterlerine dayalı kontrollerde de çekirdeği ezilen, donatısı akan veya paspayı dökülen eleman tespit edilmemiştir. Kısa doğrultuda (Y) M3 modelinin D2 deprem kaydı ile yapılan analizde, 7,08 saniyede son katta maksimum deplasman 0,9 cm olarak elde edilmiştir. Analiz sonucunda yapılan koda dayalı kontrollerde, kesme kapasitesi yetersizliği bulunan elemanlar Şekil 7.169’da gösterilmiştir.



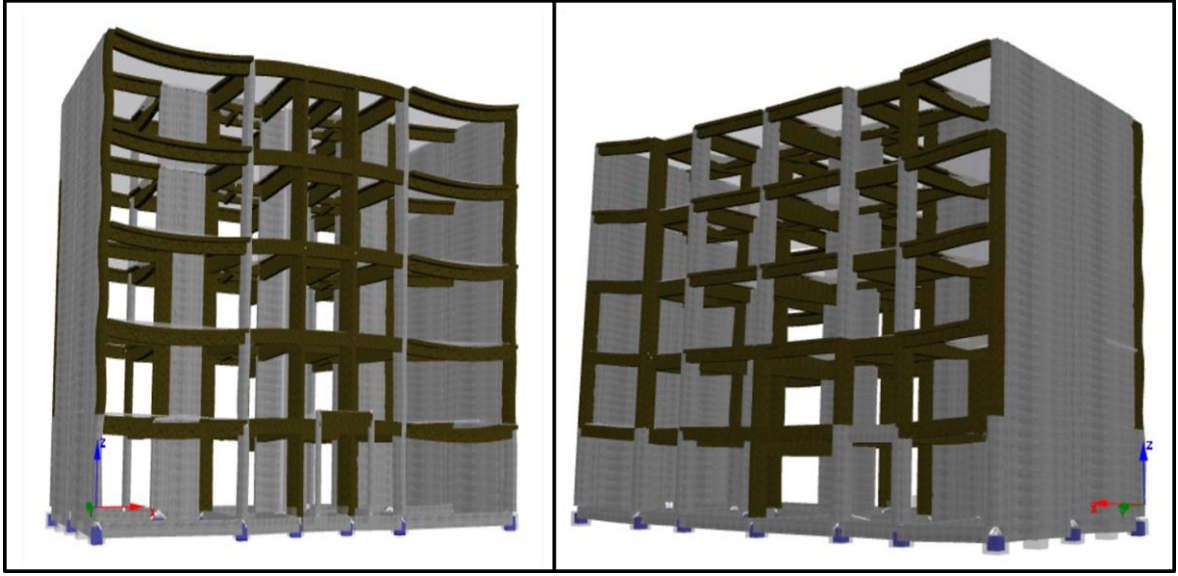
Şekil 7.169: M3 modelinin D2 deprem kaydı ile yapılan analizde kısa doğrultuda (Y) kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.

Şekil 7.169’de, M3 modelinin D2 deprem kaydı ile yapılan kısa doğrultuda (Y) analizinde, maksimum deplasman anında, perde duvarlar hariç tüm katlardaki taşıyıcı elemanlarda kesme kapasitesi yetersizliği tespit edilmiştir. Bu durum, M3 modelinin kesme hasarı açısından gevrek göçme potansiyeline sahip olduğunu ve performans hedefini karşılayamayacağını göstermektedir. Koda dayalı analiz sonucunda moment-dönme yetersizliğinden kaynaklı herhangi bir eleman hasarı gözlenmemiştir. Performans kriterlerine dayalı kontrollerde de çekirdeği ezilen, donatısı akan veya paspayı dökülen eleman tespit edilmemiştir. Kısa doğrultuda (Y) M3 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan analizinde, 28,14 saniyede son katta maksimum deplasman 0,7 cm olarak elde edilmiştir. Analiz sonucunda yapılan koda dayalı kontrollerde, kesme kapasitesi yetersizliği bulunan elemanlar Şekil 7.170’de gösterilmiştir.



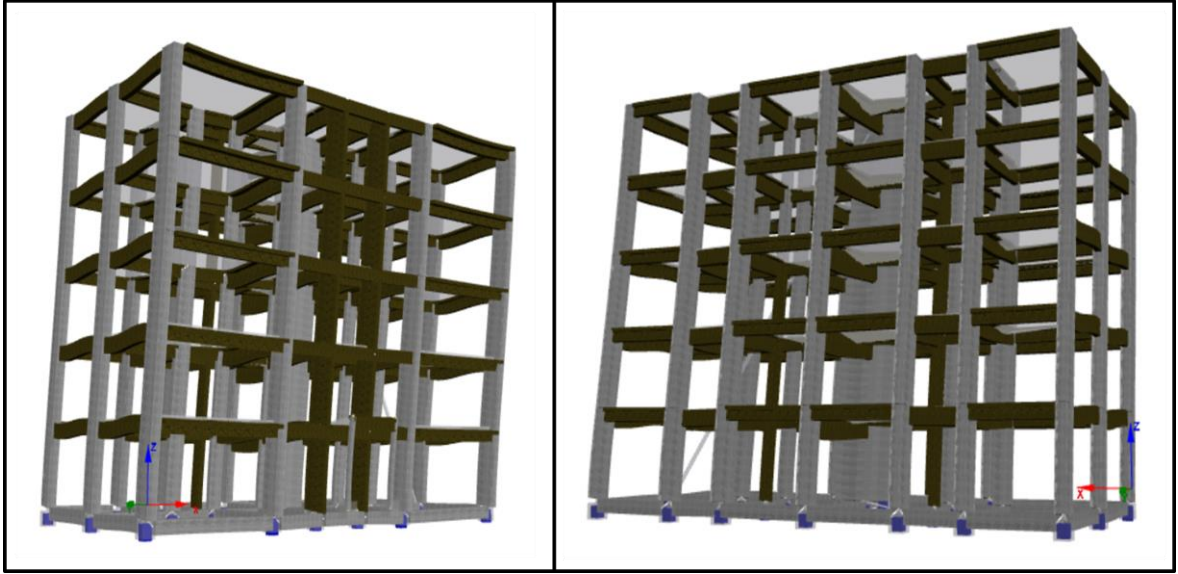
Şekil 7.170: M3 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan analizde kısa doğrultuda (Y) kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.

Şekil 7.170’de, M3 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan kısa doğrultuda (Y) analizinde, maksimum deplasman anında, perde duvarlar dışında kalan tüm belirlenmiş taşıyıcı elemanlarda yaygın kesme kapasitesi yetersizliği tespit edilmiştir. Bu durum, M3 modelinin D3 deprem etkisine maruz kaldığında gevrek göçme potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Koda dayalı analiz sonucunda moment-dönme yetersizliğinden kaynaklı herhangi bir eleman hasarı gözlenmemiştir. Performans kriterlerine dayalı kontrollerde de çekirdeği ezilen, donatısı akan veya paspayı dökülen eleman tespit edilmemiştir. Kısa doğrultuda (Y) M3 modelinin D4 deprem kaydı ile yapılan analizinde, 11,26 saniyede son katta maksimum deplasman 0,7 cm olarak elde edilmiştir. Analiz sonucunda yapılan koda dayalı kontrollerde, kesme kapasitesi yetersizliği bulunan elemanlar Şekil 7.171’te gösterilmiştir.



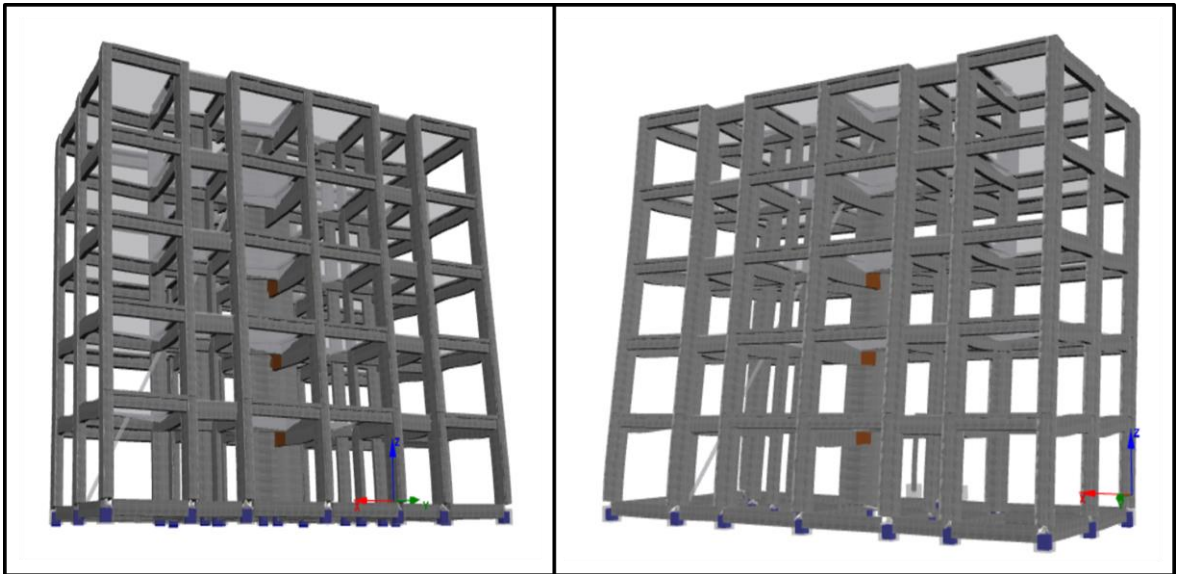
Şekil 7.171: M3 modelinin D4 deprem kaydı ile yapılan analizde kısa doğrultuda (Y) kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.

Şekil 7.171’de, M3 modelinin D4 deprem kaydı ile yapılan kısa doğrultuda (Y) dinamik analizinde, maksimum deplasman anında, tüm katlarda perde duvarlar hariç diğer belirli taşıyıcı elemanlarda yaygın kesme kapasitesi yetersizliği gözlemlenmiştir. Bu sonuç, M3 modeli mantolar ile güçlendirilmiş olsa bile D4 deprem kaydına karşı istenilen dayanım talebini geliştirme konusunda yeterli potansiyele sahip olmadığını ve yapısal olarak yetersiz kaldığını doğrulamaktadır. Koda dayalı analiz sonucunda moment-dönme yetersizliğinden kaynaklı herhangi bir eleman hasarı gözlenmemiştir. Performans kriterlerine dayalı kontrollerde de çekirdeği ezilen, donatısı akan veya paspayı dökülen eleman tespit edilmemiştir. Kısa doğrultuda (Y) M4 modelinin D1 deprem kaydı ile yapılan kuvvet tabanlı doğrusal olmayan dinamik itme analizinde, 21,01 saniyede son katta maksimum deplasman 2,2 cm olarak elde edilmiştir. Analiz sonucunda yapılan koda dayalı kontrollerde, kesme kapasitesi yetersizliği bulunan elemanlar Şekil 7.172’de gösterilmiştir.



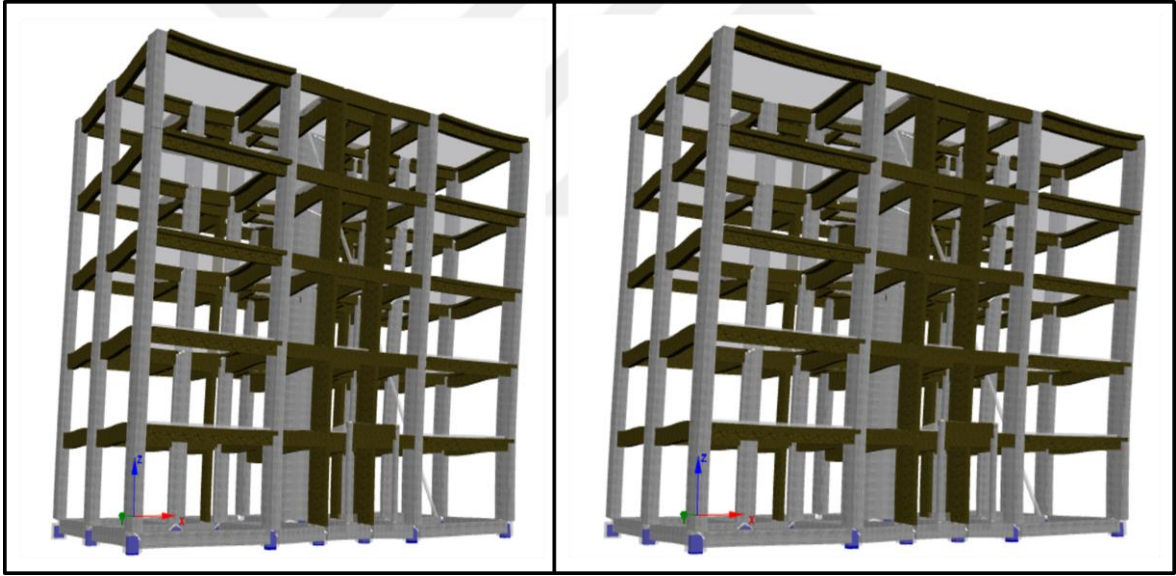
Şekil 7.172: M4 modelinin D1 deprem kaydı ile yapılan analizde kısa doğrultuda (Y) kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.

Şekil 7.172’de, M4 modelinin D1 deprem kaydı ile yapılan kısa doğrultuda (Y) dinamik analizinde, maksimum deplasman anında, perde duvarlar hariç tüm katlardaki belirli taşıyıcı elemanlarda kesme kapasitesi yetersizliği tespit edilmiştir. Bu yaygın kesme yetersizliği, M4 modelinin kısa doğrultuda D1 deprem etkisine karşı gevrek göçme potansiyeli taşıdığını ve can güvenliği hedefini sağlamada yetersiz kaldığını göstermektedir. Koda dayalı analiz sonucunda, moment-dönme yetersizliğinden kaynaklı herhangi bir eleman hasarı gözlenmemiştir. Ayrıca, M4 modelinin D1 deprem kaydı ile yapılan analizde, performans kriterlerine dayalı kontroller sonucunda donatısı akan elemanlar Şekil 7.173’de gösterilmiştir.



Şekil 7.173: M4 modelinin D1 deprem kaydı ile yapılan analizde kısa doğrultuda (Y) donatısı akan elemanlar.

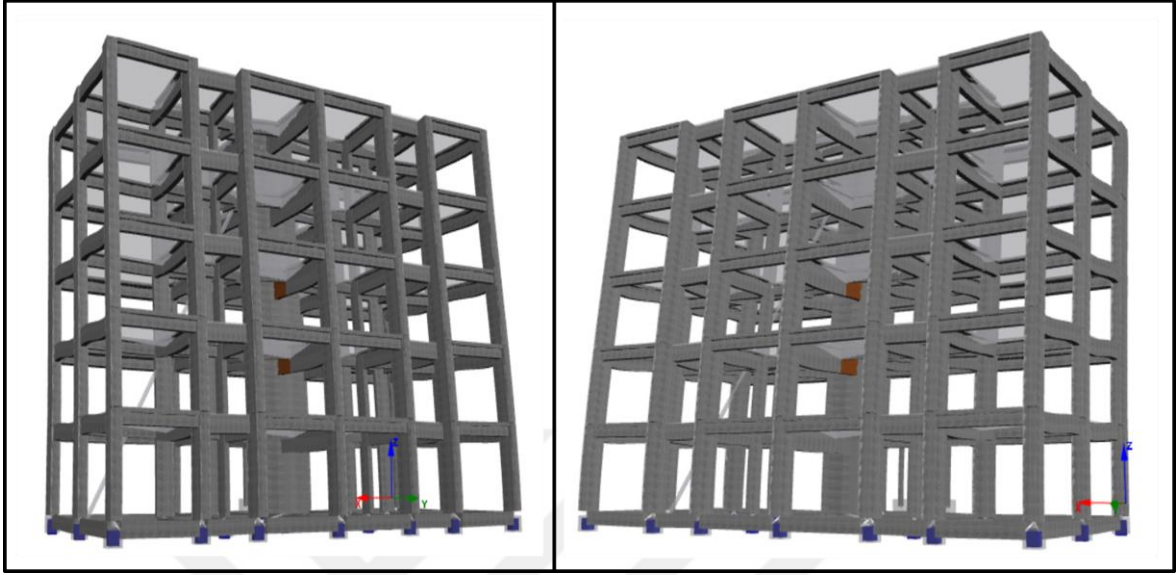
Şekil 7.173’de,M4 modelinin D1 deprem kaydı ile yapılan kısa doğrultuda (Y) dinamik analizinde, maksimum deplasman anında donatısı akmış elemanlar, özellikle zemin kat, 1. kat ve 2. katlarda, perde duvar–kiriş birleşim noktalarında yoğunlaşmıştır. Bu durum, yapının gevrek hasar geliştirdiğini, ancak hasarın özellikle ilk üç katta belirginleştiğini göstermektedir.Aslında kolon ve kiriş birleşim noktalarında başlayan hasarın yumuşak kat geliştirme potansiyeli de bulunmaktadır.Performans kriterlerine dayalı analiz sonucunda, sistemde çekirdeği ezilen veya paspayı dökülen herhangi bir eleman gözlenmemiştir.Kısa doğrultuda (Y) M4 modelinin D2 deprem kaydı ile yapılan analizinde, 7,02 saniyede son katta maksimum deplasman 2,1 cm olarak elde edilmiştir.Analiz sonucunda yapılan koda dayalı kontrollerde, kesme kapasitesi yetersizliği bulunan elemanlar Şekil 7.174’de gösterilmiştir.



Şekil 7.174: M4 modelinin D2 deprem kaydı ile yapılan analizde kısa doğrultuda (Y) kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.

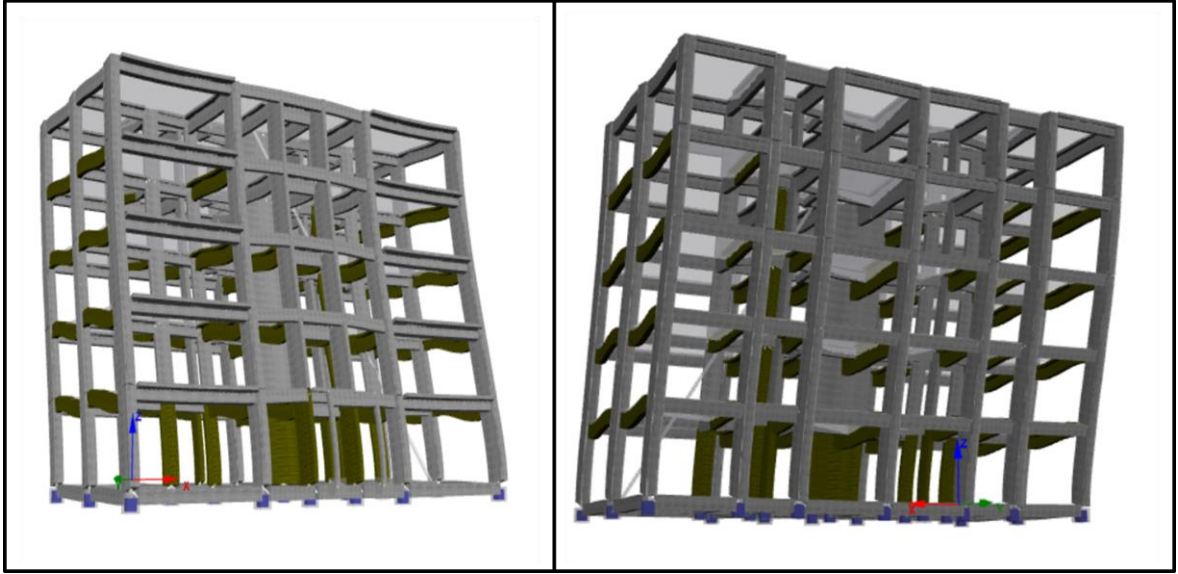
Şekil 7.174’de, M4 modelinin D2 deprem kaydı ile yapılan kısa doğrultuda (Y) dinamik analizinde, maksimum deplasman anında, perde duvarlar hariç tüm katlardaki belirli taşıyıcı elemanlarda yaygın kesme kapasitesi yetersizliği gözlemlenmiştir. Bu durum, M4 modelinin D2 deprem etkisine karşı gevrek hasar eğilimi taşıdığını ve can güvenliği performans hedefini sağlayamadığını göstermektedir. Koda dayalı analiz sonucunda moment-dönme yetersizliğinden kaynaklı herhangi bir eleman hasarı

gözlenmemiştir. Ayrıca, M4 modelinin D2 deprem kaydı ile yapılan analizinde, performans kriterlerine dayalı kontroller sonucunda donatısı akan elemanlar Şekil 7.175’de gösterilmiştir.



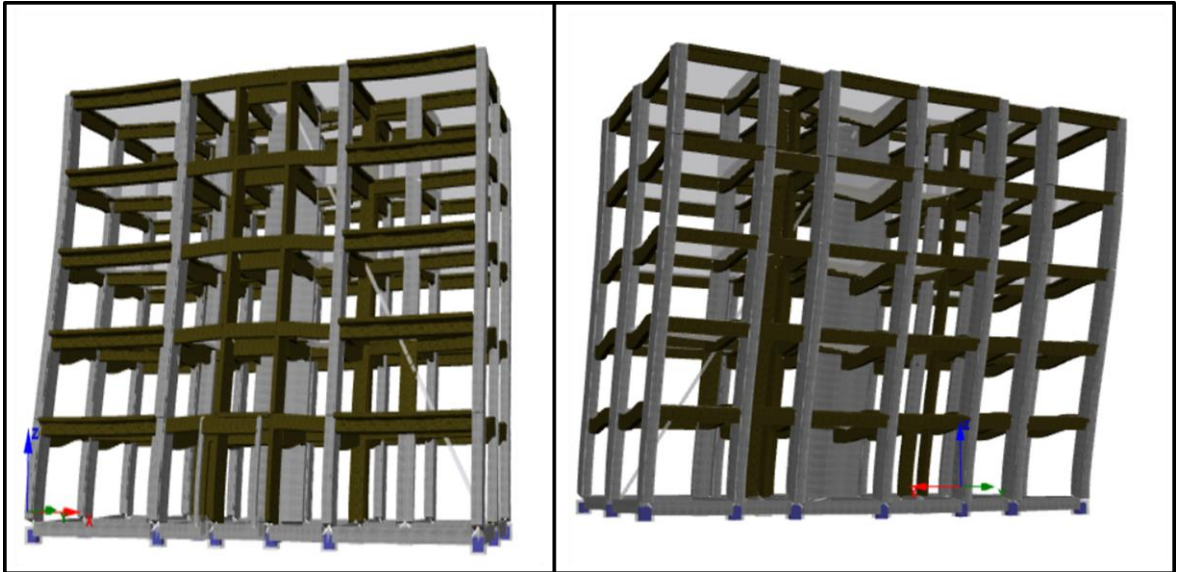
Şekil 7.175: M4 modelinin D2 deprem kaydı ile yapılan analizde kısa doğrultuda (Y) donatısı akan elemanlar.

Şekil 7.175’de, M4 modelinin D2 deprem kaydı ile yapılan kısa doğrultuda (Y) dinamik analizinde, maksimum deplasman anında, plastikleşme gösteren elemanlardaki hasar özellikle 1. kat ve 2. kat sadece perde duvar-kiriş birleşim noktalarında yoğunlaşmıştır. Bu durum, yapının deprem enerjisini belirli bölgelerde sünek davranışla sönmölemeye çalıştığını göstermektedir. Performans kriterlerine dayalı analiz sonucunda, sistemde çekirdeği ezilen veya paspayı dökölen herhangi bir eleman gözlenmemiştir. Kısa doğrultuda (Y) M4 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan analizinde, 28,26 saniyede son katta maksimum deplasman 6,6 cm olarak elde edilmiştir. Analiz sonucunda yapılan koda dayalı kontrollerde, dönme kapasitesi yetersizliği bulunan elemanlar Şekil 7.176’da gösterilmiştir.



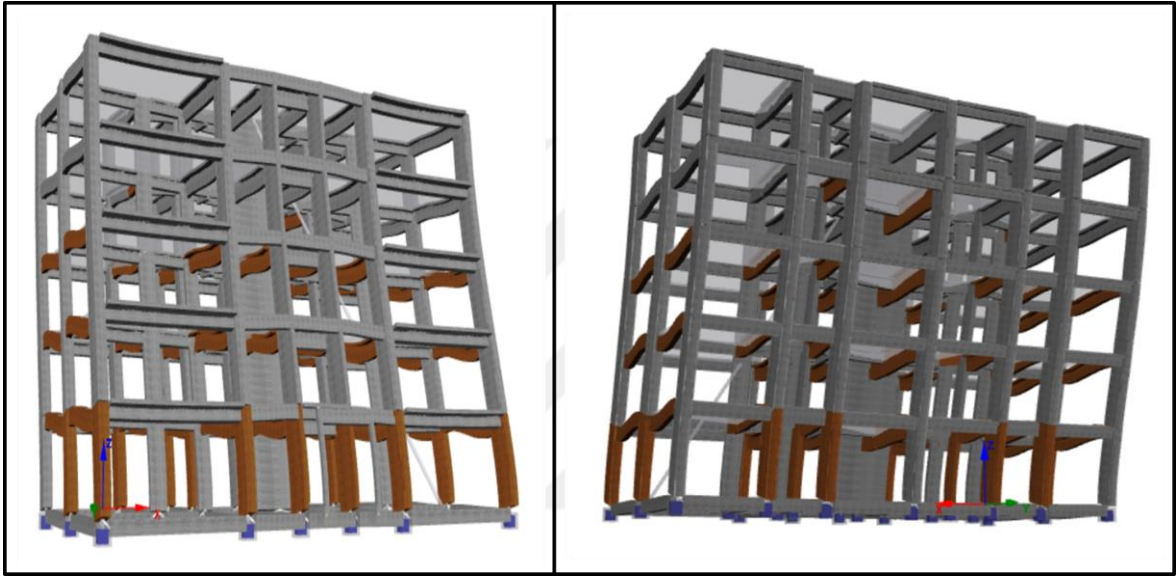
Şekil 7.176: M4 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan analizde kısa doğrultuda (Y) dönme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.

Şekil 7.176’da, M4 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan kısa doğrultuda (Y) dinamik analizinde, maksimum deplasman anında dönme kapasitesi yetersizliği gösteren elemanlar esas olarak zemin kat perde duvarında yoğunlaşmış, üst katlara doğru azalarak 3.kata kadar belirli taşıyıcı elemanlarda da gözlemlenmiştir. Bu durum, sistemin enerjiyi sünek bir şekilde tüketmeye çalıştığını, ancak zemin katta kapasitenin aşıldığını ve hasarın kritik düzeye ulaştığını göstermektedir. Kırma kapasitesi yetersizliği olan elemanlar Şekil 7.177’de gösterilmiştir.



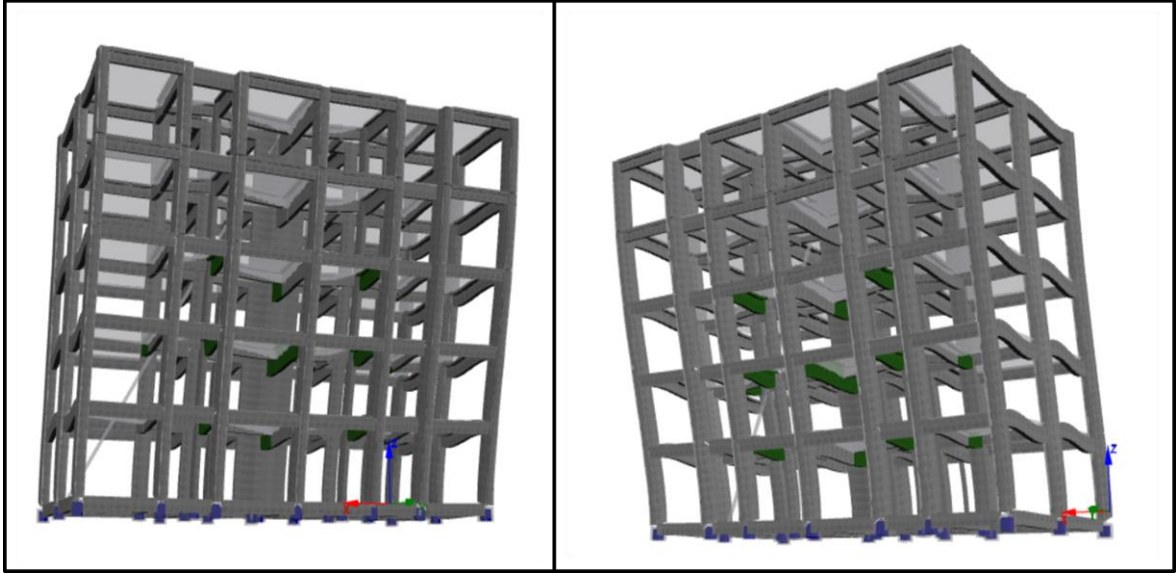
Şekil 7.177: M4 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan analizde kısa doğrultudaki (Y) kırma kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.

Şekil 7.177’de, M4 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan kısa doğrultuda (Y) dinamik analizinde, maksimum deplasman anında, perde duvarlar hariç tüm katlardaki belirlenmiş taşıyıcı elemanlarda yaygın kesme kapasitesi yetersizliği gözlemlenmiştir. Bu durum, M4 modelinin D3 deprem etkisine karşı kısmen sünek davranış sergilediğini, ancak aynı zamanda iç akslarda da yaygın gevrek hasar geliştirdiğini ve can güvenliği hedefini sağlamada yetersiz kaldığını göstermektedir. Ayrıca, M4 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan analizinde, performans kriterlerine dayalı kontroller sonucunda donatısı akan elemanlar Şekil 7.178’de gösterilmiştir.



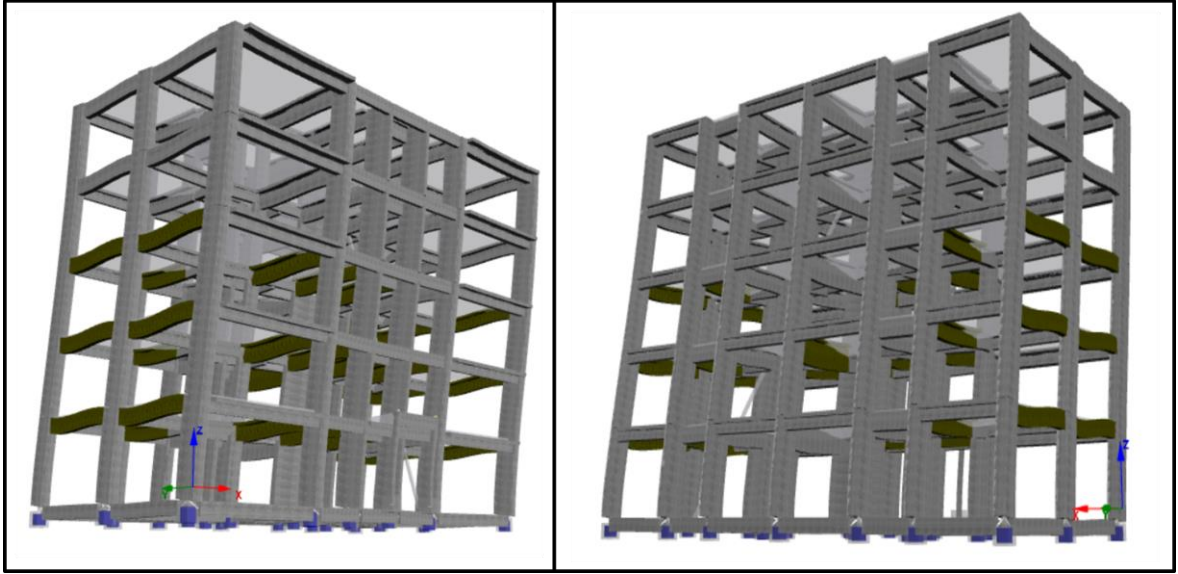
Şekil 7.178: M4 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan analizde kısa doğrultuda (Y) donatısı akan elemanlar.

Şekil 7.178’de, M4 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan kısa doğrultuda (Y) dinamik analizinde, maksimum deplasman anında donatı akması gözlenen elemanlar zemin katta kolon ve kirişlerde, 1., 2. ve 3. katlarda ise yalnızca kiriş elemanlarında meydana gelmiştir. Bu dağılım, sistemin zemin kat hariç sünek davranış sergileme eğiliminde olduğunu, ancak zemin katta kolonların hasara dâhil olması nedeniyle yumuşak kat oluşumu riskinin bulunduğunu göstermektedir. Paspayı dökülen elemanlar Şekil 7.179’da gösterilmiştir.



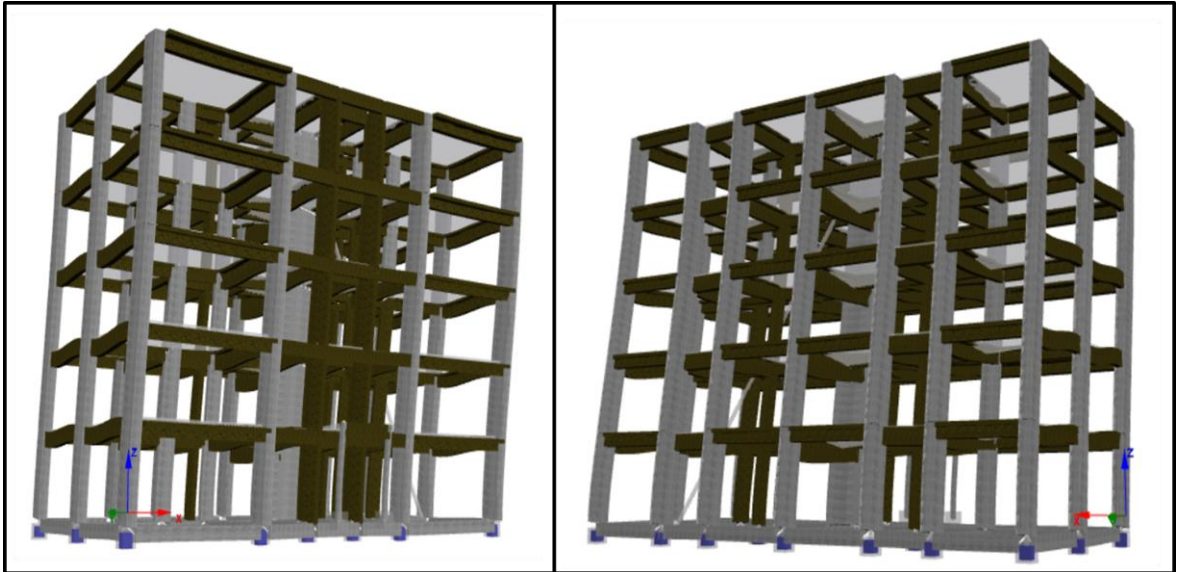
Şekil 7.179: M4 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan analizde kısa doğrultuda (Y) kabuk atan elemanlar.

Şekil 7.179’da, M4 modelinin D3 deprem kaydı ile yapılan kısa doğrultuda (Y) dinamik analizinde, maksimum deplasman anında kabuk atan elemanlar, özellikle zemin kat ile 1.ve 2. katın belirli iç kirişlerinde yoğunlaşmıştır. Bu durum, eğilme kapasitesinin aşılması sonucu beton basınç bölgesinde ezilme ve dökülme meydana geldiğini ve söz konusu elemanların önemli ölçüde hasar alarak kapasite kaybetmeye başladığını göstermektedir. Performans kriterlerine dayalı analiz sonucunda, sistemde çekirdeği ezilen herhangi bir eleman gözlenmemiştir. Kısa doğrultuda (Y) M4 modelinin D4 deprem kaydı ile yapılan analizinde, 8,05 saniyede son katta maksimum deplasman 4,2 cm olarak elde edilmiştir. Analiz sonucunda yapılan koda dayalı kontrollerde, dönme kapasitesi yetersizliği bulunan elemanlar Şekil 7.180’de gösterilmiştir.



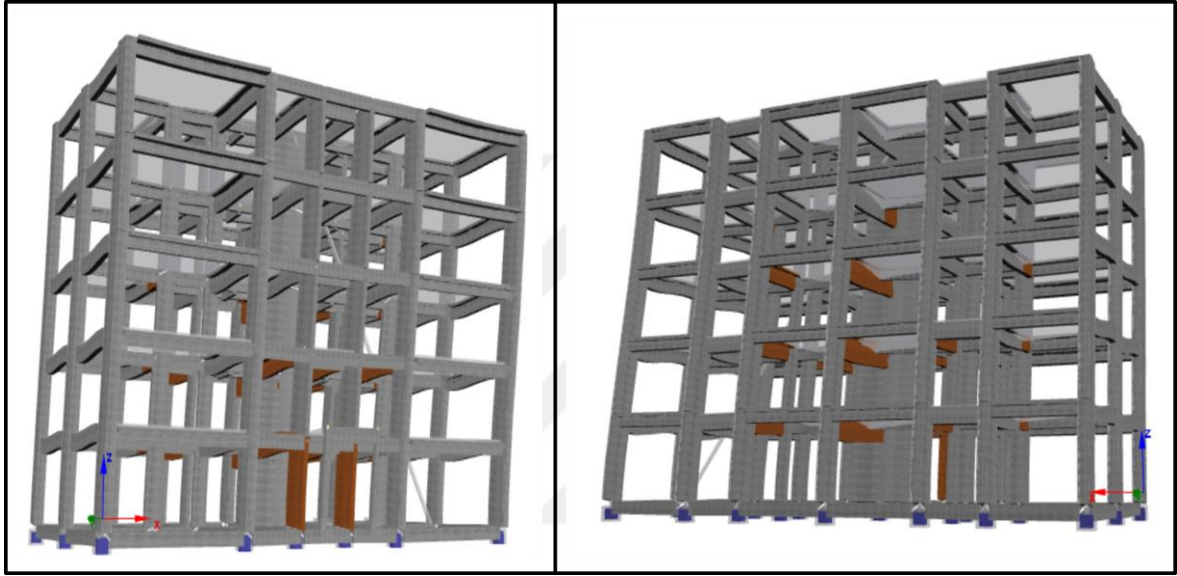
Şekil 7.180: M4 modelinin D4 deprem kaydı ile yapılan analizde kısa doğrultuda (Y) dönme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.

Şekil 7.180’de, M4 modelinin D4 deprem kaydı ile yapılan kısa doğrultuda (Y) dinamik analizinde, maksimum deplasman anında dönme kapasitesi yetersizliği gösteren elemanlar, özellikle 1., 2. ve 3. katın belirli iç kirişlerinde yoğunlaşmıştır. Bu durum, M4 modelinin D4 deprem kaydı altında sünek davranış sergilemeye çalıştığını, ancak kirişlerde plastik dönme kapasitelerinin aşıldığını ve hasarın kabul edilebilir sınırların ötesine geçtiğini göstermektedir. Kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar Şekil 7.181’de gösterilmiştir.



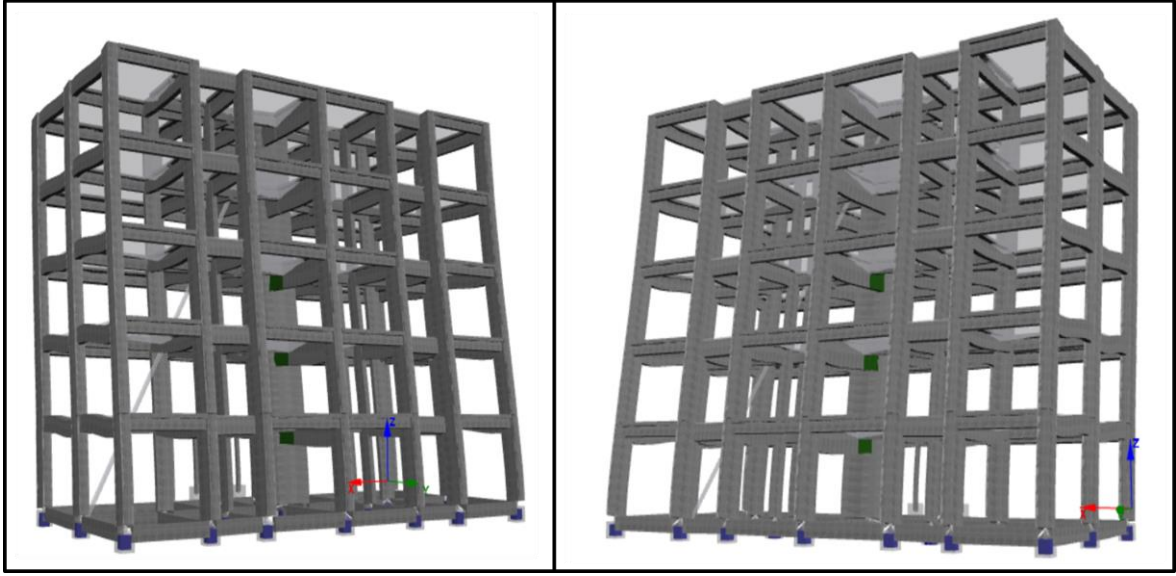
Şekil 7.181: M4 modelinin D4 deprem kaydı ile yapılan analizde kısa doğrultuda (Y) kesme kapasitesi yetersizliği olan elemanlar.

Şekil 7.181’de, M4 modelinin D4 deprem kaydı ile yapılan kısa doğrultuda (Y) dinamik analizinde, maksimum deplasman anında, perde duvarlar hariç sistemin tüm katlarındaki belirlenmiş taşıyıcı elemanlarda yaygın kesme kapasitesi yetersizliği gözlemlenmiştir. Bu durum, M4 modelinin D4 deprem etkisine karşı yaygın gevrek hasar geliştirdiğini ve can güvenliği performans hedefini sağlamada yetersiz kaldığını göstermektedir. Ayrıca, M4 modelinin D4 deprem kaydı ile yapılan analizinde, performans kriterlerine dayalı kontroller sonucunda donatısı akan elemanlar Şekil 7.182’de gösterilmiştir.



Şekil 7.182: M4 modelinin D4 deprem kaydı ile yapılan analizde kısa doğrultuda (Y) donatısı akan elemanlar.

Şekil 7.182’de, M4 modelinin D4 deprem kaydı ile yapılan kısa doğrultuda (Y) dinamik analizinde, maksimum deplasman anında donatı akması gözlenen elemanlar, zemin katta hem kolon hem kirişlerde, 1., 2. ve 3. katlarda ise ağırlıklı olarak kirişlerde meydana gelmiştir. Bu dağılım, M4 modelinin zemin kat hariç üst katlarda sünek davranış sergileme eğiliminde olduğunu, ancak zemin kattaki kolon hasarı nedeniyle yumuşak kat oluşumu riskinin devam ettiğini göstermektedir. Paspayı dökülen elemanlar Şekil 7.183’de gösterilmiştir.



Şekil 7.183: M4 modelinin D4 deprem kaydı ile yapılan analizde kısa doğrultuda (Y) kabuk atan elemanlar.

Şekil 7.183’de, M4 modelinin D4 deprem kaydı ile yapılan kısa doğrultuda (Y) dinamik analizinde, maksimum deplasman anında kabuk atan elemanlar özellikle zemin kat, 1.kat ve 2. katın belirli iç kirişlerinde yoğunlaşmıştır. Kabuk atma hasarının bu kirişler ve perde duvar bağlantı noktalarında oluşması, alt katların üst katlara göre daha büyük taleplere maruz kaldığını ve plastikleşme sonrası beton ezilmesi nedeniyle elemanların taşıma kapasitelerinde önemli kayıplar oluşmaya başladığını göstermektedir. Ayrıca, performans kriterlerine dayalı analiz sonucunda, sistemde çekirdeği ezilen herhangi bir eleman bulunmamıştır.

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, güncel deprem yönetmeliğini karşılamayan standart altı 5 katlı bir betonarme perde-çerçeve sistemli yapının orijinal ve farklı güçlendirme alternatiflerine sahip taşıyıcı sistem düzenlerine sahip üç modeli ile birlikte toplam dört adet model (M1, M2, M3 ve M4) üzerinde modal analiz, statik itme analizleri ve dört farklı deprem kaydı kullanılarak doğrusal olmayan dinamik analizler gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın temel amacı, perde başlığı, perde yerleşimi ve güçlendirme biçiminin yapı davranışına, deprem

performansına ve enerji tüketim kapasitesine olan etkilerini hem uzun doğrultuda (X) hem de kısa doğrultuda (Y) incelemektir.

Analizlerde kullanılan modellerin temel farkları; perde başlık kullanımı ve kolon mantolama biçimidir. Sayısal modellerden, M1,tamamen çerçeve sistemli yapıyı temsil etmektedir.M2, perdeli ancak başlıksız sayısal modeli; M3, perdeli ve başlıklı sisteme ait sayısal modeli ve M4 ise perdesiz olup dış kolonları mantolama yoluyla güçlendirilmiş bir sistemdir. Ayrıca, doğrusal olmayan dinamik analizlerde yapı davranışının farklı deprem girdileri altında incelenebilmesi amacıyla D1, D2, D3 ve D4 olmak üzere dört farklı gerçek deprem kaydı kullanılmıştır. Böylece her bir modelin farklı ivme-zaman geçmişlerine karşı gösterdiği davranış detaylı biçimde karşılaştırılmıştır. Bu çalışmadan çıkarılacak sonuçlar kısa ve uzun doğrultuyu içerek şekilde farklı şekilde listelenmiştir.

Uzun doğrultuda elde edilen sonuçlara göre, perde ve mantolama uygulamalarının rijitlik ve dayanım üzerinde belirleyici rol oynadığı görülmüştür. M1 modeli (tamamen çerçeve sistem) yüksek yatay deplasman ve düzensiz plastik mafsalları dağılımı göstermiştir. M4 modeli, perdesiz olmasına rağmen kolon mantolaması sayesinde benzer davranış eğilimleri sergilemiş, özellikle alt katlarda deplasman değerlerini M1 modeline göre belirgin biçimde azaltmıştır. Ancak genel performans düzeyi bakımından M1 ve M4 modelleri birbirine oldukça yakın sonuçlar vermiştir. Fakat M2 ve M3 modelleri, sistemdeki perdelerin etkisiyle daha rijit bir davranış sergilemişlerdir. Başlık bulunmayan M2 modeli ile başlıklı M3 modeli arasında belirgin bir dayanım farkı görülmemekle birlikte, M3 modelinde plastik mafsalların daha dengeli dağıldığı ve enerji tüketiminin daha homojen gerçekleştiği tespit edilmiştir. Uzun doğrultuda yapılan statik itme analizleri de bu durumu desteklemektedir: M2 ve M3 modelleri benzer taban kesme kapasitesine ulaşmış, ancak M3 modeli biraz daha yüksek süneklik göstermiştir.Genel olarak uzun doğrultuda M1–M4 grubu düşük rijitlik ve sınırlı dayanım kapasitesiyle; M2–M3 modelleri ise daha rijit ve sünek davranış eğilimiyle öne çıkmıştır.

Kısa doğrultuda yapılan analizlerde, sistemin rijitliğinin uzun doğrultuya kıyasla daha düşük olduğu, dolayısıyla yapı davranışının daha hassas hale geldiği gözlenmiştir. M1 modeli, yüksek deplasmanlar ve düzensiz mafsalları oluşumları göstermiş; M4 modeli ise kolon mantolaması sayesinde benzer davranış eğilimi sergilemiş, ancak mafsalları oluşumları daha kontrollü bir şekilde gerçekleşmiştir. Bu nedenle kısa doğrultuda da M1 ve M4 modelleri arasında genel performans açısından önemli bir fark oluşmamıştır.M2 ve M3

modellerinde ise perde katkısı belirgin şekilde hissedilmiştir. Her iki model de deplasmanları önemli ölçüde azaltmış, plastik mafsalların oluşumunu sınırlamıştır. M3 modelinde başlık etkisiyle sünek davranış biraz daha dengeli dağılmıştır; ancak genel dayanım ve performans düzeyleri itibarıyla M2 ve M3 modelleri birbirine oldukça yakın sonuçlar vermiştir. Kısa doğrultuda yapılan statik itme analizleri sonuçları da bu eğilimi desteklemiştir: M2 ve M3 modelleri benzer yatay yük taşıma kapasitesine ulaşmış, M3 modeli süneklik açısından bir miktar üstünlük sağlamıştır. M1 ve M4 modelleri ise benzer biçimde daha düşük dayanım kapasitesi ve yüksek deplasman talepleri göstermiştir.

M1 ve M4 modelleri benzer davranış göstermiştir; ancak M4 modeli mantolama sayesinde deplasmanları azaltarak daha kontrollü bir performans sergilemiştir. M2 ve M3 modelleri arasında ise başlık kullanımına bağlı küçük farklar oluşmuş, ancak genel olarak her iki model de birbirine yakın performans düzeyleri göstermiştir. Sadece farkları hasarlarda ortaya çıkmaktadır. Başlıksız modelin başlık kenarlarında ezilmelerin hasar seviyesini etkilediği ve bu durumda yapısal sistemin toplam sünekliğine etki ettiği görülmüştür.

- Perde oranı, yapı rijitliği ve dayanımı üzerinde doğrudan etkilidir.
- Başlık kullanımı, mafsal dağılımını düzenleyerek sünek davranışı iyileştirir, ancak dayanım artışı sınırlıdır.
- Kolon mantolaması, perde bulunmayan sistemlerde dayanım artışı sağlamakta, ancak perde katkısına tam olarak denk bir rijitlik kazandırmamaktadır.
- Mantolama dış akslarda süneklik sağlarken iç akslarda gevek göçmeye sebebiyet vermektedir.
- Statik itme ve dinamik analiz sonuçları birbiriyle uyumlu çıkmış; böylece elde edilen bulguların güvenilirliği teyit edilmiştir.
- Eski yapıların tekrar deprem görmesi durumunda hasarların eski elemanlarda oluşması kuvvetle muhtemeldir ve bu durum aslında yapının genel stabilitesini bozmayabilir. Bu durumdan dolayı güçlendirilmiş bir standart altı yapı depreme maruz kalırsa hasarı değerlendirilirken yanlış karar vermemek için yapısal sistem detaylı incelenmelidir.

Sonuç olarak, perde kullanımı yapı performansını belirgin biçimde iyileştirmekte, başlık ve mantolama uygulamaları ise bu etkinin yönünü ve etkisini değiştirmektedir.

Uygulama açısından, perde ve başlık kombinasyonu (M3 benzeri sistemler) optimum performans ve ekonomik çözüm arasında en uygun dengeyi sağlamaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] AFAD (2025). Erişim: 24 Nisan 2025, <https://afad.gov.tr/afad-hakkinda>
- [2] Doğangün, A., Yön, B., Onat, O., Emin Öncü, M., ve Sağiroğlu, S. (2021). Seismicity of East Anatolian of Turkey and failures of infillwallsinducedbymajorearthquakes. *Journal of Earthquake and Tsunami*, 15(04), 2150017.
- [3] Kürçer A, Elmacı H, Yıldırım N, Özalp S (2020) 24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) Depremi (Mw = 6.8) Saha Gözlemleri ve Değerlendirme Raporu, Maden Tetkik Arama Enstitüsü, Ankara.
- [4] Onat, O., Yön, B., Uslu, A., Öncü, M. E., Varolgüneş, S., Karaşin, İ. B., ve Gör, M. (2024). SeismicResistance and Performance Evaluation of MasonryDwellingsAfter the February 6, 2023, Kahramanmaraş Earthquake Sequence in Türkiye. *Journal of Earthquake and Tsunami*, 18(04), 2450013.
- [5] Sezgin, S. K., Sakcalı, G. B., Özen, S., Yıldırım, E., Avcı, E., Bayhan, B., ve Çağlar, N. (2024). Reconnaissancereport on damagecausedby the February 6, 2023, Kahramanmaraş Earthquakes in reinforced-concretestructures. *Journal of Building Engineering*, 89, 109200.
- [6] Wang, T., Chen, J., Zhou, Y., Wang, X., Lin, X., Wang, X., ve Shang, Q. (2023). Preliminary investigation of buildingdamage in Hatay underFebruary 6, 2023 Turkeyearthquakes. *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, 22(4), 853-866.
- [7] Doğangün, A. (2004). Performance of reinforced concrete buildings during the May 1, 2003 Bingöl Earthquake in Turkey. *Engineering Structures*, 26(6), 841-856.
- [8] Ramirez, C. M., Liel, A. B., Mitrani-Reiser, J., Haselton, C. B., Spear, A. D., Steiner, J., ... & Miranda, E. (2012). Expected earthquake damage and repair costs in reinforced concrete frame buildings. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 41(11), 1455-1475.
- [9] Bayraktar, A., Altunişik, A. C., & Pehlivan, M. (2013).Performance and damages of reinforcedconcretebuildingsduring the October 23 and November 9, 2011 Van, Turkey, earthquakes. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 53, 49-72.
- [10] Manfredi, G., Prota, A., Verderame, G. M., De Luca, F., & Ricci, P. (2014). 2012 Emilia earthquake, Italy: reinforced concrete buildings response. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 12(5), 2275-2298.
- [11] Van Cao, V.,&Ronagh, H. R. (2014). Correlation between seismic parameters of far-fault motions and damage indices of low-rise reinforced concrete frames. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 66, 102-112.
- [12] Yön, B., Sayın, E., Onat, O. (2017).Earthquakes and structuraldamages. *Earthquakes-tectonics, hazard and risk mitigation*, 319-339.

- [13] Y n, B., Onat, O., &  nc , M. E. (2019). Earthquake damage to nonstructural elements of reinforced concrete buildings during 2011 Van seismic sequence. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 33(6), 04019075.
- [14] Onat, O. (2019). Experimental damage evaluation of prototype infill wall based on forced vibration test. *Adv ConcrConstr*, 8(2), 77-90.
- [15] Sayın, E., Y n, B., Onat, O., G r, M.,  nc , M. E., Tuğrul Tunç, E., ... & Calayır, Y. (2021). 24 January 2020 Sivrice-Elazığ, Turkey earthquake: geotechnical evaluation and performance of structures. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 19, 657-684.
- [16] Li, L., Luo, G., Wang, Z., Zhang, Y., ve Zhuge, Y. (2021). Prediction of residual behaviour for post-earthquake damaged reinforced concrete column based on damage distribution model. *Engineering Structures*, 234, 111927.
- [17] Boj rquez, J., Ponce, S., Ruiz, S. E., Boj rquez, E., Reyes-Salazar, A., Barraza, M., ... ve Baca, V. (2021). Structural reliability of reinforced concrete buildings under earthquakes and corrosion effects. *Engineering Structures*, 237, 112161.
- [18] Ivanov, M. L., ve Chow, W. K. (2023). Structural damage observed in reinforced concrete buildings in Adiyaman during the 2023 Türkiye Kahramanmaraş Earthquakes. *In Structures* (Vol. 58, p. 105578). Elsevier.
- [19]  nce, O. (2024). Structural damage assessment of reinforced concrete buildings in Adiyaman after Kahramanmaraş (Türkiye) Earthquakes on 6 February 2023. *Engineering Failure Analysis*, 156, 107799.
- [20] Y n, B., Dedeoğlu,  .  ., Yetkin, M., Erkek, H., & Calayır, Y. (2025). Evaluation of the seismic response of reinforced concrete buildings in the light of lessons learned from the February 6, 2023, Kahramanmaraş, Türkiye earthquake sequences. *Natural Hazards*, 121(1), 873-909.
- [21] Sezgin, S. K., Sakcalı, G. B.,  zen, S., Yıldırım, E., Avcı, E., Bayhan, B., ve  ağlar, N. (2024). Reconnaissance report on damage caused by the February 6, 2023, Kahramanmaraş Earthquakes in reinforced-concrete structures. *Journal of Building Engineering*, 89, 109200.
- [22] Altunışık, A. C., Arslan, M. E., Kahya, V., Aslan, B., Sezdirmez, T., Dok, G., ... ve Nas, M. (2023). Field observations and damage evaluation in reinforced concrete buildings after the February 6th, 2023, Kahramanmaraş–Türkiye Earthquakes. *Journal of Earthquake and Tsunami*, 17(06), 2350024.
- [23] Sevim, B., Ayvaz, Y., Akbulut, S., Aydiner, M. F., Uzun, S., ve Ari, A. (2024). Seismic performance and damage evaluation of reinforced concrete structures based on field investigation made after February 6, 2023, Kahramanmaraş earthquakes. *Journal of Earthquake and Tsunami*, 18(01), 2350032.
- [24] Turan, A. I., Celik, A., Kumbasaroglu, A., ve Yalciner, H. (2024). Assessment of reinforced concrete building damages following the Kahramanmaraş

earthquakes in Malatya, Turkey (February 6, 2023). *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 54, 101718.

- [25] Erbaş, Y., Mercimek, Ö., Anıl, Ö., Çelik, A., Akkaya, S. T., Kocaman, İ., ve Gürbüz, M. (2024). Design deficiencies, failure modes and recommendations for strengthening in reinforced concrete structures exposed to the February 6, 2023 Kahramanmaraş Earthquakes (Mw 7.7 and Mw 7.6). *Natural Hazards*, 1-42.
- [26] Çelebi, E., ve Kirtel, O. (2025). Seismic performance of reinforced concrete framed buildings with ribbed slabs at the affected region by 2023 Kahramanmaraş earthquakes. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 1-24.
- [27] Onat, O., Yon, B., Calayir, Y. (2018). Seismic assessment of existing RC buildings before and after shear-wall retrofitting. *Gradevinar*, 70(8).
- [28] Onat, O., Yön, B. (2021). A novel inter-story drift limit proposal for TBEC2018 and fragility prognosis with TSC2007. *Journal of Structural Engineering*, 4(2), 068-082.
- [29] Onat, O., Yön, B. (2021). Incremental dynamic analysis of mid-rise rc buildings to assess effect of concrete strength and tension reinforcement ratio in beam. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 26(1), 283-300.
- [30] Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara, 2018
- [31] TS EN 12504-1 (2002) “Yapıda Beton Deneyleri, Bölüm 1: Karot Numuneler–karot Alma, Muayene ve Basınç Dayanımının Tayini”, Nisan 2002, TSE
- [32] Onat O., Turgut, P. (2023) Milli Savunma Bakanlığı Akaryakıt İkmal ve Nato Pol Tesisleri İşletme Başkanlığı Malatya Bölge Müdürlüğü Lojmanları Detaylı Yapısal İnceleme Raporu, Malatya.
- [33] SeisMosoft. (2023) A Computer Program for Static and Dynamic Nonlinear Analysis of Framed Structures. V23 ed. Italy 2023.
- [34] Madas, P. J. (1993). Advanced modelling of composite frames subject to earthquake loading (Doctoral dissertation, Imperial College London (University of London)).
- [35] Mander, J. B., Priestley, M. J., Park, R. (1988). Theoretical stress-strain model for confined concrete. *Journal of structural engineering*, 114(8), 1804-1826.
- [36] Martínez-Rueda, J. E., Elnashai, A. S. (1997). Confined concrete model under cyclic load. *Materials and structures*, 30(3), 139-147.
- [37] Menegotto, M., Pinto, P. E. (1977). Slender RC compressed members in biaxial bending. *Journal of the Structural Division*, 103(3), 587-605.
- [38] Filippou, F. C., Popov, E. P., Bertero, V. V. (1983). Effects of bond deterioration on hysteretic behavior of reinforced concrete joints.
- [39] Tektaş, Ş., (2024). Yumuşak katlı betonarme binaların sismik kırılganlıklarının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Munzur Üniversitesi, Tunceli, 2024.
- [40] Karasin, I. B. (2023). Analytic investigation of hooked stirrups on seismic behavior of reinforced concrete 3D frame buildings. *Applied Sciences*, 13(20), 11590.

- [41] **Öncü, M.E., Şahin Yön, M., (2016).** Betonarme binaların deprem davranışlarının artımsal dinamik analiz yöntemiyle değerlendirilmesi. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, Cilt: 7, Sayı: 1, 23-32.
- [42] **Şahin Yön, M., (2017).** Betonarme binaların deprem davranışının artımsal dinamik analiz yöntemiyle incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [43] **Yön, B., Calayır, Y. (2014).** Effects of confinement reinforcement and concrete strength on nonlinear behaviour of RC buildings. *Computures and Concrete*, 14(3): 279-297.
- [44] **Egi, E. (2021).** Statik İtme Analizi Yöntemiyle Betonarme Yapılarda Çeşitli Taşıyıcı Sistem Tasarımlarının Performanslarının Değerlendirilmesi (Master's thesis, Sakarya Üniversitesi).
- [45] **Jamal, R., Yüksel, S.B., (2021).** TBDY 2018 ve ASCE 41-17 yönetmeliklerine göre çerçevesel bir yapının performans analizlerinin karşılaştırılması. El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt: 8, No: 1.
- [46] **Karaşin, İ.B., Öncü, M.E., (2022).** Farklı dolgu tipleri için çerçevelerin itme analizi ile kıyaslanması. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, Özel Sayı 39, S. 91-96.
- [50] **Taş, Ö.F., Sayın, E., Öncü, M.E., (2022).** Yeni betonarme binalar için etkin kesit rijitlikleri ve statik itme analizleri. Fırat Üniversitesi Müh. Bil.Dergisi, 34(2), 505-516, 2022.
- [51] **Sullivan, T.J., Saborio-Romano, D., O'Reilly, G.J., Welch, D.P., Landi, L., (2021).** Simplified pushover analysis of moment resisting frame structures. *Journal of Earthquake Engineering*, 25(4), 621-648.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad :Şenol ALBAYRAK

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans:**1996-2000, Fırat Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Öğretmenliği
- **Yüksek Lisans:**2021, İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana bilimdalı, Mekanik bilim dalı

MESLEKİ DENEYİM:

- 2006-2019, Emniyet Genel Müdürlüğünde polis memuru olarak çalıştı.
- 2019- Günümüz, Elazığ İl Milli Eğitim Müdürlüğünde öğretmen olarak halen çalışıyor.