T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

AŞAMALI GÖÇMEYE MARUZ KALAN BETONARME BİNALARIN DAVRANIŞI

Kamran SAMADI

DANIŞMAN
Prof. Dr. Barış SAYIN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İnşaat Mühendisliği, Doktora Programı

Kasım, 2025

TEZ KABUL VE ONAYI

Kamran SAMADI tarafından, **Prof. Dr. Barış SAYIN** danışmanlığında hazırlanan **"AŞAMALI GÖÇMEYE MARUZ KALAN BETONARME BİNALARIN DAVRANIŞI"** başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından **28/11/2025** tarihinde yapılan sınav sonucunda **oy birliği** ile başarılı bulunarak **Doktora Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

		İmza	Sonuç
DANIŞMAN	Prof. Dr. Barış SAYIN İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı		☒ Kabul ☐ Ret
ÜYE	Prof. Dr. Turgay ÇOŞGUN İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı		☒ Kabul ☐ Ret
ÜYE	Prof. Dr. Mücteba UYSAL Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı		☒ Kabul ☐ Ret
ÜYE	Prof. Dr. Barış SEVİM Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı		☒ Kabul ☐ Ret

ÜYE	Prof. Dr. Turhan BİLİR İstanbul Üniversitesi- Cerrahpaşa İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret

Baba'ma ithaf ediyorum…

BÜTÇE DESTEKLERİ

Aşamalı Göçmeye Maruz Kalan Betonarme Binaların Davranışı

Bu tez çalışması için herhangi bir kurumdan bütçe desteği alınmamıştır.

TEŞEKKÜR

Sunulmuş olan doktora tezimin hazırlık sürecinde katkısı bulunan kişilere içten teşekkürlerimi sunarım. Öncelikle, çalışmalarım boyunca bilgi birikimi, yönlendirmeleri ve değerli eleştirileriyle bana yol gösteren tez danışmanım Prof. Dr. Barış Sayın'a en derin şükranlarımı ifade ederim. Ayrıca, araştırmanın çeşitli aşamalarında beni destekleyen ve değerli katkılar sunan güzel gönüllü kardeşim Dr. Mehmet Fırat Karapınar'a da müteşekkirim. Son olarak, bu çalışmanın deprem mühendisliği literatürüne katkı sağlamasını ve gelecekteki araştırmalara ışık tutmasını temenni ederim.

Kasım 2025 Kamran SAMADI

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEZ KABUL VE ONAYI ii
BEYAN iv
BÜTÇE DESTEKLERİ vi
TEŞEKKÜR vii
İÇİNDEKİLER viii
ŞEKİL LİSTESİ xii
TABLO LİSTESİ xxxiii
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ xlii
ÖZET xlv
ABSTRACT xlvii
1. GİRİŞ 1
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE 4
2.1. Genel Tanıtım……4
2.2. Göçme Olasılığı Modeli……..7
2.3. Sağlamlık Teknikleri……...8
2.4. Göçme analizinde iki paradigma……9
2.4.1. Tehditten bağımsız yaklaşım……9
2.4.2. Tehdide bağlı yaklaşım……...10
2.5. Akademik Çalışmalar……10
2.5.1. Sonlu Elemanlar Analiz Yöntemi Çalışmaları……10
2.5.1.1. Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı…….……10
2.5.1.2. Artımlı Dinamik…….……11
2.5.2. Uygulamalı Elemanlar…….……13
2.5.3. Diğer Yöntemler…….……14
2.5.4. Değerlendirme…….……24
3. YÖNTEM 25

3.1. MODEL……..25
3.1.1. Model B……..……...…28
3.1.2. Model C……..……...…29
3.1.3. Model D……..……...…31
3.1.4. Model E……..…….…...…32
3.1.5. Döşeme Kalınlığı Etkisi…….……33
3.1.6. Kiriş Kapasitesi Etkisi……...33
3.2. GÖÇME SENARYOLARI……34
3.3. DOĞRUSAL OLMAYAN ZAMAN TANIM ALANI YÖNTEMİ……..35
3.3.1. Deprem Kaydı Seçimi……36
3.3.2. Plastik Mafsal……42
3.3.2.1. Kirişlerde Yığılı (Lump) Mafsal……...43
3.3.2.2. Kolonlar Yayılı (Fiber) Mafsal……43
3.3.2.3. Hasar bölgeleri……..44
3.3.3. Başlangıç Koşulları Analizi…….……..46
3.3.4. Malzeme Modelleri…….……...48
3.3.4.1. Beton Malzeme Modeli……48
3.3.4.2. Donatı Çeliği Malzeme Modeli…….……49
3.3.5. Gevrek Eleman kontrolü……50
4. BULGULAR 52
4.1. MODEL A ANALİZ SONUÇLARI……52
4.1.1. Kontrol Modelinin Analiz Sonuçları……....52
4.1.2. Senaryo A-1 Analiz Sonuçları……..56
4.1.3. Senaryo A-2 Analiz Sonuçları……..61
4.1.4. Senaryo A-3 Analiz Sonuçları……..67
4.1.5. Senaryo A-4 Analiz Sonuçları……..72
4.1.6. Senaryo A-5 Analiz Sonuçları……..77
4.1.7. Senaryo A-6 Analiz Sonuçları……..83
4.1.8. Senaryo A-7 Analiz Sonuçları……..88
4.1.9. Senaryo A-8 Analiz Sonuçları……..94

4.1.10. Senaryo A-9 Analiz Sonuçları…….……100
4.1.11. Senaryo A-10 Analiz Sonuçları……105
4.1.12. Senaryo A-11 Analiz Sonuçları……111
4.1.13. Senaryo A-12 Analiz Sonuçları……...……116
4.1.14. Senaryo A-13 Analiz Sonuçları……122
4.1.15. Senaryo A-14 Analiz Sonuçları……128
4.1.16. Senaryo A-15 Analiz Sonuçları……134
4.1.17. Senaryo A-16 Analiz Sonuçları……140
4.1.18. Senaryo A-17 Analiz Sonuçları……144
4.1.19. Senaryo A-18 Analiz Sonuçları……149
4.1.20. Senaryo A-19 Analiz Sonuçları……154
4.1.21. Senaryo A-20 Analiz Sonuçları……159
4.1.22. Senaryo A-21 Analiz Sonuçları……163
4.1.23. Senaryo A-22 Analiz Sonuçları……168
4.2. MODEL B ANALİZ SONUÇLARI……173
4.2.1. Kontrol Modelinin Analiz Sonuçları…….……173
4.2.2. Senaryo B-1 Analiz Sonuçları……177
4.2.3. Senaryo B-2 Analiz Sonuçları……181
4.2.4. Senaryo B-3 Analiz Sonuçları……185
4.3. MODEL C ANALİZ SONUÇLARI……190
4.3.1. Kontrol Modelinin Analiz Sonuçları…….……190
4.3.2. Senaryo C-1 Analiz Sonuçları……194
4.3.3. Senaryo C-2 Analiz Sonuçları……198
4.3.4. Senaryo C-3 Analiz Sonuçları……202
4.4. MODEL D ANALİZ SONUÇLARI……206
4.4.1. Kontrol Modelinin Analiz Sonuçları…….……206
4.4.2. Senaryo D-1 Analiz Sonuçları……206
4.4.3. Senaryo D-2 Analiz Sonuçları……215
4.4.4. Senaryo D-3 Analiz Sonuçları……219
4.5. MODEL E ANALİZ SONUÇLARI……223

4.5.1. Kontrol Modelinin Analiz Sonuçları…….…….223
4.5.2. Senaryo E-1 Analiz Sonuçları……226
4.5.3. Senaryo E-2 Analiz Sonuçları……231
4.5.4. Senaryo E-3 Analiz Sonuçları……236
5. TARTIŞMA.....241
5.1. DÖŞEME KALINLIĞI…….241
5.2. KİRİŞ KAPASİTESİ……...….243
5.3. KOLON KONUMU ve SAYISI……...245
5.4. KOMŞU ELEMANLAR……..247
5.4.1. A-1 ila A-5 Senaryolarında Komşu Kolon Davranışı…….251
5.4.2. A-6 ila A-10 Senaryolarında Komşu Kolon Davranışı……...252
5.4.3. A-11 ila A-15 Senaryolarında Komşu Kolon Davranışı…….253
5.4.4. Komşu Kiriş Davranışı……..…….253
5.5. Düzensizlik Etkisi…….254
6. SONUÇ VE ÖNERİLER 270
KAYNAKLAR.....273
EKLER.....281
İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI 282
ETİK KURUL İZİN YAZISI 283
KURUM İZNİ YAZILARI.....284
ÖZGEÇMİŞ.....285

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: Çerçeve yapılarında en yaygın göçme tipleri……...……6

Şekil 3.1: Kontrol modelinin plan ve uç boyutlu görüntüleri……..25

Şekil 3.2: Model D'nin plan ve uç boyutlu görüntüleri ……28

Şekil 3.3: Model C'nin plan ve uç boyutlu görüntüleri……29

Şekil 3.4: Model D'nin plan ve uç boyutlu görüntüleri ……31

Şekil 3.5: Model E'nin plan ve uç boyutlu görüntüleri……32

Şekil 3.6: New Zealand-02 deprem kaydı; (Sol): X doğrultusu (Sağ): Y doğrultusu……37

Şekil 3.7: Corinth_ Greece deprem kaydı; (Sol): X doğrultusu (Sağ): Y doğrultusu……37

Şekil 3.8: Kern County deprem kaydı; (Sol): X doğrultusu (Sağ): Y doğrultusu…….……..37

Şekil 3.9: Hector Mine deprem kaydı; (Sol): X doğrultusu (Sağ): Y doğrultusu…….……38

Şekil 3.10: Landers deprem kaydı; (Sol): X doğrultusu (Sağ): Y doğrultusu……38

Şekil 3.11: Northridge-01 deprem kaydı; (Sol): X doğrultusu (Sağ): Y doğrultusu……..38

Şekil 3.12: Cape Mendocino deprem kaydı; (Sol): X doğrultusu (Sağ): Y doğrultusu…….39

Şekil 3.13: Yatay ekseninde ortalama bileşik ivme kayıtları; (Sol): Ölçeklendirilmemiş; (Sağ) Ölçeklendirilmiş……39

Şekil 3.14: New Zealand-02 deprem kaydı; Z doğrultusu…….……40

Şekil 3.15: Corinth_ Greece deprem kaydı; Z doğrultusu……..40

Şekil 3.16: Kern County deprem kaydı; Z doğrultusu……40

Şekil 3.17: Hector Mine deprem kaydı; Z doğrultusu…….……..41

Şekil 3.18: Landers deprem kaydı; Z doğrultusu…….……..41

Şekil 3.19: Northridge-01deprem kaydı; Z doğrultusu……..41

Şekil 3.20: Cape Mendocino deprem kaydı; Z doğrultusu……42

Şekil 3.21: Düşey ekseninde ortalama bileşik ivme kayıtları; (Sol): Ölçeklendirilmemiş; (Sağ) Ölçeklendirilmiş……42

Şekil 3.22: Kesit hasar bölgeleri ……...……45

Şekil 3.23: P-delta etkisi……46

Şekil 3.24: Mander beton malzeme modeli……48

Şekil 3.25: Donatı çeliği malzeme modeli…….49

Şekil 4.1: Kontrol modelinde kolonların maksimum eksenel kuvvetleri (kN)…….…….52

Şekil 4.2: Kontrol modelinde kolonların X yönünde maksimum momentler (kN.m)……52

Şekil 4.3: Kontrol modelinde kolonların Y yönünde maksimum momentler (kN.m)…..……..53

Şekil 4.4: Kontrol modelinde kolonların X yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN)…..…53

Şekil 4.5: Kontrol modelinde kolonların Y yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN)…….53

Şekil 4.6: Kontrol modelinde kolonların maksimum burulma momentleri (kN.m)…...……53

Şekil 4.7: Kontrol modelinde kirişlerin maksimum kesme kuvvetleri (kN)…….54

Şekil 4.8: Kontrol modelinde kirişlerin maksimum eğilme momentleri (kN.m)……..54

Şekil 4.9: Kontrol modelinde kirişlerin maksimum burulma momentleri (kN.m)…….54

Şekil 4.10: Kontrol modelinde kolon kesitlerinin betonunda maksimum birim şekildeğiştirme değerleri……...…….54

Şekil 4.11: Kontrol modelinde kolon kesitlerinin donatısında maksimum birim şekildeğiştirme değerleri……...…….55

Şekil 4.12: Kontrol modelinde kiriş kesitlerinin I ucunda maksimum dönme değerleri (rad)..55

Şekil 4.13: Kontrol modelinde kiriş kesitlerinin J ucunda maksimum dönme değerleri (rad)…55

Şekil 4.14: Senaryo A-1'de kolonların maksimum eksenel kuvvetleri (kN)……57

Şekil 4.15: Senaryo A-1'de kolonların X yönünde maksimum momentler (kN.m)…….57

Şekil 4.16: Senaryo A-1'de kolonların Y yönünde maksimum momentler (kN.m)……..57

Şekil 4.17: Senaryo A-1'de kolonların X yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).……..58

Şekil 4.18: Senaryo A-1'de kolonların Y yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN)……...58

Şekil 4.19: Senaryo A-1'de kolonların maksimum burulma momentleri (kN.m)……58

Şekil 4.20: Senaryo A-1'de kirişlerin maksimum kesme kuvvetleri (kN)……58

Şekil 4.21: Senaryo A-1'de kirişlerin maksimum eğilme momentleri (kN.m)…….59

Şekil 4.22: Senaryo A-1'de kirişlerin maksimum burulma momentleri (kN.m)……..……59

Şekil 4.23: Senaryo A-1'de kolon kesitlerinin betonunda maksimum birim şekildeğiştirme değerleri……59

Şekil 4.24: Senaryo A-1'de kolon kesitlerinin donatısında maksimum birim şekildeğiştirme değerleri……59

Şekil 4.25: Senaryo A-1'de kiriş kesitlerinin I ucunda maksimum dönme değerleri (rad)…..60

Şekil 4.26: Senaryo A-1'de kiriş kesitlerinin J ucunda maksimum dönme değerleri (rad)…..60

Şekil 4.27: Senaryo A-2'de kolonların maksimum eksenel kuvvetler (kN)…….……62

Şekil 4.28: Senaryo A-2'de kolonların X yönünde maksimum momentleri (kN.m)……62

Şekil 4.29: Senaryo A-2'de kolonların Y yönünde maksimum momentleri (kN.m)……63

Şekil 4.30: Senaryo A-2'de kolonların X yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN)……..63

Şekil 4.31: Senaryo A-2'de kolonların Y yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN)……..63

Şekil 4.32: Senaryo A-2'de kolonların maksimum burulma momentleri (kN.m)……63

Şekil 4.33: Senaryo A-2'de kirişlerin maksimum kesme kuvvetleri (kN)…….……..64

Şekil 4.34: Senaryo A-2'de kirişlerin maksimum eğilme momentleri (kN.m)…….……64

Şekil 4.35: Senaryo A-2'de kirişlerin maksimum burulma momentleri (kN.m)……..64

Şekil 4.36: Senaryo A-2'de kolon kesitlerinin betonunda maksimum birim şekildeğiştirme değerleri……64

Şekil 4.37: Senaryo A-2'de kolon kesitlerinin donatısında maksimum birim şekildeğiştirme değerleri……65

Şekil 4.38: Senaryo A-2'de kiriş kesitlerinin I ucunda maksimum dönme değerleri (rad).…65

Şekil 4.39: Senaryo A-2'de kiriş kesitlerinin J ucunda maksimum dönme değerleri (rad).…65

Şekil 4.40: Senaryo A-3'te kolonların maksimum eksenel kuvvetleri (kN)…….67

Şekil 4.41: Senaryo A-3'te kolonların X yönünde maksimum momentleri (kN.m)…….68

Şekil 4.42: Senaryo A-3'te kolonların Y yönünde maksimum momentleri (kN.m)…….68

Şekil 4.43: Senaryo A-3'te kolonların X yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN)……68

Şekil 4.44: Senaryo A-3'te kolonların Y yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN)……68

Şekil 4.45: Senaryo A-3'te kolonların maksimum burulma momentleri (kN.m)…….69

Şekil 4.46: Senaryo A-3'te kirişlerin maksimum kesme kuvvetleri (kN)…….69

Şekil 4.47: Senaryo A-3'te kirişlerin maksimum eğilme momentleri (kN.m)…..…….69

Şekil 4.48: Senaryo A-3'te kirişlerin maksimum burulma momentleri (kN.m)…….……..69

Şekil 4.49: Senaryo A-3'te kolon kesitlerinin betonunda maksimum birim şekildeğiştirme değerleri……70

Şekil 4.50: Senaryo A-3'te kolon kesitlerinin donatısında maksimum birim şekildeğiştirme değerleri……..…….70
Şekil 4.51: Senaryo A-3'te kiriş kesitlerinin I ucunda maksimum dönme değerleri (rad)…...70
Şekil 4.52: Senaryo A-3'te kiriş kesitlerinin J ucunda maksimum dönme değerleri (rad)…...70
Şekil 4.53: Senaryo A-4'te kolonların maksimum eksenel kuvvetleri (kN)…….……73
Şekil 4.54: Senaryo A-4'te kolonların X yönünde maksimum momentleri (kN.m)…….……73
Şekil 4.55: Senaryo A-4'te kolonların Y yönünde maksimum momentleri (kN.m)…….……73
Şekil 4.56: Senaryo A-4'te kolonların X yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN)……74
Şekil 4.57: Senaryo A-4'te kolonların Y yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN)……74
Şekil 4.58: Senaryo A-4'te kolonların maksimum burulma momentleri (kN.m)……..…74
Şekil 4.59: Senaryo A-4'te kirişlerin maksimum kesme kuvvetleri (kN)…….……74
Şekil 4.60: Senaryo A-4'te kirişlerin maksimum eğilme momentleri (kN.m)…….75
Şekil 4.61: Senaryo A-4'te kirişlerin maksimum burulma momentleri (kN.m)……..…..75
Şekil 4.62: Senaryo A-4'te kolon kesitlerinin betonunda maksimum birim şekildeğiştirme değerleri……75
Şekil 4.63: Senaryo A-4'te kolon kesitlerinin donatısında maksimum birim şekildeğiştirme değerleri……75
Şekil 4.64: Senaryo A-4'te kiriş kesitlerinin I ucunda maksimum dönme değerleri (rad)…...76
Şekil 4.65: Senaryo A-4'te kiriş kesitlerinin J ucunda maksimum dönme değerleri (rad)…...76
Şekil 4.66: Senaryo A-5'te kolonların maksimum eksenel kuvvetleri (kN)…….……78
Şekil 4.67: Senaryo A-5'te kolonların X yönünde maksimum momentleri (kN.m)…….……78
Şekil 4.68: Senaryo A-5'te kolonların Y yönünde maksimum momentleri (kN.m)…….79
Şekil 4.69: Senaryo A-5'te kolonların X yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN)……79
Şekil 4.70: Senaryo A-5'te kolonların Y yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN)……79
Şekil 4.71: Senaryo A-5'te kolonların maksimum burulma momentleri (kN.m)…….79
Şekil 4.72: Senaryo A-5'te kirişlerin maksimum kesme kuvvetleri (kN)…….80
Şekil 4.73: Senaryo A-5'te kirişlerin maksimum eğilme momentleri (kN.m)……..……80
Şekil 4.74: Senaryo A-5'te kirişlerin maksimum burulma momentleri (kN.m)…….……..80
Şekil 4.75: Senaryo A-5'te kolon kesitlerinin betonunda maksimum birim şekildeğiştirme değerleri……80
Şekil 4.76: Senaryo A-5'te kolon kesitlerinin donatısında maksimum birim şekildeğiştirme değerleri……81
Şekil 4.77: Senaryo A-5'te kiriş kesitlerinin I ucunda maksimum dönme değerleri (rad)…...81

Şekil 4.78: Senaryo A-5'te kiriş kesitlerinin J ucunda maksimum dönme değerleri (rad)…...81
Şekil 4.79: Senaryo A-6'da kolonların maksimum eksenel kuvvetleri (kN)……83
Şekil 4.80: Senaryo A-6'da kolonların X yönünde maksimum momentleri (kN.m)……84
Şekil 4.81: Senaryo A-6'da kolonların Y yönünde maksimum momentleri (kN.m)……84
Şekil 4.82: Senaryo A-6'da kolonların X yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN)……...84
Şekil 4.83: Senaryo A-6'da kolonların Y yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN)…..….84
Şekil 4.84: Senaryo A-6'da kolonların maksimum burulma momentleri (kN.m)……85
Şekil 4.85: Senaryo A-6'da kirişlerin maksimum kesme kuvvetleri (kN)……85
Şekil 4.86: Senaryo A-6'da kirişlerin maksimum eğilme momentleri (kN.m)…….85
Şekil 4.87: Senaryo A-6'da kirişlerin maksimum burulma momentleri (kN.m)…….…….85
Şekil 4.88: Senaryo A-6'da kolon kesitlerinin betonunda maksimum birim şekildeğiştirme değerleri……86
Şekil 4.89: Senaryo A-6'da kolon kesitlerinin donatısında maksimum birim şekildeğiştirme değerleri……86
Şekil 4.90: Senaryo A-6'da kiriş kesitlerinin I ucunda maksimum dönme değerleri (rad)…..86
Şekil 4.91: Senaryo A-6'da kiriş kesitlerinin J ucunda maksimum dönme değerleri (rad)…..86
Şekil 4.92: Senaryo A-7'de kolonların maksimum eksenel kuvvetleri (kN)……89
Şekil 4.93: Senaryo A-7'de kolonların X yönünde maksimum momentleri (kN.m)……89
Şekil 4.94: Senaryo A-7'de kolonların Y yönünde maksimum momentleri (kN.m)……90
Şekil 4.95: Senaryo A-7'de kolonların X yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN)……...90
Şekil 4.96: Senaryo A-7'de kolonların Y yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN)……...90
Şekil 4.97: Senaryo A-7'de kolonların maksimum burulma momentleri (kN.m)……90
Şekil 4.98: Senaryo A-7'de kirişlerin maksimum kesme kuvvetleri (kN)……91
Şekil 4.99: Senaryo A-7'de kirişlerin maksimum eğilme momentleri (kN.m)…….91
Şekil 4.100: Senaryo A-7'de kirişlerin maksimum burulma momentleri (kN.m)……91
Şekil 4.101: Senaryo A-7'de kolon kesitlerinin betonunda maksimum birim şekildeğiştirme değerleri……91
Şekil 4.102: Senaryo A-7'de kolon kesitlerinin donatısında maksimum birim şekildeğiştirme değerleri……...…….92
Şekil 4.103: Senaryo A-7'de kiriş kesitlerinin I ucunda maksimum dönme değerleri (rad)…92
Şekil 4.104: Senaryo A-7'de kiriş kesitlerinin J ucunda maksimum dönme değerleri (rad)…92
Şekil 4.105: Senaryo A-8'de kolonların maksimum eksenel kuvvetleri (kN)…….…….95
Şekil 4.106: Senaryo A-8'de kolonların X yönünde maksimum momentleri (kN.m)…..……95

Şekil 4.107: Senaryo A-8'de kolonların Y yönünde maksimum momentleri (kN.m)…….....95
Şekil 4.108: Senaryo A-8'de kolonların X yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN)…....95
Şekil 4.109: Senaryo A-8'de kolonların Y yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN)…….96
Şekil 4.110: Senaryo A-8'de kolonların maksimum burulma momentleri (kN.m)……..96
Şekil 4.111: Senaryo A-8'de kirişlerin maksimum kesme kuvvetleri (kN)…….……...…..96
Şekil 4.112: Senaryo A-8'de kirişlerin maksimum eğilme momentleri (kN.m)……...……96
Şekil 4.113: Senaryo A-8'de kirişlerin maksimum burulma momentleri (kN.m)……97
Şekil 4.114: Senaryo A-8'de kolon kesitlerinin betonunda maksimum birim şekildeğiştirme değerleri……97
Şekil 4.115: Senaryo A-8'de kolon kesitlerinin donatısında maksimum birim şekildeğiştirme değerleri……97
Şekil 4.116: Senaryo A-8'de kiriş kesitlerinin I ucunda maksimum dönme değerleri (rad)…97
Şekil 4.117: Senaryo A-8'de kiriş kesitlerinin J ucunda maksimum dönme değerleri (rad)…98
Şekil 4.118: Senaryo A-9'da kolonların maksimum eksenel kuvvetleri (kN)……100
Şekil 4.119: Senaryo A-9'da kolonların X yönünde maksimum momentleri (kN.m)……100
Şekil 4.120: Senaryo A-9'da kolonların Y yönünde maksimum momentleri (kN.m)……101
Şekil 4.121: Senaryo A-9'da kolonların X yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN)…...101
Şekil 4.122: Senaryo A-9'da kolonların Y yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN)…...101
Şekil 4.123: Senaryo A-9'da kolonların maksimum burulma momentleri (kN.m)……101
Şekil 4.124: Senaryo A-9'da kirişlerin maksimum kesme kuvvetleri (kN)……102
Şekil 4.125: Senaryo A-9'da kirişlerin maksimum eğilme momentleri (kN.m)…..……102
Şekil 4.126: Senaryo A-9'da kirişlerin maksimum burulma momentleri (kN.m)…….…….102
Şekil 4.127: Senaryo A-9'da kolon kesitlerinin betonunda maksimum birim şekildeğiştirme değerleri…….…….102
Şekil 4.128: Senaryo A-9'da kolon kesitlerinin donatısında maksimum birim şekildeğiştirme değerleri……..103
Şekil 4.129: Senaryo A-9'da kiriş kesitlerinin I ucunda maksimum dönme değerleri (rad)..103
Şekil 4.130: Senaryo A-9'da kiriş kesitlerinin J ucunda maksimum dönme değerleri (rad)..103
Şekil 4.131: Senaryo A-10'da kolonların maksimum eksenel kuvvetleri (kN)…….……106
Şekil 4.132: Senaryo A-10'da kolonların X yönünde maksimum momentleri (kN.m)…..…106
Şekil 4.133: Senaryo A-10'da kolonların Y yönünde maksimum momentleri (kN.m)…..…106
Şekil 4.134: Senaryo A-10'da kolonların X yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN)….106
Şekil 4.135: Senaryo A-10'da kolonların Y yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN)….107

Şekil 4.136: Senaryo A-10'da kolonların maksimum burulma momentleri (kN.m)……..107

Şekil 4.137: Senaryo A-10'da kirişlerin maksimum kesme kuvvetleri (kN)…….…….107

Şekil 4.138: Senaryo A-10'da kirişlerin maksimum eğilme momentleri (kN.m)……...…107

Şekil 4.139: Senaryo A-10'da kirişlerin maksimum burulma momentleri (kN.m)……108

Şekil 4.140: Senaryo A-10'da kolon kesitlerinin betonunda maksimum birim şekildeğiştirme değerleri…….…….108

Şekil 4.141: Senaryo A-10'da kolon kesitlerinin donatısında maksimum birim şekildeğiştirme değerleri…….…….108

Şekil 4.142: Senaryo A-10'da kiriş kesitlerinin I ucunda maksimum dönme değerleri (rad)…….108

Şekil 4.143: Senaryo A-10'da kiriş kesitlerinin J ucunda maksimum dönme değerleri (rad)…….109

Şekil 4.144: Senaryo A-11'de kolonların maksimum eksenel kuvvetleri (kN)……..111

Şekil 4.145: Senaryo A-11'de kolonların X yönünde maksimum momentleri (kN.m)……..111

Şekil 4.146: Senaryo A-11'de kolonların Y yönünde maksimum momentleri (kN.m)…..…112

Şekil 4.147: Senaryo A-11'de kolonların X yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN)….112

Şekil 4.148: Senaryo A-11'de kolonların Y yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN)….112

Şekil 4.149: Senaryo A-11'de kolonların maksimum burulma momentleri (kN.m)……..112

Şekil 4.150: Senaryo A-11'de kirişlerin maksimum kesme kuvvetleri (kN)……..113

Şekil 4.151: Senaryo A-11'de kirişlerin maksimum eğilme momentleri (kN.m)……...113

Şekil 4.152: Senaryo A-11'de kirişlerin maksimum burulma momentleri (kN.m)……113

Şekil 4.153: Senaryo A-11'de kolon kesitlerinin betonunda maksimum birim şekildeğiştirme değerleri…….…….113

Şekil 4.154: Senaryo A-11'de kolon kesitlerinin donatısında maksimum birim şekildeğiştirme değerleri…….…….114

Şekil 4.155: Senaryo A-11'de kiriş kesitlerinin I ucunda maksimum dönme değerleri (rad)…….114

Şekil 4.156: Senaryo A-11'de kiriş kesitlerinin J ucunda maksimum dönme değerleri (rad)…….114

Şekil 4.157: Senaryo A-12'de kolonların maksimum eksenel kuvvetleri (kN)……..117

Şekil 4.158: Senaryo A-12'de kolonların X yönünde maksimum momentleri (kN.m)……..117

Şekil 4.159: Senaryo A-12'de kolonların Y yönünde maksimum momentleri (kN.m)……..117

Şekil 4.160: Senaryo A-12'de kolonların X yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN)….118

Şekil 4.161: Senaryo A-12'de kolonların Y yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN)….118

Şekil 4.162: Senaryo A-12'de kolonların maksimum burulma momentleri (kN.m)……..118
Şekil 4.163: Senaryo A-12'de kirişlerin maksimum kesme kuvvetleri (kN)……..118
Şekil 4.164: Senaryo A-12'de kirişlerin maksimum eğilme momentleri (kN.m)…..……..119
Şekil 4.165: Senaryo A-12'de kirişlerin maksimum burulma momentleri (kN.m)……119
Şekil 4.166: Senaryo A-12'de kolon kesitlerinin betonunda maksimum birim şekildeğiştirme değerleri……..119
Şekil 4.167: Senaryo A-12'de kolon kesitlerinin donatısında maksimum birim şekildeğiştirme değerleri……..120
Şekil 4.168: Senaryo A-12'de kiriş kesitlerinin I ucunda maksimum dönme değerleri (rad)……...……..120
Şekil 4.169: Senaryo A-12'de kiriş kesitlerinin J ucunda maksimum dönme değerleri (rad)……...……..120
Şekil 4.170: Senaryo A-13'te kolonların maksimum eksenel kuvvetleri (kN)……...123
Şekil 4.171: Senaryo A-13'te kolonların X yönünde maksimum momentleri (kN.m)……...123
Şekil 4.172: Senaryo A-13'te kolonların Y yönünde maksimum momentleri (kN.m)…...…123
Şekil 4.173: Senaryo A-13'te kolonların X yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN)…..124
Şekil 4.174: Senaryo A-13'te kolonların Y yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN)…..124
Şekil 4.175: Senaryo A-13'te kolonların maksimum burulma momentleri (kN.m)……...…124
Şekil 4.176: Senaryo A-13'te kirişlerin maksimum kesme kuvvetleri (kN)…….……..124
Şekil 4.177: Senaryo A-13'te kirişlerin maksimum eğilme momentleri (kN.m)……125
Şekil 4.178: Senaryo A-13'te kirişlerin maksimum burulma momentleri (kN.m)…….125
Şekil 4.179: Senaryo A-13'te kolon kesitlerinin betonunda maksimum birim şekildeğiştirme değerleri…….…….125
Şekil 4.180: Senaryo A-13'te kolon kesitlerinin donatısında maksimum birim şekildeğiştirme değerleri……..126
Şekil 4.181: Senaryo A-13'te kiriş kesitlerinin I ucunda maksimum dönme değerleri (rad)…….……126
Şekil 4.182: Senaryo A-13'te kiriş kesitlerinin J ucunda maksimum dönme değerleri (rad)…….……126
Şekil 4.183: Senaryo A-14'te kolonların maksimum eksenel kuvvetleri (kN)…….……..129
Şekil 4.184: Senaryo A-14'te kolonların X yönünde maksimum momentleri (kN.m)……...129
Şekil 4.185: Senaryo A-14'te kolonların Y yönünde maksimum momentleri (kN.m)……...129
Şekil 4.186: Senaryo A-14'te kolonların X yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN)…..130
Şekil 4.187: Senaryo A-14'te kolonların Y yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN)…..130

Şekil 4.188: Senaryo A-14'te kolonların maksimum burulma momentleri (kN.m)……..…130
Şekil 4.189: Senaryo A-14'te kirişlerin maksimum kesme kuvvetleri (kN)…...……130
Şekil 4.190: Senaryo A-14'te kirişlerin maksimum eğilme momentleri (kN.m)……131
Şekil 4.191: Senaryo A-14'te kirişlerin maksimum burulma momentleri (kN.m)…….131
Şekil 4.192: Senaryo A-14'te kolon kesitlerinin betonunda maksimum birim şekildeğiştirme değerleri……..131
Şekil 4.193: Senaryo A-14'te kolon kesitlerinin donatısında maksimum birim şekildeğiştirme değerleri……..131
Şekil 4.194: Senaryo A-14'te kiriş kesitlerinin I ucunda maksimum dönme değerleri (rad)…….132
Şekil 4.195: Senaryo A-14'te kiriş kesitlerinin J ucunda maksimum dönme değerleri (rad)…….132
Şekil 4.196: Senaryo A-15'te kolonların maksimum eksenel kuvvetleri (kN)……...135
Şekil 4.197: Senaryo A-15'te kolonların X yönünde maksimum momentleri (kN.m)…...…135
Şekil 4.198: Senaryo A-15'te kolonların Y yönünde maksimum momentleri (kN.m)…..….135
Şekil 4.199: Senaryo A-15'te kolonların X yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).….135
Şekil 4.200: Senaryo A-15'te kolonların Y yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN)…..136
Şekil 4.201: Senaryo A-15'te kolonların maksimum burulma momentleri (kN.m)……...136
Şekil 4.202: Senaryo A-15'te kirişlerin maksimum kesme kuvvetleri (kN)……...136
Şekil 4.203: Senaryo A-15'te kirişlerin maksimum eğilme momentleri (kN.m)……136
Şekil 4.204: Senaryo A-15'te kirişlerin maksimum burulma momentleri (kN.m).
Şekil 4.205: Senaryo A-15'te kolon kesitlerinin betonunda maksimum birim şekildeğiştirme değerleri……..……137
Şekil 4.206: Senaryo A-15'te kolon kesitlerinin donatısında maksimum birim şekildeğiştirme değerleri…….……137
Şekil 4.207: Senaryo A-15'te kiriş kesitlerinin I ucunda maksimum dönme değerleri (rad)……137
Şekil 4.208: Senaryo A-15'te kiriş kesitlerinin J ucunda maksimum dönme değerleri (rad)…….138
Şekil 4.209: Senaryo A-16'da kolonların maksimum eksenel kuvvetleri (kN)……..141
Şekil 4.210: Senaryo A-16'da kolonların X yönünde maksimum momentleri (kN.m)……..141
Şekil 4.211: Senaryo A-16'da kolonların Y yönünde maksimum momentleri (kN.m)……..141
Şekil 4.212: Senaryo A-16'da kolonların X yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN)….141
Şekil 4.213: Senaryo A-16'da kolonların Y yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN)….142

Şekil 4.214: Senaryo A-16'da kolonların maksimum burulma momentleri (kN.m)……..142

Şekil 4.215: Senaryo A-16'da kirişlerin maksimum kesme kuvvetleri (kN)……..……142

Şekil 4.216: Senaryo A-16'da kirişlerin maksimum eğilme momentleri (kN.m)……..……142

Şekil 4.217: Senaryo A-16'da kirişlerin maksimum burulma momentleri (kN.m).

Şekil 4.218: Senaryo A-16'da kolon kesitlerinin betonunda maksimum birim şekildeğiştirme değerleri……..……143

Şekil 4.219: Senaryo A-16'da kolon kesitlerinin donatısında maksimum birim şekildeğiştirme değerleri……..143

Şekil 4.220: Senaryo A-16'da kiriş kesitlerinin I ucunda maksimum dönme değerleri (rad)…….143

Şekil 4.221: Senaryo A-16'da kiriş kesitlerinin J ucunda maksimum dönme değerleri (rad)……...……..144

Şekil 4.222: Senaryo A-17'de kolonların maksimum eksenel kuvvetleri (kN)……..145

Şekil 4.223: Senaryo A-17'de kolonların X yönünde maksimum momentleri (kN.m)……..146

Şekil 4.224: Senaryo A-17'de kolonların Y yönünde maksimum momentleri (kN.m).…….146

Şekil 4.225: Senaryo A-17'de kolonların X yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).....146

Şekil 4.226: Senaryo A-17'de kolonların Y yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).....146

Şekil 4.227: Senaryo A-17'de kolonların maksimum burulma momentleri (kN.m)……..147

Şekil 4.228: Senaryo A-17'de kirişlerin maksimum kesme kuvvetleri (kN)……..147

Şekil 4.229: Senaryo A-17'de kirişlerin maksimum eğilme momentleri (kN.m)……...147

Şekil 4.230: Senaryo A-17'de kirişlerin maksimum burulma momentleri (kN.m)……147

Şekil 4.231: Senaryo A-17'de kolon kesitlerinin betonunda maksimum birim şekildeğiştirme değerleri……..148

Şekil 4.232: Senaryo A-17'de kolon kesitlerinin donatısında maksimum birim şekildeğiştirme değerleri……..148

Şekil 4.233: Senaryo A-17'de kiriş kesitlerinin I ucunda maksimum dönme değerleri (rad)…….……148

Şekil 4.234: Senaryo A-17'de kiriş kesitlerinin J ucunda maksimum dönme değerleri (rad)…….…148

Şekil 4.235: Senaryo A-18'de kolonların maksimum eksenel kuvvetleri (kN)……..150

Şekil 4.236: Senaryo A-18'de kolonların X yönünde maksimum momentleri (kN.m)……..150

Şekil 4.237: Senaryo A-18'de kolonların Y yönünde maksimum momentleri (kN.m)……..151

Şekil 4.238: Senaryo A-18'de kolonların X yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN)….151

Şekil 4.239: Senaryo A-18'de kolonların Y yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN)….151

Şekil 4.240: Senaryo A-18'de kolonların maksimum burulma momentleri (kN.m)……..151

Şekil 4.241: Senaryo A-18'de kirişlerin maksimum kesme kuvvetleri (kN)…….…….152

Şekil 4.242: Senaryo A-18'de kirişlerin maksimum eğilme momentleri (kN.m)…….……..152

Şekil 4.243: Senaryo A-18'de kirişlerin maksimum burulma momentleri (kN.m)……152

Şekil 4.244: Senaryo A-18'de kolon kesitlerinin betonunda maksimum birim şekildeğiştirme değerleri……..152

Şekil 4.245: Senaryo A-18'de kolon kesitlerinin donatısında maksimum birim şekildeğiştirme değerleri……..153

Şekil 4.246: Senaryo A-18'de kiriş kesitlerinin I ucunda maksimum dönme değerleri (rad)…….…..……..153

Şekil 4.247: Senaryo A-18'de kiriş kesitlerinin J ucunda maksimum dönme değerleri (rad)…….153

Şekil 4.248: Senaryo A-19'da kolonların maksimum eksenel kuvvetleri (kN)…..……155

Şekil 4.249: Senaryo A-19'da kolonların X yönünde maksimum momentleri (kN.m)……..155

Şekil 4.250: Senaryo A-19'da kolonların Y yönünde maksimum momentleri (kN.m)……..156

Şekil 4.251: Senaryo A-19'da kolonların X yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN)….156

Şekil 4.252: Senaryo A-19'da kolonların Y yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN)….156

Şekil 4.253: Senaryo A-19'da kolonların maksimum burulma momentleri (kN.m)……..156

Şekil 4.254: Senaryo A-19'da kirişlerin maksimum kesme kuvvetleri (kN)……..157

Şekil 4.255: Senaryo A-19'da kirişlerin maksimum eğilme momentleri (kN.m)……...157

Şekil 4.256: Senaryo A-19'da kirişlerin maksimum burulma momentleri (kN.m)……157

Şekil 4.257: Senaryo A-19'da kolon kesitlerinin betonunda maksimum birim şekildeğiştirme değerleri…….…….157

Şekil 4.258: Senaryo A-19'da kolon kesitlerinin donatısında maksimum birim şekildeğiştirme değerleri…….….158

Şekil 4.259: Senaryo A-19'da kiriş kesitlerinin I ucunda maksimum dönme değerleri (rad)…….……158

Şekil 4.260: Senaryo A-19'da kiriş kesitlerinin J ucunda maksimum dönme değerleri (rad)…….158

Şekil 4.261: Senaryo A-20'de kolonların maksimum eksenel kuvvetleri (kN)……..160

Şekil 4.262: Senaryo A-20'de kolonların X yönünde maksimum momentleri (kN.m)……..160

Şekil 4.263: Senaryo A-20'de kolonların Y yönünde maksimum momentleri (kN.m)……..160

Şekil 4.264: Senaryo A-20'de kolonların X yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN)….160

Şekil 4.265: Senaryo A-20'de kolonların Y yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN)….161

Şekil 4.266: Senaryo A-20'de kolonların maksimum burulma momentleri (kN.m)……..161

Şekil 4.267: Senaryo A-20'de kirişlerin maksimum kesme kuvvetleri (kN)……..161

Şekil 4.268: Senaryo A-20'de kirişlerin maksimum eğilme momentleri (kN.m)……...161

Şekil 4.269: Senaryo A-20'de kirişlerin maksimum burulma momentleri (kN.m)……162

Şekil 4.270: Senaryo A-20'de kolon kesitlerinin betonunda maksimum birim şekildeğiştirme değerleri……..……162

Şekil 4.271: Senaryo A-20'de kolon kesitlerinin donatısında maksimum birim şekildeğiştirme değerleri……..162

Şekil 4.272: Senaryo A-20'de kiriş kesitlerinin I ucunda maksimum dönme değerleri (rad)……..…162

Şekil 4.273: Senaryo A-20'de kiriş kesitlerinin J ucunda maksimum dönme değerleri (rad)……..…163

Şekil 4.274: Senaryo A-21'de kolonların maksimum eksenel kuvvetleri (kN)…….….164

Şekil 4.275: Senaryo A-21'de kolonların X yönünde maksimum momentleri (kN.m)…...…165

Şekil 4.276: Senaryo A-21'de kolonların Y yönünde maksimum momentleri (kN.m)…….165

Şekil 4.277: Senaryo A-21'de kolonların X yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN)….165

Şekil 4.278: Senaryo A-21'de kolonların Y yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN)….165

Şekil 4.279: Senaryo A-21'de kolonların maksimum burulma momentleri (kN.m)……..166

Şekil 4.280: Senaryo A-21'de kirişlerin maksimum kesme kuvvetleri (kN)…….166

Şekil 4.281: Senaryo A-21'de kirişlerin maksimum eğilme momentleri (kN.m)……..166

Şekil 4.282: Senaryo A-21'de kirişlerin maksimum burulma momentleri (kN.m)……166

Şekil 4.283: Senaryo A-21'de kolon kesitlerinin betonunda maksimum birim şekildeğiştirme değerleri……..167

Şekil 4.284: Senaryo A-21'de kolon kesitlerinin donatısında maksimum birim şekildeğiştirme değerleri……..167

Şekil 4.285: Senaryo A-21'de kiriş kesitlerinin I ucunda maksimum dönme değerleri (rad)…….167

Şekil 4.286: Senaryo A-21'de kiriş kesitlerinin J ucunda maksimum dönme değerleri (rad)……..…167

Şekil 4.287: Senaryo A-22'de kolonların maksimum eksenel kuvvetleri (kN)……..169

Şekil 4.288: Senaryo A-22'de kolonların X yönünde maksimum momentleri (kN.m)……..169

Şekil 4.289: Senaryo A-22'de kolonların Y yönünde maksimum momentleri (kN.m)……..170

Şekil 4.290: Senaryo A-22'de kolonların X yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN)….170

Şekil 4.291: Senaryo A-22'de kolonların Y yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN)….170

Şekil 4.292: Senaryo A-22'de kolonların maksimum burulma momentleri (kN.m)…….……170
Şekil 4.293: Senaryo A-22'de kirişlerin maksimum kesme kuvvetleri (kN)…….…….……171
Şekil 4.294: Senaryo A-22'de kirişlerin maksimum eğilme momentleri (kN.m)…….…….171
Şekil 4.295: Senaryo A-22'de kirişlerin maksimum burulma momentleri (kN.m)……171
Şekil 4.296: Senaryo A-22'de kolon kesitlerinin betonunda maksimum birim şekildeğiştirme değerleri…….…….171
Şekil 4.297: Senaryo A-22'de kolon kesitlerinin donatısında maksimum birim şekildeğiştirme değerleri……..172
Şekil 4.298: Senaryo A-22'de kiriş kesitlerinin I ucunda maksimum dönme değerleri (rad)……...……..172
Şekil 4.299: Senaryo A-22'de kiriş kesitlerinin J ucunda maksimum dönme değerleri (rad)…….172
Şekil 4.300: Kontrol modelinde kolonların maksimum eksenel kuvvetleri (kN)……..…….173
Şekil 4.301: Kontrol modelinde kolonların X yönünde maksimum momentleri (kN.m)…...173
Şekil 4.302: Kontrol modelinde kolonların Y yönünde maksimum momentleri (kN.m)…...174
Şekil 4.303: Kontrol modelinde kolonların X yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN)..174
Şekil 4.304: Kontrol modelinde kolonların Y yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN)..174
Şekil 4.305: Kontrol modelinde kolonların maksimum burulma momentleri (kN.m)……...174
Şekil 4.306: Kontrol modelinde kirişlerin maksimum kesme kuvvetleri (kN)…….……..175
Şekil 4.307: Kontrol modelinde kirişlerin maksimum eğilme momentleri (kN.m)……175
Şekil 4.308: Kontrol modelinde kirişlerin maksimum burulma momentleri (kN.m)…….175
Şekil 4.309: Kontrol modelinde kolon kesitlerinin betonunda maksimum birim şekildeğiştirme değerleri…….175
Şekil 4.310: Kontrol modelinde kolon kesitlerinin donatısında maksimum birim şekildeğiştirme değerleri…….……176
Şekil 4.311: Kontrol modelinde kiriş kesitlerinin I ucunda maksimum dönme değerleri (rad)…….……176
Şekil 4.312: Kontrol modelinde kiriş kesitlerinin J ucunda maksimum dönme değerleri (rad)…….……176
Şekil 4.313: Senaryo B-1'de kolonların maksimum eksenel kuvvetleri (kN)……177
Şekil 4.314: Senaryo B-1'de kolonların X yönünde maksimum momentleri (kN.m)……178
Şekil 4.315: Senaryo B-1'de kolonların Y yönünde maksimum momentleri (kN.m)……178
Şekil 4.316: Senaryo B-1'de kolonların X yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN)…...178
Şekil 4.317: Senaryo B-1'de kolonların Y yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN)…...178

Şekil 4.318: Senaryo B-1'de kolonların maksimum burulma momentleri (kN.m)……179
Şekil 4.319: Senaryo B-1'de kirişlerin maksimum kesme kuvvetleri (kN)……179
Şekil 4.320: Senaryo B-1'de kirişlerin maksimum eğilme momentleri (kN.m)…….179
Şekil 4.321: Senaryo B-1'de kirişlerin maksimum burulma momentleri (kN.m)……..……179
Şekil 4.322: Senaryo B-1'de kolon kesitlerinin betonunda maksimum birim şekildeğiştirme değerleri……..180
Şekil 4.323: Senaryo B-1'de kolon kesitlerinin donatısında maksimum birim şekildeğiştirme değerleri……..……180
Şekil 4.324: Senaryo B-1'de kiriş kesitlerinin I ucunda maksimum dönme değerleri (rad)…….180
Şekil 4.325: Senaryo B-1'de kiriş kesitlerinin J ucunda maksimum dönme değerleri (rad)……..…180
Şekil 4.326: Senaryo B-2'de kolonların maksimum eksenel kuvvetleri (kN)……...…….182
Şekil 4.327: Senaryo B-2'de kolonların X yönünde maksimum momentleri (kN.m)……182
Şekil 4.328: Senaryo B-2'de kolonların Y yönünde maksimum momentleri (kN.m)……182
Şekil 4.329: Senaryo B-2'de kolonların X yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN)...…182
Şekil 4.330: Senaryo B-2'de kolonların Y yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN)…...183
Şekil 4.331: Senaryo B-2'de kolonların maksimum burulma momentleri (kN.m)……183
Şekil 4.332: Senaryo B-2'de kirişlerin maksimum kesme kuvvetleri (kN)……183
Şekil 4.333: Senaryo B-2'de kirişlerin maksimum eğilme momentleri (kN.m)……...……..183
Şekil 4.334: Senaryo B-2'de kirişlerin maksimum burulma momentleri (kN.m)……..184
Şekil 4.335: Senaryo B-2'de kolon kesitlerinin betonunda maksimum birim şekildeğiştirme değerleri……..184
Şekil 4.336: Senaryo B-2'de kolon kesitlerinin donatısında maksimum birim şekildeğiştirme değerleri……..184
Şekil 4.337: Senaryo B-2'de kiriş kesitlerinin I ucunda maksimum dönme değerleri (rad)……..…184
Şekil 4.338: Senaryo B-2'de kiriş kesitlerinin J ucunda maksimum dönme değerleri (rad)…….184
Şekil 4.339: Senaryo B-3'te kolonların maksimum eksenel kuvvetleri (kN)…….186
Şekil 4.340: Senaryo B-3'te kolonların X yönünde maksimum momentleri (kN.m)…….186
Şekil 4.341: Senaryo B-3'te kolonların Y yönünde maksimum momentleri (kN.m)…….186
Şekil 4.342: Senaryo B-3'te kolonların X yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN)……187
Şekil 4.343: Senaryo B-3'te kolonların Y yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN)……187

Şekil 4.344: Senaryo B-3'te kolonların maksimum burulma momentleri (kN.m)…….187
Şekil 4.345: Senaryo B-3'te kirişlerin maksimum kesme kuvvetleri (kN)…….187
Şekil 4.346: Senaryo B-3'te kirişlerin maksimum eğilme momentleri (kN.m)……..188
Şekil 4.347: Senaryo B-3'te kirişlerin maksimum burulma momentleri (kN.m)……...188
Şekil 4.348: Senaryo B-3'te kolon kesitlerinin betonunda maksimum birim şekildeğiştirme değerleri……..188
Şekil 4.349: Senaryo B-3'te kolon kesitlerinin donatısında maksimum birim şekildeğiştirme değerleri…….188
Şekil 4.350: Senaryo B-3'te kiriş kesitlerinin I ucunda maksimum dönme değerleri (rad)…….189
Şekil 4.351: Senaryo B-3'te kiriş kesitlerinin J ucunda maksimum dönme değerleri (rad)……189
Şekil 4.352: Kontrol modelinde kolonların maksimum eksenel kuvvetleri (kN)……...190
Şekil 4.353: Kontrol modelinde kolonların X yönünde maksimum momentleri (kN.m)…...190
Şekil 4.354: Kontrol modelinde kolonların Y yönünde maksimum momentleri (kN.m)…...190
Şekil 4.355: Kontrol modelinde kolonların X yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN)..191
Şekil 4.356: Kontrol modelinde kolonların Y yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN)..191
Şekil 4.357: Kontrol modelinde kolonların maksimum burulma momentleri (kN.m)…...…191
Şekil 4.358: Kontrol modelinde kirişlerin maksimum kesme kuvvetleri (kN)……...191
Şekil 4.359: Kontrol modelinde kirişlerin maksimum eğilme momentleri (kN.m)……192
Şekil 4.360: Kontrol modelinde kirişlerin maksimum burulma momentleri (kN.m)…….192
Şekil 4.361: Kontrol modelinde kolon kesitlerinin betonunda maksimum birim şekildeğiştirme değerleri…….192
Şekil 4.362: Kontrol modelinde kolon kesitlerinin donatısında maksimum birim şekildeğiştirme değerleri…….……192
Şekil 4.363: Kontrol modelinde kiriş kesitlerinin I ucunda maksimum dönme değerleri (rad)…….……193
Şekil 4.364: Kontrol modelinde kiriş kesitlerinin J ucunda maksimum dönme değerleri (rad)…….……193
Şekil 4.365: Senaryo C-1'de kolonların maksimum eksenel kuvvetleri (kN)……194
Şekil 4.366: Senaryo C-1'de kolonların X yönünde maksimum momentleri (kN.m)……194
Şekil 4.367: Senaryo C-1'de kolonların Y yönünde maksimum momentleri (kN.m)……195
Şekil 4.368: Senaryo C-1'de kolonların X yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN)…...195
Şekil 4.369: Senaryo C-1'de kolonların Y yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN)…...195

Şekil 4.370: Senaryo C-1'de kolonların maksimum burulma momentleri (kN.m)……195
Şekil 4.371: Senaryo C-1'de kirişlerin maksimum kesme kuvvetleri (kN)……196
Şekil 4.372: Senaryo C-1'de kirişlerin maksimum eğilme momentleri (kN.m)…….196
Şekil 4.373: Senaryo C-1'de kirişlerin maksimum burulma momentleri (kN.m)……..196
Şekil 4.374: Senaryo C-1'de kolon kesitlerinin betonunda maksimum birim şekildeğiştirme değerleri……..196
Şekil 4.375: Senaryo C-1'de kolon kesitlerinin donatısında maksimum birim şekildeğiştirme değerleri……..197
Şekil 4.376: Senaryo C-1'de kiriş kesitlerinin I ucunda maksimum dönme değerleri (rad)…….……197
Şekil 4.377: Senaryo C-1'de kiriş kesitlerinin J ucunda maksimum dönme değerleri (rad)…….……197
Şekil 4.378: Senaryo C-2'de kolonların maksimum eksenel kuvvetleri (kN)……198
Şekil 4.379: Senaryo C-2'de kolonların X yönünde maksimum momentleri (kN.m)……199
Şekil 4.380: Senaryo C-2'de kolonların Y yönünde maksimum momentleri (kN.m)……199
Şekil 4.381: Senaryo C-2'de kolonların X yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN)…...199
Şekil 4.382: Senaryo C-2'de kolonların Y yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN)…...199
Şekil 4.383: Senaryo C-2'de kolonların maksimum burulma momentleri (kN.m)……200
Şekil 4.384: Senaryo C-2'de kirişlerin maksimum kesme kuvvetleri (kN)……..……..200
Şekil 4.385: Senaryo C-2'de kirişlerin maksimum eğilme momentleri (kN.m)…….……200
Şekil 4.386: Senaryo C-2'de kirişlerin maksimum burulma momentleri (kN.m)……..200
Şekil 4.387: Senaryo C-2'de kolon kesitlerinin betonunda maksimum birim şekildeğiştirme değerleri……..……201
Şekil 4.388: Senaryo C-2'de kolon kesitlerinin donatısında maksimum birim şekildeğiştirme değerleri……..201
Şekil 4.389: Senaryo C-2'de kiriş kesitlerinin I ucunda maksimum dönme değerleri (rad)…….……201
Şekil 4.390: Senaryo C-2'de kiriş kesitlerinin J ucunda maksimum dönme değerleri (rad)…….201
Şekil 4.391: Senaryo C-3'te kolonların maksimum eksenel kuvvetleri (kN)……..203
Şekil 4.392: Senaryo C-3'te kolonların X yönünde maksimum momentleri (kN.m)…..……203
Şekil 4.393: Senaryo C-3'te kolonların Y yönünde maksimum momentleri (kN.m)…….203
Şekil 4.394: Senaryo C-3'te kolonların X yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN)……203
Şekil 4.395: Senaryo C-3'te kolonların Y yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN)……204

Şekil 4.396: Senaryo C-3'te kolonların maksimum burulma momentleri (kN.m)……..…204
Şekil 4.397: Senaryo C-3'te kirişlerin maksimum kesme kuvvetleri (kN)…….……204
Şekil 4.398: Senaryo C-3'te kirişlerin maksimum eğilme momentleri (kN.m)……..204
Şekil 4.399: Senaryo C-3'te kirişlerin maksimum burulma momentleri (kN.m)……...205
Şekil 4.400: Senaryo C-3'te kolon kesitlerinin betonunda maksimum birim şekildeğiştirme değerleri…….205
Şekil 4.401: Senaryo C-3'te kolon kesitlerinin donatısında maksimum birim şekildeğiştirme değerleri……..……205
Şekil 4.402: Senaryo C-3'te kiriş kesitlerinin I ucunda maksimum dönme değerleri (rad)…….205
Şekil 4.403: Senaryo C-3'te kiriş kesitlerinin J ucunda maksimum dönme değerleri (rad)…….206
Şekil 4.404: Kontrol modelinde kolonların maksimum eksenel kuvvetleri (kN)……...207
Şekil 4.405: Kontrol modelinde kolonların X yönünde maksimum momentleri (kN.m)…...207
Şekil 4.406: Kontrol modelinde kolonların Y yönünde maksimum momentleri (kN.m)…...207
Şekil 4.407: Kontrol modelinde kolonların X yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN)..207
Şekil 4.408: Kontrol modelinde kolonların Y yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN)..208
Şekil 4.409: Kontrol modelinde kolonların maksimum burulma momentleri (kN.m)……...208
Şekil 4.410: Kontrol modelinde kirişlerin maksimum kesme kuvvetleri (kN)……..208
Şekil 4.411: Kontrol modelinde kirişlerin maksimum eğilme momentleri (kN.m)……208
Şekil 4.412: Kontrol modelinde kirişlerin maksimum burulma momentleri (kN.m)…….209
Şekil 4.413: Kontrol modelinde kolon kesitlerinin betonunda maksimum birim şekildeğiştirme değerleri…….……209
Şekil 4.414: Kontrol modelinde kolon kesitlerinin donatısında maksimum birim şekildeğiştirme değerleri…….209
Şekil 4.415: Kontrol modelinde kiriş kesitlerinin I ucunda maksimum dönme değerleri (rad)…….209
Şekil 4.416: Kontrol modelinde kiriş kesitlerinin J ucunda maksimum dönme değerleri (rad)……...……..210
Şekil 4.417: Senaryo D-1'te kolonların maksimum eksenel kuvvetleri (kN)…….211
Şekil 4.418: Senaryo D-1'te kolonların X yönünde maksimum momentleri (kN.m)…….211
Şekil 4.419: Senaryo D-1'te kolonların Y yönünde maksimum momentleri (kN.m)…….211
Şekil 4.420: Senaryo D-1'te kolonların X yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN)……212
Şekil 4.421: Senaryo D-1'te kolonların Y yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN)……212

Şekil 4.422: Senaryo D-1'te kolonların maksimum burulma momentleri (kN.m)…….212
Şekil 4.423: Senaryo D-1'te kirişlerin maksimum kesme kuvvetleri (kN)…….212
Şekil 4.424: Senaryo D-1'te kirişlerin maksimum eğilme momentleri (kN.m)……..213
Şekil 4.425: Senaryo D-1'te kirişlerin maksimum burulma momentleri (kN.m)……...213
Şekil 4.426: Senaryo D-1'te kolon kesitlerinin betonunda maksimum birim şekildeğiştirme değerleri……..213
Şekil 4.427: Senaryo D-1'te kolon kesitlerinin donatısında maksimum birim şekildeğiştirme değerleri…….213
Şekil 4.428: Senaryo D-1'te kiriş kesitlerinin I ucunda maksimum dönme değerleri (rad)…….214
Şekil 4.429: Senaryo D-1'te kiriş kesitlerinin J ucunda maksimum dönme değerleri (rad)…….214
Şekil 4.430: Senaryo D-2'te kolonların maksimum eksenel kuvvetleri (kN)…….215
Şekil 4.431: Senaryo D-2'te kolonların X yönünde maksimum momentleri (kN.m)…….215
Şekil 4.432: Senaryo D-2'te kolonların Y yönünde maksimum momentleri (kN.m)…….216
Şekil 4.433: Senaryo D-2'te kolonların X yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN)……216
Şekil 4.434: Senaryo D-2'te kolonların Y yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN)……216
Şekil 4.435: Senaryo D-2'te kolonların maksimum burulma momentleri (kN.m)…….216
Şekil 4.436: Senaryo D-2'te kirişlerin maksimum kesme kuvvetleri (kN)……217
Şekil 4.437: Senaryo D-2'te kirişlerin maksimum eğilme momentleri (kN.m)…….217
Şekil 4.438: Senaryo D-2'te kirişlerin maksimum burulma momentleri (kN.m)……..…..217
Şekil 4.439: Senaryo D-2'te kolon kesitlerinin betonunda maksimum birim şekildeğiştirme değerleri……..217
Şekil 4.440: Senaryo D-2'te kolon kesitlerinin donatısında maksimum birim şekildeğiştirme değerleri…….….218
Şekil 4.441: Senaryo D-2'te kiriş kesitlerinin I ucunda maksimum dönme değerleri (rad)…….…218
Şekil 4.442: Senaryo D-2'te kiriş kesitlerinin J ucunda maksimum dönme değerleri (rad)……...…..218
Şekil 4.443: Senaryo D-3'te kolonların maksimum eksenel kuvvetleri (kN)……..…219
Şekil 4.444: Senaryo D-3'te kolonların X yönünde maksimum momentleri (kN.m)……..…220
Şekil 4.445: Senaryo D-3'te kolonların Y yönünde maksimum momentleri (kN.m)……..…220
Şekil 4.446: Senaryo D-3'te kolonların X yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN)……220
Şekil 4.447: Senaryo D-3'te kolonların Y yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN)……220

Şekil 4.448: Senaryo D-3'te kolonların maksimum burulma momentleri (kN.m)…….221
Şekil 4.449: Senaryo D-3'te kirişlerin maksimum kesme kuvvetleri (kN)…….……..…..…221
Şekil 4.450: Senaryo D-3'te kirişlerin maksimum eğilme momentleri (kN.m)……...…..221
Şekil 4.451: Senaryo D-3'te kirişlerin maksimum burulma momentleri (kN.m)……..……221
Şekil 4.452: Senaryo D-3'te kolon kesitlerinin betonunda maksimum birim şekildeğiştirme değerleri……..222
Şekil 4.453: Senaryo D-3'te kolon kesitlerinin donatısında maksimum birim şekildeğiştirme değerleri…….…….222
Şekil 4.454: Senaryo D-3'te kiriş kesitlerinin I ucunda maksimum dönme değerleri (rad)……222
Şekil 4.455: Senaryo D-3'te kiriş kesitlerinin J ucunda maksimum dönme değerleri (rad)…….…222
Şekil 4.456: Kontrol modelinde kolonların maksimum eksenel kuvvetleri (kN)……...223
Şekil 4.457: Kontrol modelinde kolonların X yönünde maksimum momentleri (kN.m)…...224
Şekil 4.458: Kontrol modelinde kolonların Y yönünde maksimum momentleri (kN.m).…..224
Şekil 4.459: Kontrol modelinde kolonların X yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN)..224
Şekil 4.460: Kontrol modelinde kolonların Y yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN)..224
Şekil 4.461: Kontrol modelinde kolonların maksimum burulma momentleri (kN.m)……...225
Şekil 4.462: Kontrol modelinde kirişlerin maksimum kesme kuvvetleri (kN)……..225
Şekil 4.463: Kontrol modelinde kirişlerin maksimum eğilme momentleri (kN.m)…….…..225
Şekil 4.464: Kontrol modelinde kirişlerin maksimum burulma momentleri (kN.m)…….225
Şekil 4.465: Kontrol modelinde kolon kesitlerinin betonunda maksimum birim şekildeğiştirme değerleri…….……226
Şekil 4.466: Kontrol modelinde kolon kesitlerinin donatısında maksimum birim şekildeğiştirme değerleri…….226
Şekil 4.467: Kontrol modelinde kiriş kesitlerinin I ucunda maksimum dönme değerleri (rad)…….226
Şekil 4.468: Kontrol modelinde kiriş kesitlerinin J ucunda maksimum dönme değerleri (rad)…….....226
Şekil 4.469: Senaryo E-1'te kolonların maksimum eksenel kuvvetleri (kN)…….228
Şekil 4.470: Senaryo E-1'te kolonların X yönünde maksimum momentleri (kN.m)…….228
Şekil 4.471: Senaryo E-1'te kolonların Y yönünde maksimum momentleri (kN.m)…….228
Şekil 4.472: Senaryo E-1'te kolonların X yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN)……228
Şekil 4.473: Senaryo E-1'te kolonların Y yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN)……229

Şekil 4.474: Senaryo E-1'te kolonların maksimum burulma momentleri (kN.m)…..…….229
Şekil 4.475: Senaryo E-1'te kirişlerin maksimum kesme kuvvetleri (kN)…….229
Şekil 4.476: Senaryo E-1'te kirişlerin maksimum eğilme momentleri (kN.m)……..229
Şekil 4.477: Senaryo E-1'te kirişlerin maksimum burulma momentleri (kN.m)……230
Şekil 4.478: Senaryo E-1'te kolon kesitlerinin betonunda maksimum birim şekildeğiştirme değerleri……..230
Şekil 4.479: Senaryo E-1'te kolon kesitlerinin donatısında maksimum birim şekildeğiştirme değerleri……..230
Şekil 4.480: Senaryo E-1'te kiriş kesitlerinin I ucunda maksimum dönme değerleri (rad)…….……230
Şekil 4.481: Senaryo E-1'te kiriş kesitlerinin J ucunda maksimum dönme değerleri (rad)…….231
Şekil 4.482: Senaryo E-2'te kolonların maksimum eksenel kuvvetleri (kN)…….232
Şekil 4.483: Senaryo E-2'te kolonların X yönünde maksimum momentleri (kN.m)…….232
Şekil 4.484: Senaryo E-2'te kolonların Y yönünde maksimum momentleri (kN.m)…….232
Şekil 4.485: Senaryo E-2'te kolonların X yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN)……233
Şekil 4.486: Senaryo E-2'te kolonların Y yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN)……233
Şekil 4.487: Senaryo E-2'te kolonların maksimum burulma momentleri (kN.m)…….233
Şekil 4.488: Senaryo E-2'te kirişlerin maksimum kesme kuvvetleri (kN)…….233
Şekil 4.489: Senaryo E-2'te kirişlerin maksimum eğilme momentleri (kN.m)……..234
Şekil 4.490: Senaryo E-2'te kirişlerin maksimum burulma momentleri (kN.m)……234
Şekil 4.491: Senaryo E-2'te kolon kesitlerinin betonunda maksimum birim şekildeğiştirme değerleri……..234
Şekil 4.492: Senaryo E-2'te kolon kesitlerinin donatısında maksimum birim şekildeğiştirme değerleri……..……234
Şekil 4.493: Senaryo E-2'te kiriş kesitlerinin I ucunda maksimum dönme değerleri (rad)…….……235
Şekil 4.494: Senaryo E-2'te kiriş kesitlerinin J ucunda maksimum dönme değerleri (rad)…….……235
Şekil 4.495: Senaryo E-3'te kolonların maksimum eksenel kuvvetleri (kN)…….236
Şekil 4.496: Senaryo E-3'te kolonların X yönünde maksimum momentleri (kN.m)…….236
Şekil 4.497: Senaryo E-3'te kolonların Y yönünde maksimum momentleri (kN.m)…….237
Şekil 4.498: Senaryo E-3'te kolonların X yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN)……237
Şekil 4.499: Senaryo E-3'te kolonların Y yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN)……237

Şekil 4.500: Senaryo E-3'te kolonların maksimum burulma momentleri (kN.m)…….…237
Şekil 4.501: Senaryo E-3'te kirişlerin maksimum kesme kuvvetleri (kN)…….……238
Şekil 4.502: Senaryo E-3'te kirişlerin maksimum eğilme momentleri (kN.m)…….…….238
Şekil 4.503: Senaryo E-3'te kirişlerin maksimum burulma momentleri (kN.m)……..……..238
Şekil 4.504: Senaryo E-3'te kolon kesitlerinin betonunda maksimum birim şekildeğiştirme değerleri……..238
Şekil 4.505: Senaryo E-3'te kolon kesitlerinin donatısında maksimum birim şekildeğiştirme değerleri…….…239
Şekil 4.506: Senaryo E-3'te kiriş kesitlerinin I ucunda maksimum dönme değerleri (rad)……..…239
Şekil 4.507: Senaryo E-3'te kiriş kesitlerinin J ucunda maksimum dönme değerleri (rad)……..…239
Şekil 5.1: Köşe kolon kaybında ilk kat kolonlarının eksenel kuvvetleri (kN)……256
Şekil 5.2: Köşe kolon kaybında ilk kat kolonlarının Yön-2'de eğilme momentleri (kN.m)…….256
Şekil 5.3: Köşe kolon kaybında ilk kat kolonlarının Yön-3'te eğilme momentleri (kN.m).....256
Şekil 5.4: Köşe kolon kaybında ilk kat kolonlarının Yön-2'de kesme kuvvetleri (kN)…..…257
Şekil 5.5: Köşe kolon kaybında ilk kat kolonlarının Yön-3'te kesme kuvvetleri (kN)……..257
Şekil 5.6: Köşe kolon kaybında ilk kat kolonlarının burulma momentleri (kN)……257
Şekil 5.7: Köşe kolon kaybında ilk kat kolonlarının beton birim şekildeğiştirmeleri……257
Şekil 5.8: Köşe kolon kaybında ilk kat kolonlarının donatı birim şekildeğiştirmeleri……...257
Şekil 5.9: Kenar orta kolon kaybında ilk kat kolonlarının eksenel kuvvetleri (kN)…..……..257
Şekil 5.10: Kenar orta kolon kaybında ilk kat kolonlarının Yön-2'de eğilme momentleri (kN.m)…….……259
Şekil 5.11: Kenar orta kolon kaybında ilk kat kolonlarının Yön-3'te eğilme momentleri (kN.m)…….……259
Şekil 5.12: Kenar orta kolon kaybında ilk kat kolonlarının Yön-2'de kesme kuvvetleri (kN)…….……259
Şekil 5.13: Kenar orta kolon kaybında ilk kat kolonlarının Yön-3'te kesme kuvvetleri (kN)…….260
Şekil 5.14: Kenar orta kolon kaybında ilk kat kolonlarının burulma momentleri (kN)…….260
Şekil 5.15: Kenar orta kolon kaybında ilk kat kolonlarının beton birim şekildeğiştirmeleri……...……260

Şekil 5.16: Kenar orta kolon kaybında ilk kat kolonlarının donatı birim şekildeğiştirmeleri……..……261
Şekil 5.17: İç kolon kaybında ilk kat kolonlarının eksenel kuvvetleri (kN)……...261
Şekil 5.18: İç kolon kaybında ilk kat kolonlarının Yön-2'de eğilme momentleri (kN.m)….261
Şekil 5.19: İç kolon kaybında ilk kat kolonlarının Yön-3'te eğilme momentleri (kN.m)…..262
Şekil 5.20: İç kolon kaybında ilk kat kolonlarının Yön-2'de kesme kuvvetleri (kN)……....262
Şekil 5.21: İç kolon kaybında ilk kat kolonlarının Yön-3'te kesme kuvvetleri (kN)…….262
Şekil 5.22: İç kolon kaybında ilk kat kolonlarının burulma momentleri (kN)……...263
Şekil 5.23: İç kolon kaybında ilk kat kolonlarının beton birim şekildeğiştirmeleri……...263
Şekil 5.24: İç kolon kaybında ilk kat kolonlarının donatı birim şekildeğiştirmeleri……..263
Şekil 5.25: Köşe kolon kaybında ilk kat kirişlerinin kesme kuvveti (kN)…….…….264
Şekil 5.26: Köşe kolon kaybında ilk kat kirişlerinin burulma momenti (kN.m)……264
Şekil 5.27: Köşe kolon kaybında ilk kat kirişlerinin eğilme momenti (kN.m)…….……..264
Şekil 5.28: Köşe kolon kaybında ilk kat kirişlerinin I ucunda dönme değeri (rad)……265
Şekil 5.29: Köşe kolon kaybında ilk kat kirişlerinin J ucunda dönme değeri (rad)……265
Şekil 5.30: Kenar orta kolon kaybında ilk kat kirişlerinin kesme kuvveti (kN)…….……265
Şekil 5.31: Kenar orta kolon kaybında ilk kat kirişlerinin burulma momenti (kN.m)……...266
Şekil 5.32: Kenar orta kolon kaybında ilk kat kirişlerinin eğilme momenti (kN.m)……..266
Şekil 5.33: Kenar orta kolon kaybında ilk kat kirişlerinin I ucunda dönme değeri (rad).…..266
Şekil 5.34: Kenar orta kolon kaybında ilk kat kirişlerinin J ucunda dönme değeri (rad)…...267
Şekil 5.35: İç kolon kaybında ilk kat kirişlerinin kesme kuvveti (kN)……...…267
Şekil 5.36: İç kolon kaybında ilk kat kirişlerinin burulma momenti (kN.m)……..……267
Şekil 5.37: İç kolon kaybında ilk kat kirişlerinin eğilme momenti (kN.m)……268
Şekil 5.38: İç kolon kaybında ilk kat kirişlerinin I ucunda dönme değeri (rad)…….268
Şekil 5.39: İç kolon kaybında ilk kat kirişlerinin J ucunda dönme değeri (rad)…….268

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1: Eleman bazında direnç mekanizmalar……6

Tablo 2.2: Göçme önleme adımları……7

Tablo 2.3: Göçmeye karşı özel elemanlar……..8

Tablo 2.4: Göçmeye karşı çerçeve topolojisi……..8

Tablo 2.5: Göçmeye karşı eleman güçlendirmesi……8

Tablo 2.6: Akademik çalışmalarda yöntem dağılımı…….24

Tablo 3.1: Kontrol modelinin eleman özellikleri……..25

Tablo 3.2: Kontrol modelinin yük tanımlamaları……..27

Tablo 3.3: Model A için modal analiz sonuçları……27

Tablo 3.4: Model A için burulma düzensizliği kontrolu sonuçları……27

Tablo 3.5: Model A için yumuşak kat düzensizliği kontrolu sonuçları (X yönünde)……27

Tablo 3.6: Model A için yumuşak kat düzensizliği kontrolu sonuçları (Y yönünde)……28

Tablo 3.7: Model A için göreli kat öteleme kontrolu sonuçları……28

Tablo 3.8: Model B için modal analiz sonuçları……29

Tablo 3.9: Model B için burulma düzensizliği kontrolu sonuçları……29

Tablo 3.10: Model C için yumuşak kat düzensizliği kontrolu sonuçları (X yönünde)…….30

Tablo 3.11: Model C için yumuşak kat düzensizliği kontrolu sonuçları (Y yönünde)…….30

Tablo 3.12: Model E için yumuşak kat düzensizliği kontrolu sonuçları (X yönünde)…….33

Tablo 3.13: Model E için yumuşak kat düzensizliği kontrolu sonuçları (Y yönünde)…….33

Tablo 3.14: Model A için farklı kiriş donatı oranları…….33

Tablo 3.15: Göçme senaryoları……..34

Tablo 3.16: Seçilmiş Deprem Kayıtları……36

Tablo 3.17: Kolonların hasar bölge belirleme sınır değerleri……45

Tablo 3.18: Kirişlerin hasar bölge belirleme sınır değerleri…….45

Tablo 3.19: TBDY-2018'in gevrek eleman kontrolü şartları……51

Tablo 4.1: Kontrol modelinde kirişlerin hasar bölgeleri……..…….56

Tablo 4.2: Kontrol modelinde kolonların hasar bölgeleri……..56

Tablo 4.3: Senaryo A-1'de kolonun sayısal simülasyonu…….56

Tablo 4.4: Senaryo A-1'de kirişlerin hasar bölgeleri……60

Tablo 4.5: Senaryo A-1'de kolonların hasar bölgeleri……..60

Tablo 4.6: Senaryo A-1'de yan kolonların iç kuvvetleri ve birim şekildeğiştirmelerinde değişimleri…….61

Tablo 4.7: Senaryo A-1'de yan kirişlerin iç kuvvetleri ve dönme değişimleri…….61

Tablo 4.8: Senaryo A-2'de kolonun sayısal simülasyonu…….62

Tablo 4.9: Senaryo A-2'de kirişlerin hasar bölgeleri……65

Tablo 4.10: Senaryo A-2'de kolonların hasar bölgeleri……66

Tablo 4.11: Senaryo A-2'de yan kolonların iç kuvvetleri ve birim şekildeğiştirmelerinde değişimleri…….66

Tablo 4.12: Senaryo A-2'de yan kirişlerin iç kuvvetleri ve dönme değişimleri……66

Tablo 4.13: Senaryo A-3'te kolonun sayısal simülasyonu……67

Tablo 4.14: Senaryo A-3'te kirişlerin hasar bölgeleri……71

Tablo 4.15: Senaryo A-3'te kolonların hasar bölgeleri…….71

Tablo 4.16: Senaryo A-3'te yan kolonların iç kuvvetleri ve birim şekildeğiştirmelerinde değişimleri…….……71

Tablo 4.17: Senaryo A-3'te yan kirişlerin iç kuvvetleri ve dönme değişimleri……..72

Tablo 4.18: Senaryo A-4'te kolonun sayısal simülasyonu……72

Tablo 4.19: Senaryo A-4'te kirişlerin hasar bölgeleri……76

Tablo 4.20: Senaryo A-4'te kolonların hasar bölgeleri…….76

Tablo 4.21: Senaryo A-4'te yan kolonların iç kuvvetleri ve birim şekildeğiştirmelerinde değişimleri……...……..77

Tablo 4.22: Senaryo A-4'te yan kirişlerin iç kuvvetleri ve dönme değişimleri…….77

Tablo 4.23: Senaryo A-5'te kolonun sayısal simülasyonu…….78

Tablo 4.24: Senaryo A-5'te kirişlerin hasar bölgeleri……81

Tablo 4.25: Senaryo A-5'te kolonların hasar bölgeleri……..82

Tablo 4.26: Senaryo A-5'te yan kolonların iç kuvvetleri ve birim şekildeğiştirmelerinde değişimleri…….82

Tablo 4.27: Senaryo A-5'te yan kirişlerin iç kuvvetleri ve dönme değişimleri…….82

Tablo 4.28: Senaryo A-6'da kolonun sayısal simülasyonu……...83

Tablo 4.29: Senaryo A-6'da kirişlerin hasar bölgeleri……..87

Tablo 4.30: Senaryo A-6'da kolonların hasar bölgeleri……87

Tablo 4.31: Senaryo A-6'de yan kolonların iç kuvvetleri ve birim şekildeğiştirmelerinde değişimleri…….87

Tablo 4.32: Senaryo A-6'de yan kirişlerin iç kuvvetleri ve dönme değişimleri……88

Tablo 4.33: Senaryo A-7'de kolonun sayısal simülasyonu……89

Tablo 4.34: Senaryo A-7'de kirişlerin hasar bölgeleri……..92

Tablo 4.35: Senaryo A-7'de kolonların hasar bölgeleri……93

Tablo 4.36: Senaryo A7'de yan kolonların iç kuvvetleri ve birim şekildeğiştirmelerinde değişimleri……93

Tablo 4.37: Senaryo A-7'de yan kirişlerin iç kuvvetleri ve dönme değişimleri……93

Tablo 4.38: Senaryo A-8'de kolonun sayısal simülasyonu……..94

Tablo 4.39: Senaryo A-8'de kirişlerin hasar bölgeleri……..98

Tablo 4.40: Senaryo A-8'de kolonların hasar bölgeleri……98

Tablo 4.41: Senaryo A-8'de yan kolonların iç kuvvetleri ve birim şekildeğiştirmelerinde değişimleri…….98

Tablo 4.42: Senaryo A-8'de yan kirişlerin iç kuvvetleri ve dönme değişimleri……99

Tablo 4.43: Senaryo A-9'da kolonun sayısal simülasyonu……..100

Tablo 4.44: Senaryo A-9'da kirişlerin hasar bölgeleri…….103

Tablo 4.45: Senaryo A-9'da kolonların hasar bölgeleri……..104

Tablo 4.46: Senaryo A-9'de yan kolonların iç kuvvetleri ve birim şekildeğiştirmelerinde değişimleri……..104

Tablo 4.47: Senaryo A-9'de yan kirişlerin iç kuvvetleri ve dönme değişimleri…….104

Tablo 4.48: Senaryo A-10'da kolonun sayısal simülasyonu……105

Tablo 4.49: Senaryo A-10'da kirişlerin hasar bölgeleri……...109

Tablo 4.50: Senaryo A-10'da kolonların hasar bölgeleri…….109

Tablo 4.51: Senaryo A-10'de yan kolonların iç kuvvetleri ve birim şekildeğiştirmelerinde değişimleri……...……109

Tablo 4.52: Senaryo A-10'de yan kirişlerin iç kuvvetleri ve dönme değişimleri……110

Tablo 4.53: Senaryo A-11'de kolonun sayısal simülasyonu……111

Tablo 4.54: Senaryo A-11'de kirişlerin hasar bölgeleri……..114

Tablo 4.55: Senaryo A-11'de kolonların hasar bölgeleri……115

Tablo 4.56: Senaryo A-11'de yan kolonların iç kuvvetleri ve birim şekildeğiştirmelerinde değişimleri…….……..115

Tablo 4.57: Senaryo A-11'de yan kirişlerin iç kuvvetleri ve dönme değişimleri……...116

Tablo 4.58: Senaryo A-12'de kolonun sayısal simülasyonu……116

Tablo 4.59: Senaryo A-12'de kirişlerin hasar bölgeleri……..120

Tablo 4.60: Senaryo A-12'de kolonların hasar bölgeleri……121

Tablo 4.61: Senaryo A-12'de yan kolonların iç kuvvetleri ve birim şekildeğiştirmelerinde değişimleri……..…….……121

Tablo 4.62: Senaryo A-12'de yan kirişlerin iç kuvvetleri ve dönme değişimleri….……..122

Tablo 4.63: Senaryo A-13'te kolonun sayısal simülasyonu…….122

Tablo 4.64: Senaryo A-13'te kirişlerin hasar bölgeleri……126

Tablo 4.65: Senaryo A-13'te kolonların hasar bölgeleri…….…….127

Tablo 4.66: Senaryo A-13'te yan kolonların iç kuvvetleri ve birim şekildeğiştirmelerinde değişimleri…….……..127

Tablo 4.67: Senaryo A-13'te yan kirişlerin iç kuvvetleri ve dönme değişimleri……128

Tablo 4.68: Senaryo A-14'te kolonun sayısal simülasyonu…….128

Tablo 4.69: Senaryo A-14'te kirişlerin hasar bölgeleri……132

Tablo 4.70: Senaryo A-14'te kolonların hasar bölgeleri……..…...132

Tablo 4.71: Senaryo A-14'te yan kolonların iç kuvvetleri ve birim şekildeğiştirmelerinde değişimleri…….……..133

Tablo 4.72: Senaryo A-14'te yan kirişlerin iç kuvvetleri ve dönme değişimleri……133

Tablo 4.73: Senaryo A-15'te kolonun sayısal simülasyonu……134

Tablo 4.74: Senaryo A-15'te kirişlerin hasar bölgeleri……138

Tablo 4.75: Senaryo A-15'te kolonların hasar bölgeleri……138

Tablo 4.76: Senaryo A-15'te yan kolonların iç kuvvetleri ve birim şekildeğiştirmelerinde değişimleri……...……138

Tablo 4.77: Senaryo A-15'te yan kirişlerin iç kuvvetleri ve dönme değişimleri……139

Tablo 4.78: Senaryo A-16'da köşe kolonun sayısal simülasyonu……140

Tablo 4.79: Senaryo A-16'da kenar orta kolonun sayısal simülasyonu……..140

Tablo 4.80: Senaryo A-16'da kirişlerin hasar bölgeleri……..144

Tablo 4.81: Senaryo A-16'da kolonların hasar bölgeleri……144

Tablo 4.82: Senaryo A-17'de köşe kolonun sayısal simülasyonu…….……..145

Tablo 4.83: Senaryo A-17'de birinci kenar orta kolonun sayısal simülasyonu…….……..145

Tablo 4.84: Senaryo A-17'de ikinci kenar orta kolonun sayısal simülasyonu……145

Tablo 4.85: Senaryo A-17'de kirişlerin hasar bölgeleri……..149

Tablo 4.86: Senaryo A-17'de kolonların hasar bölgeleri……149

Tablo 4.87: Senaryo A-18'de köşe kolonun sayısal simülasyonu……..149

Tablo 4.88: Senaryo A-18'de birinci kenar orta kolonun sayısal simülasyonu……...149

Tablo 4.89: Senaryo A-18'de ikinci kenar orta kolonun sayısal simülasyonu……150

Tablo 4.90: Senaryo A-18'de üçüncü kenar orta kolonun sayısal simülasyonu…….….150

Tablo 4.91: Senaryo A-18'de kirişlerin hasar bölgeleri……..153

Tablo 4.92: Senaryo A-18'de kolonların hasar bölgeleri……154

Tablo 4.93: Senaryo A-19'da birinci köşe kolonun sayısal simülasyonu……154

Tablo 4.94: Senaryo A-19'da birinci kenar orta kolonun sayısal simülasyonu……..154

Tablo 4.95: Senaryo A-19'da ikinci kenar orta kolonun sayısal simülasyonu……154

Tablo 4.96: Senaryo A-19'da üçüncü kenar orta kolonun sayısal simülasyonu…..……..155

Tablo 4.97: Senaryo A-19'da ikinci köşe kolonun sayısal simülasyonu……..……..155

Tablo 4.98: Senaryo A-19'da kirişlerin hasar bölgeleri…….……158
Tablo 4.99: Senaryo A-19'da kolonların hasar bölgeleri……159
Tablo 4.100: Senaryo A-20'de kenar orta kolonun sayısal simülasyonu……159
Tablo 4.101: Senaryo A-20'de iç kolonun sayısal simülasyonu……159
Tablo 4.102: Senaryo A-20'de kirişlerin hasar bölgeleri……163
Tablo 4.103: Senaryo A-20'de kolonların hasar bölgeleri……..……163
Tablo 4.104: Senaryo A-21'de kenar orta kolonun sayısal simülasyonu……164
Tablo 4.105: Senaryo A-21'de birinci iç kolonun sayısal simülasyonu……..164
Tablo 4.106: Senaryo A-21'de ikinci iç kolonun sayısal simülasyonu……164
Tablo 4.107: Senaryo A-21'de kirişlerin hasar bölgeleri……168
Tablo 4.108: Senaryo A-21'de kolonların hasar bölgeleri……..168
Tablo 4.109: Senaryo A-22'de birinci kenar orta kolonun sayısal simülasyonu……168
Tablo 4.110: Senaryo A-22'de birinci iç kolonun sayısal simülasyonu…….……..…168
Tablo 4.111: Senaryo A-22'de ikinci iç kolonun sayısal simülasyonu……169
Tablo 4.112: Senaryo A-22'de ikinci kenar orta kolonun sayısal simülasyonu……169
Tablo 4.113: Senaryo A-22'de kirişlerin hasar bölgeleri……172
Tablo 4.114: Senaryo A-22'de kolonların hasar bölgeleri……..173
Tablo 4.115: Kontrol modelinde kirişlerin hasar bölgeleri……..176
Tablo 4.116: Kontrol modelinde kolonların hasar bölgeleri……177
Tablo 4.117: Senaryo B-1'de kolonun sayısal simülasyonu……177
Tablo 4.118: Senaryo B-1'de kirişlerin hasar bölgeleri……...181
Tablo 4.119: Senaryo B-1'de kolonların hasar bölgeleri……181
Tablo 4.120: Senaryo B-2'de kolonun sayısal simülasyonu……181
Tablo 4.121: Senaryo B-2'de kirişlerin hasar bölgeleri……...185
Tablo 4.122: Senaryo B-2'de kolonların hasar bölgeleri……185
Tablo 4.123: Senaryo B-3'te kolonun sayısal simülasyonu……...……..186
Tablo 4.124: Senaryo B-3'te kirişlerin hasar bölgeleri……189

Tablo 4.125: Senaryo B-3'te kolonların hasar bölgeleri……..……189
Tablo 4.126: Kontrol modelinde kirişlerin hasar bölgeleri……..193
Tablo 4.127: Kontrol modelinde kolonların hasar bölgeleri……193
Tablo 4.128: Senaryo C-1'de kolonun sayısal simülasyonu……194
Tablo 4.129: Senaryo C-1'de kirişlerin hasar bölgeleri……..……197
Tablo 4.130: Senaryo C-1'de kolonların hasar bölgeleri……198
Tablo 4.131: Senaryo C-2'de kolonun sayısal simülasyonu……..…….198
Tablo 4.132: Senaryo C-2'de kirişlerin hasar bölgeleri……..202
Tablo 4.133: Senaryo C-2'de kolonların hasar bölgeleri……202
Tablo 4.134: Senaryo C-3'te kolonun sayısal simülasyonu…….202
Tablo 4.135: Senaryo C-3'te kirişlerin hasar bölgeleri……206
Tablo 4.136: Senaryo C-3'te kolonların hasar bölgeleri…….206
Tablo 4.137: Kontrol modelinde kirişlerin hasar bölgeleri…….210
Tablo 4.138: Kontrol modelinde kolonların hasar bölgeleri……210
Tablo 4.139: Senaryo D-1'de kolonun sayısal simülasyonu……211
Tablo 4.140: Senaryo D-1'de kirişlerin hasar bölgeleri……..214
Tablo 4.141: Senaryo D-1'de kolonların hasar bölgeleri…….214
Tablo 4.142: Senaryo D-2'de kolonun sayısal simülasyonu……215
Tablo 4.143: Senaryo D-2'de kirişlerin hasar bölgeleri……..218
Tablo 4.144: Senaryo D-2'de kolonların hasar bölgeleri…….219
Tablo 4.145: Senaryo D-3'te kolonun sayısal simülasyonu……219
Tablo 4.146: Senaryo D-3'te kirişlerin hasar bölgeleri……223
Tablo 4.147: Senaryo D-3'te kolonların hasar bölgeleri……..223
Tablo 4.148: Kontrol modelinde kirişlerin hasar bölgeleri……..227
Tablo 4.149: Kontrol modelinde kolonların hasar bölgeleri……227
Tablo 4.150: Senaryo E-1'de kolonun sayısal simülasyonu…….227
Tablo 4.151: Senaryo E-1'de kirişlerin hasar bölgeleri……..……..231

Tablo 4.152: Senaryo E-1'de kolonların hasar bölgeleri…….231
Tablo 4.153: Senaryo E-2'de kolonun sayısal simülasyonu……232
Tablo 4.154: Senaryo E-2'de kirişlerin hasar bölgeleri……235
Tablo 4.155: Senaryo E-2'de kolonların hasar bölgeleri…….……235
Tablo 4.156: Senaryo E-3'te kolonun sayısal simülasyonu…….……236
Tablo 4.157: Senaryo E-3'te kirişlerin hasar bölgeleri……239
Tablo 4.158: Senaryo E-3'te kolonların hasar bölgeleri……..240
Tablo 5.1: Döşeme kalınlığı etkisi senaryoları……241
Tablo 5.2: Kiriş kapasitesi etkisi senaryoları…….……..243
Tablo 5.3: Kolon konumu ve sayısı etkisi senaryoları…….……245
Tablo 5.4: Komşu kolonların çeşitli kolon kaldırma senaryolarında değişimleri……247
Tablo 5.5: Komşu kirişlerin çeşitli kolon kaldırma senaryolarında değişimleri……..249
Tablo 5.6: Düzensizlik etkisi senaryoları……254

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler **Açıklama**

D : Dayanım Fazlalığı Katsayısı.

$E_d^{(X)}$: (X) doğrultusundaki depremin etkisi altında tasarıma esas deprem etkisi.

$E_d^{(Y)}$: (Y) doğrultusundaki depremin etkisi altında tasarıma esas deprem etkisi.

$E_d^{(Z)}$: (Z) doğrultusundaki depremin etkisi altında tasarıma esas deprem etkisi.

f_{cc} : Sargılı beton dayanımı [MPa].

f_{co} : Sargısız betonun basınç dayanımı [MPa].

f_{su} : Donatı çeliğinin kopma dayanımı [MPa].

f_{sy} : Donatı çeliğinin akma dayanımı [MPa].

G : Sabit yük [kN].

L_p : Plastik mafsal uzunluğu [m].

M2 : İkinci ekseni doğrultusunda eğilme moment değeri [kN.m].

M3 : Üçüncü ekseni doğrultusunda eğilme moment değeri [kN.m].

M_x : (X) ekseni doğrultusunda eğilme moment değeri [kN.m].

M_y : (Y) ekseni doğrultusunda eğilme moment değeri [kN.m].

P : Kolon eksenel kuvveti değeri [kN].

Q_e : Hareketli yük [kN].

R : Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı.

R_{jb} : Faya olan uzaklık [km].

S : Kar yükü [kN].

T : Burulma momenti [kN.m].

T_x : X doğrultısunda model periyodu [saniye].

T_y : Y doğrultısunda model periyodu [saniye].

V2 : İkinci ekseni doğrultusunda kesme kuvveti değeri [kN].

V3 : Üçüncü ekseni doğrultusunda kesme kuvveti değeri [kN].

V_x : (X) ekseni doğrultusunda kesme kuvveti değeri [kN].

V_y : (Y) ekseni doğrultusunda kesme kuvveti değeri [kN].

$(V_S)_{30}$: Üst 30 metredeki ortalama kayma dalgası hızı [m/s].

$\delta_i^{(X)}$: (X) deprem doğrultusu için, binanın i'inci katındaki kolon veya perdeler için etkin göreli kat ötelemesi [m].

$\delta_i^{(Y)}$: (Y) deprem doğrultusu için, binanın i'inci katındaki kolon veya perdeler için etkin göreli kat ötelemesi [m].

ε_c : Kolon mafsallarında beton birim şekildeğiştirmesi.

ε_{cc} : f_{cc}'ye denk gelen birim şekildeğiştirme değeri.

ε_{co} : f_{co}'ye denk gelen birim şekildeğiştirme değeri.

ε_{cu} : Sargılı betondaki maksimum basınç birim şekildeğiştirmesi.

ε_s : Kolon mafsallarında donatı birim şekildeğiştirmesi.

ε_{sh} : f_{sy}'ya denk gelen donatı birim şekildeğiştirmesi.

ε_{su} : Donatı çeliğinin kopma birim şekildeğiştirmesi.

ε_{sy} : Donatı çeliğinin akma birim şekildeğiştirmesi.

$\eta_{bi}^{(X)}$: X yönünde i'inci katta burulma düzensizliği katsayısı.

$\eta_{bi}^{(Y)}$: Y yönünde i'inci katta burulma düzensizliği katsayısı.

η_{ki} : i'inci katta yumuşak kat düzensizliği katsayısı.

θ_p : Plastik dönme sınırı [rad].

Kısaltmalar	**Açıklama**
ADA	: Artırımlı Dinamik Analizi
AEM	: Applied Element Method
CFRP	: Carbon Fiber Reinforced Polymer
CMR	: Collapse Margin Ratio
DEM	: Discrete Element Method
DoD	: Department of Defence
FEM	: Finite Element Method
FEM-PE	: Finite Element Method-Parabolic Equation
GSA	: General Services Administration
GÖ	: Göçme Öncesi.
IDA	: Incremental Dynamic Analysis
KH	: Kontrollü Hasar
PGA	: Peak Ground Acceleration [g]
SH	: Sınırlı Hasar

TBDY-2018 : Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği-2018

UFC : Unıfied Facilities Criteria

ÖZET

DOKTORA TEZİ

Aşamalı Göçmeye Maruz Kalan Betonarme Binaların Davranışı

Kamran SAMADI

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İnşaat Mühendisliği, Doktora Programı

Danışman: Prof. Dr. Barış SAYIN

Aşamalı göçme, bir binanın lokal bir hasardan başlayarak tamamen çökmesiyle sonuçlanan, can kaybı riskini büyük ölçüde artıran ciddi bir yapısal problemdir. Bu tez çalışmasının temel amacı, deprem sırasında betonarme binalarda meydana gelen sismik aşamalı göçme potansiyelinin incelenmesidir. Bu kapsamda, kolon kaldırma senaryoları altında kolon konumu ve sayısı, döşeme kalınlığı, kiriş kapasitesi gibi parametreler ve çeşitli yapısal düzensizliklerin etkisi incelenmiştir. Araştırmada, yapıların aşamalı göçme sırasındaki davranışlarını yakalayabilmek için Doğrusal Olmayan Zaman Tanım yöntemi kullanılmıştır. Bunun için uygun deprem kayıtları seçilip ve Basit Ölçeklendirme yöntemiyle ölçeklendirilmiştir. Çeşitli senaryolarda sonuçların karşılaştırmasını mümkün kılmak amacıyla üç katlı ve düzenli plana sahip prototip bir model, ana model olarak ele alınmıştır. Analiz sonuçlarına dayalı kenar orta ve iç kolon kaldırma senaryolarının köşe kolon kaldırma senaryosuna göre daha da riskli olduğu tespit edilmiştir. Döşeme kalınlığının artırılması yapısal performans üzerinde olumuz etkiler yarattığı gözlemlenmekle beraber kiriş kapasitesinin artırılmasının da aşamalı göçme riskinin kontrol edilmesinde olumlu bir rol ifa etmediği tespit edilmiştir. Kolon kaldırma senaryolarında kaldırılmış olan kolonun komşu kolonlarında en büyük artışlar eksenel kuvvet ve burulma momentlerinde kayda geçmiştir. Komşu kolonlara yük aktarımının döşeme kalınlığının artırılmasıyla iyileştiğine karşın kiriş kapasitesinin artırılmasının bu mekanizma üzerinde etkisiz kaldığı tespit edilmiştir. Döşeme kalınlığının ve kiriş kapasitesinin artması kirişlerin kolon kaldırması neticesinde üstlendiği ilave yüklere karşı daha dirençli hale geldiklerine sebebiyet vermiştir. Kolon kaldırma senaryolarında eleman performansları açısından yumuşak kat (Model C) ve yumuşak kat + zayıf kat (Model E) düzensizliğine sahip modeller diğer düzensizlikler ile kıyasta aşamalı göçme potansiyeli için daha riskli olduğu ortaya koyulmuştur. Sonuç itibariyle bu tez çalışması kapsamında betonarme binaların aşamalı göçme potansiyeli

değerlendirmesinde hangi parametreler ve etkenlerin daha çok belirleyici role sahip olmasıyla birlikte bu parametrelerin birbirleriyle nasıl bir etkileşim içinde oldukları ortaya koyulmuştur.

Kasım 2025 , 287 sayfa.

Anahtar kelimeler: Aşamalı Göçme, Sismik Aşamalı Göçme, Betonarme Binalar, Kolon Kaldırma Senaryosu.

ABSTRACT

Ph.D. THESIS

BEHAVIOUR of REINFORCED CONCRETE BUILDINGS SUBJECTED to PROGRESSIVE COLLAPSE

Kamran SAMADI

İstanbul University-Cerrahpaşa

Institute of Graduate Studies

Department of Civil Engineering

Ph.D. Program

Supervisor: Prof. Dr. Barış SAYIN

Progressive collapse is a severe structural problem initiating from local damage and leading to total building collapse, significantly increasing life safety risks. This thesis investigates the potential for seismic progressive collapse in reinforced concrete buildings. The study examines the effects of parameters such as column location and quantity, slab thickness, and beam capacity under column removal scenarios, along with various structural irregularities. Nonlinear Time History Analysis was used to capture structural behavior during progressive collapse, utilizing suitably selected and scaled ground motions. A prototype model with a three-story regular plan was used as the main model to enable comparison of results across various scenarios. Analysis revealed that edge-middle and interior column removal scenarios are riskier than corner column removal. Increasing slab thickness adversely affected structural performance, while increasing beam capacity did not help control progressive collapse risk. The most significant increases in neighboring columns following a column removal were in axial force and torsional moments. Load transfer to adjacent columns improved with greater slab thickness, but beam capacity increases were ineffective on this mechanism. However, increased slab and beam capacity enhanced beam resistance to additional loads from column loss. Models with soft-story (Model C) and combined soft-/weak-story (Model E) irregularities exhibited higher progressive collapse potential compared to other irregularities. Ultimately, this thesis identifies key parameters and their interactions in assessing progressive collapse potential in RC buildings.

November 2025, 287 pages.

Keywords: Progressive collapse, Seismic Progressive Collapse, RC Buildings, Column removal scenario

1. GİRİŞ

Aşamalı göçme yapının tek bir elemanının yük taşıma kabiliyetini yitirerek yetersiz kalmasıyla başlayıp ve hasarın diğer elemanlara sirayet edilmesiyle yapının bir kısmının veya tamamının göçmesine sebebiyet veren bir göçme mekanizmasıdır. Bu genel tanıtımdan yola çıkarak aşamalı göçmenin farklı tetikleyici olaylar neticesinde ortaya çıktığı aşikârdır. Büyük patlama, yangın, çarpışma, binanın kullanım amacına ait kapasitesini aşan aşırı yüklenme, tasarım veya imalat hatası, yaşlanma ve korozyon, kaya düşmesi, deprem veya birkaç tetikleyici vakanın birleşmesi aşamalı göçmenin başlangıç senaryolarının arasında yer almaktadır [1.2]. Aşamalı göçmenin başlangıç senaryolarına baktığımızda bu göçme mekanizmasının ani ve habersiz bir şekilde ortaya çıkma potansiyeline sahip olduğunun altını çizebiliriz. Aşamalı göçmenin yaşanması durumunda yapı göçmeye maruz kalacaktır. Ancak bu tasarım felsefesine haykırı bir vaziyettir. Zira bir binanın en büyük depremde bile göçmemesi hedeflenmiş ve "Göçme Öncesi" performans hedefini sağlamak üzere hesap ve tasarımı gerçekleştirilmiştir. Böylece betonarme binaların tasarımında, aşamalı göçme analizlerine yer verilmesine ve zorunlu tutulmasının hayatı önem taşıdığı aşikâr olmuştur. Zira aksi taktirde binanın durumuna bağlı trajik can kayıpları ve ciddi sakatlıkların önüne geçmek imkânsız olacaktır. Manevi kayıpların yanı sıra göçmüş bir binanın yeniden imalatı, çevreye verdiği zararlar ve bu sürede servis dışı kalması da geri dönülmeyecek ekonomik bir zarar olarak ortaya çıkacaktır.

Bunun yan sıra deprem vakalarında tüm can kaybı ve yaralanmaların %75'nin nedeni enkaz çarpışması olduğundan dolayı aşamalı göçme potansiyelinin incelenmesinin bir diğer öneminin deprem sonrası acil yardım ekiplerine, çökmüş yapıların (enkazın) güvenliği ve stabilitesi hakkında bilgi vermek ihtiyacıdır [3].

Aşamalı göçme senaryolarını peş peşe yaşanan iki adım olarak ele alabiliriz; Birincisi aşamalı göçmenin başlangıç tetikleyici vakası neticesinde ilk lokal hasar. İkincisi göçme senaryosunun ilerlemesine neden olan göçme mekanizması. Ancak bu iki adım (tetikleyici vaka ve göçme mekanizması) birbirinden bağımsız değildir. Örneğin büyük bir patlama neticesinde kolon kaybı senaryosu durumunda göçmenin ilerlemesi dikey yükler (sabit ve statik yükler) altında ve yangın çıkması durumunda sıcaklık artışı neticesinde vuku bulacaktır; ama aynı binada kolon kaybı senaryosu depremden dolaya ortaya çıkarsa göçme depremin yatay ve dikey yükleri

(dinamik yükler) neticesinde ilerleyecektir. Bu tez çalışmasında ise kolon kaybı senaryosu deprem etkisi altında ve çeşitli parametrelerin etkinliği oranını inceleyerek ele alınmıştır. Zira deprem, ilerleyici göçmeni tetikleyebilir ve sismik çökmelerin çoğunluğu ilerleyici bir şekilde meydana gelmektedir [4]. Anlaşılmaktadır ki sismik tasarım seviyesi yükseldikçe yapı sismik ilerleyici göçmeye (seismic progressive collapse) karşıda daha dirençli olacaktır. Buna mütekabil olarak yapının sismik ilerleyici göçmeye karşı güçlendirme tedbirlerinin sismik performansın üzerinde yarattığı etkide gözden kaçırılmamalıdır [5-7].

Yakın zaman önce yaşanmış olan Kahramanmaraş 2023 depremi böyle bir durumun ortaya çıkabileceğine barız bir örnektir. Üstelik bu vakada yaklaşık dokuz saat farkla artarda iki deprem yaşanmıştır. İlki 7.7 büküklüğünde (Kandilli) Pazarcık depremi ve ikinci ise 7.6 büyüklüğünde (Kandilli) Elbistan merkezli depremlerdir. Pazarcık depreminin pik ivme değeri 2.22g ve Elbistan merkezli depremin pik ivme değeri ise 1.71g olarak kaydedilmiştir. Bu depremlerde ortaya çıkan büyük yıkımda ilk depremde hasar gören yapıların arasında ikinci depremde aşamalı göçmeye maruz kaldıkları olmuştur. Depremden sonra yaşanan 45756, en büyüğü 6.7 olan artçı gerçeğinde göz önünde bulundurarak ikinci deprem sonrası bile hasar almış binaların aşamalı göçme potansiyeli barındırdığı açısından ne kadar tehlikeli olduğu aşikardır [8-12]. Zira yapıların ardışık depremlere (ana şok + artçı şoklar) maruz kalmasına rağmen mevcut deprem yönetmelikleri yapıları yalnızca tek bir depreme karşı tasarlar, ancak ana şok sonrası oluşan hasarın artçılar öncesinde tamir edilememesi, göçme riskini beklenenden daha yüksek seviyelere çıkarabilir. Ardışık depremlerde ana şok şiddeti, artçıda göçme riskini katlıyor. Bunun nedeniyse ana şokun daha büyük olmasıyla, yapının daha çok hasar alığından dolayı, daha küçük artçılarda göçme riski bulundurmasıdır [13,14].

Bu tez çalışmasında aşamalı göçmenin deprem etkisi altında incelenmesinin tercih edildiği başka bir neden ve önemi ise depremin bir tetikleyici unsur olarak çok büyük bir bölgede etkili olduğundan büyük yıkımlara sebebiyet vermesidir.

Bu tez çalışmasında deprem yer hareketi neticesinde başlayan aşamalı göçme mekanizmasını incelemeye öncelik verilmesiyle birlikte çeşitli parametreler ve etkenlerin bazen bireysel olarak ve bazen birlikte yapı davranışının üzerinde etkisini tahkik etmek amaçlanmıştır. Kolon kaybı senaryosunda aşamalı göçmenin başlangıç elemanının plandaki konumu, kaç elemanın aşamalı göçmede birlikte yer alması, kolon kaybı senaryosunda kiriş kapasitesi, plak döşeme kalınlığı, yapının planda ve yükseklik boyunca çeşitli düzensizliklere sahip olup/olmadığı gibi etkenlere

bağlı çeşitli üç boyutlu nümerik modeller hazırlanmıştır. Böylece farklı modellerin analiz sonuçlarının karşılaştırması ve yorumlanması ışığında aşamalı göçme potansiyelinin hangi parametre ve etkenler tarafından nasıl etkilendiği incelenmiştir.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

2.1. Genel Tanıtım

Tarihsel perspektif açısından aşamalı göçme literatürü 1968 yılında Ronan Point binasının gaz patlaması neticesinde kısmı çöküşü ile başlamıştır. Bu vaka, aşamalı göçmenin yapı mühendisliği literatüründe çözülmesi gereken bir problem olduğuna sebebiyet vermiştir. Ancak buna rağmen 2001'de World Trade Center ikiz kulelerinin göçmesine kadar bu konuda kayda değer bir çalışma gerçekleştirilmemiştir. Dolayısıyla aşamalı göçme çalışmalarındaki ilerlemeler, genellikle tarihi vakaların tetiklediği bir öğrenme sürecini yansıtmaktadır. [1,15-21].

Aşamalı göçme teorisinde iki önemli kavram vardır. Göçme tipi (collapse type) ve göçme mekanizması (collapse mechanism). Göçme tipi çöküşün geometrik acıtan nasıl gerçekleştiğini/gerçekleşebileceğini açıklamaktadır ve makro ölçekte (yapısal sistemin bütününde) incelenmektedir. Ancak göçme mekanizması çöküşün fiziksel acıtan nasıl tetiklendiğini ve ilerlediğini açıklamaktadır ve mikro ölçekte (elemanlar/bağlantılar bazında) incelenmektedir. Örneğin Ronan Point vakasında gaz patlaması neticesinde panel bağlantıları koptu ve dikey yüke alternatif yolların olmamasından dolayı binada orantısız çöküş (disproportionate collapse) mekanizması gerçekleşmiştir. Göçme tipi ise domino ve pancake göçme tiplerinin kombini şekilde yaşanmıştır. Sonuç itibariyle göçme mekanizması bir neden ve göçme tipi onun sonucudur [1,22-23].

Aşamalı göçmenin mekanizmalarına gelince üç önem arz eden göçme mekanizmasından bahsedebiliriz; (a) Yeniden dağıtım mekanizması (Redistribution). (b) Çarpma mekanizması (Impact). (c) Karma mekanizması (Mixed) [1].

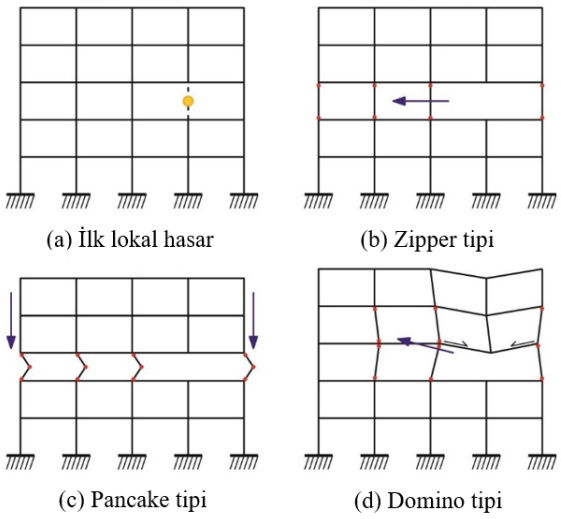
Yeniden dağıtım mekanizması zipper tipi (fermuar etkisiyle ardışık bağlantı kopmaları) göçmelerle çerçeveli yapılarda en yaygın aşamalı çökme mekanizmasıdır. Bu mekanizmada ilk elemanın ortadan kalmasıyla mevcut yük diğer elemanlara aktarılır ve bu elemanlarında aşırı yüklenmeden dolayı başarısız kalmasıyla göçme ilerlemeye devam eder. Yeniden dağıtım mekanizmasını önlemek için "*Alternatif Yük Yolu"* (Alternative Load Path) tasarım prensibine

dayanarak yük yollarını artırmak veya mevcut yük yollarını güçlendirmek gerekmektedir [1,22].

Çarpma mekanizması pancake (katların üst üste çökmesi) ve domino (yana devrilmeli aşamalı göçme) tipi göçmeler şeklinde meydana çıkar. Çerçeveli yapılarda, özellikle yüksek binalarda bu mekanizmanın pancake şeklinde yaşanması çok yaygındır. Örneğin depremden kaynaklanan kolon kaybı senaryolarında yumuşak ve zayıf kat düzensizliklerinin bulunduğu binalarda pancake şeklinde ortaya çıkan bir mekanizmadır. Pancake tipi çökme genelde düşey yük taşıma kapasitesinin yerel kaybı ve yapı bütünlüğünün ortadan kalmasıyla düşey yönde başlar. Ayrılan ve düşen elemanların parçası çarpma etkisi yaratarak göçmenin ilerlemesine yol açar. Dinamik etkiler nedeniyle kırılan her bir katın kuvveti o katın ağırlığının dört katına çıkabilir ve alt katlara dinamik yük bindirerek domino etkisi yaratmaktadır. Önleyici tedbirler olarak güçlü döşeme ve enerji sönümleyici cihazlar tavsiye edilmiştir [1,22,24]. Örneğin Zhou ve Yu yüksek binalarda çarpma mekanizmasını durdurmak ve göçmenin ilerlemesini engellemek için bir enerji emici cihazı önermişlerdir. Bu alüminyum veya çelikten üretilen petek cihazlar binanın kolonlarına entegre edilir. Kat çökerken, petek cihaz sabit bir kuvvetle sıkışır ve kinetik enerjiyi emer. Emilen enerji, çöken kattan açığa çıkan potansiyel enerjiden fazladır. Böylece sistemin kinetik enerjisi azalır ve çökme yavaşlar. Araştırmacılar bu cihazı Dünya Ticaret Merkezi'nin çöküşü örneği üzerinde modelleyerek test etmişlerdir. Bu testte başlangıçta üç katın serbest düşüşü simüle edilerek sönümleyiciler 94 ila 91'inci katlarda devreye girmiş ve böylece her katta açığa çıkan potansiyel enerjinin iki katı sönümlenmiştir. Kinetik zinciri kırılması sonucunda çökmenin 4'uncu katta tamamen durduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmanın sonucundan anlaşılmaktadır ki bu cihazların düşük maliyetli olmasıyla birlikte çarpma mekanizmasına karşı dirençli binalar tasarlanabilir [25]. Ancak literatüründen elde ettiğimiz bilgilere göre, metal bazlı petek sönümleyiciler sadece laboratuvar düzeyinde kalmış ve günümüze kadar gerçek binalarda henüz uygulanmamıştır.

Karma mekanizmasına gelince, gerçek vakaların birçoğunda birden fazla göçme tipinin göçme mekanizmasının başlamasına sebebiyet verdiği tespit edilmiştir. Bu bulgunun deprem neticesinde yaşanmış aşamalı göçme vakalarında da örnekleri mevcuttur [1,22]. Ezcümle 2017 Ezgeleh–Sarpol Zahab depreminde bu şekilde gerçekleşmiş göçmelere rastlanmıştır. Bu depremde betonarme yapılarda kırılgan beton malzemesi, zayıf kolon-güçlü kiriş, kısa kolon etkisi, zemin büyütmesi ve yumuşak kat gibi sorunların bir araya gelmesiyle karma göçme mekanizması tetiklenmiştir [26].

Şekil 2.1'de çerçeveli yapılarda en olası aşamalı göçme tipleri gösterilmiştir. Bu şekilde kırmızı daireler göçmenin ilerlemesiyle oluşacak plastik mafsalları temsil ederken mavi oklar çöküşün ilerleyiş yönünü göstermektedir. **Şekil 2.1**'in (a) şıkkında aşamalı göçmeye yol açan ilk yapısal eleman kaybı belirlenmiştir.



Şekil 2.1: Çerçeve yapılarında en yaygın göçme tipleri [1].

Ancak tüm göçme mekanizmalarında betonarme çerçeveli yapılar göçmeye karşı çeşitli direnç mekanizmaları sergiler. **Tablo 2.1**'de bu eleman bazında direnç mekanizmalar açıklanmıştır [27];

Tablo 2.1: Eleman bazında direnç mekanizmalar.

Mekanizma	Tanım	Etkili Olduğu Elemanlar	Deformasyon Boyutu	Rolü / Önemi
Eğilme Hareketi	Kirişlerin yükleri eğilme davranışı ile taşıması.	Kirişler	Tümü	Temel mekanizma
Basınç Kemeri Hareketi	Yanal tutulma sayesinde kiriş/döşemede oluşan kemerlenme etkisi.	Kirişler, Tek Yönlü Döşemeler	Küçük	Küçük deformasyonlarda ek direnç sağlar.
Katenar Hareketi	Büyük deformasyonlarda donatıların çekme kuvveti ile yük taşıma.	Kirişler	Büyük	Son savunma hattı; Büyük çökmelerde göçmeyi önlemeye çalışır.
Membran Hareketi	Döşemenin düzlem içi kuvvetlerle çalışması.	Döşemeler	-	Döşemelerde yükün yeniden dağılımına önemli katkı sağlar.
Basınç Membran	Küçük deformasyonlarda döşemede oluşan basınç etkili membran davranışı.	Döşemeler	Küçük	Döşemelerin küçük deformasyonlardaki taşıma kapasitesini artırır.

Tablo 2.1 (devam): Eleman bazında direnç mekanizmalar.

Çekme Membran	Büyük deformasyonlarda döşeme donatısının çekme kuvveti ile taşıma davranışı.	Döşemeler	Büyük	Büyük çökmelerde döşemenin göçmesini engellemeye çalışır; (Katenar benzeri).

2.2. Göçme Olasılığı Modeli

Bu model Starossek ve Haberland tarafından orantısız göçme olasılığı için sunulmuştur. Ancak aşamalı çökmede de ele alına bilir [28]. Zira aşamalı göçmede orantısız bir şekilde vuku bulabilir. Bu matematiksel model bir yapının göçme olasılığını hesaplayarak göçmenin önlenmesi için bir genel perspektif sunmuştur;

$$O[G] = O[G|H] \times O[H|O] \times O[O] \qquad \text{Denklem (2.1)}$$

Denklem (2.1)'de O[G], O[G|H], O[H|O] ve O[O] sırasıyla göçme olasılığı, başlangıç hasarın olduğunda göçme olasılığı, anormal olay olduğunda başlangıç hasar olasılığı ve anormal olay olasılığını ifade etmektedirler. O[G|H], sağlamlık (robustness) ile ilişkilidir. Burada sağlamlık yapının başlangıç hasarına karşı duyarsızlığını ifade etmektedir. O[H|O], kırılganlık (vulnerability) ile ilişkilidir. O[O] ise maruziyet (exposure) ile ilişkilidir.

Starossek ve Haberland **Denklem (2.1)**'den yola çıkarak göçmenin önlemesi için bir çerçeve çizmişlerdir [28]. Bu çerçevenin adımları **Tablo 2.2**'de özetlenmiştir.

Tablo 2.2: Göçme önleme adımları.

Adım	Olasılık	Amaç	Yöntem
1	O[O]	Maruziyeti azaltmak.	Olayların olasılığını veya şiddetini düşürmek. Çoğu zaman tasarımcının doğrudan kontrolü dışındadır.
2	O[H|O]	Kırılganlığını azaltmak.	Lokal direncini artırmak. Kritik elemanları (ana kolonlar) güçlendirilmek.
3	O[G|H]	Sağlamlığı artırmak.	Alternatif yük yollarını artırmak; Yapıda bölümlendirme ve izolasyon uygulamak.

Tablo 2.2'de sağlamlık bir yapının ilk hasara karşı duyarsızlığıdır. Başka bir değişle ilk hasar orantısız bir çökmeye yol açmıyorsa yapı sağlamdır. Kırılganlık ise bir yapının anormal olaylardan etkilendiğinde ilk hasara maruz kalma duyarlılığıdır. Yani anormal olaylar kolayca ilk hasara yol açarsa, bir yapı kırılgandır [28].

2.3. Sağlamlık Teknikleri

Kiakojouri vd. aşamalı göçmeye karşı sağlamlık tekniklerini üç grup içinde sınıflandırmışlardır [1]; (a) Özel yapısal elemanlar; göçme enerjisini sönümleyen veya hasarı sınırlayan özel cihazlar. (b) Çerçeve topolojisi; yapısal düzenleme ve kuvvet dağılımını optimize eden yapısal sistem tasarımı. (c) Eleman mukavemet ve sünekliği; yapısal elemanların kapasitesini artırarak göçmeye direnç sağlamak. Bu üç kategori **Tablo 2.3** ila **Tablo 2.5**'te sunulmuştur.

Tablo 2.3: Göçmeye karşı özel elemanlar.

Teknik	Amaç	Avantajlar	Dezavantajlar
Enerji sönümleyici cihazlar	Göçme enerjisini plastik deformasyonla sönümlemek.	Göçmenin yayılmasını durdurur. Pancake/zipper tipi çökmelere karşı etkilidir.	Yüksek maliyetlidir.
Sigorta elemanları	Kontrollü kırılarak ana sistemin hasar görmesini önlemek.	Ana yapıyı koruyor. Ekonomik çözüm sunuyor.	Sadece belirli yüklerde etkilidir. Değiştirilmesi gerekebilir.
Durdurucu cihazlar	Beklenmedik yükleri taşıyabilen cihazlar.	Göçme ilerlemesini engelliyor.	Tasarım karmaşıktır. Maliyetlidir.

Tablo 2.4: Göçmeye karşı çerçeve topolojisi.

Teknik	Amaç	Avantajlar	Dezavantajlar
Yedeklilik	Birden fazla yük aktarma yolu sağlayarak hasarlı elemanın yükünü dağıtmak.	Zipper tipi çökmeyi önlüyor. Yapısal esneklik sağlıyor.	Maliyetlidir. Pancake göçmede etkisi sınırlıdır.
Bölümlendirme	Hasarı belirli bölgelerde sınırlandırmak için yapıyı bağımsız birimlere ayırmak.	Göçmenin yayılım alanını azaltıyor.	Mimari kısıtlamaları getirir. Uygulaması zordur.
İkincil savunma hattı	Ana sistem çöktüğünde devreye giren ek taşıyıcı sistemidir.	Domino tipi göçmeyi önlüyor.	Maliyetlidir. Karmaşık detaylandırma gerektirir.

Tablo 2.5: Göçmeye karşı eleman güçlendirmesi.

Teknik	Amaç	Avantajlar	Dezavantajlar
Süneklik	Elemanların enerji sönümleme kapasitesini yükseltmek.	Çarpma yüklerinde etkilidir. Göçme enerjisini dağıtıyor.	Aşırı süneklik, zipper çökmeyi tetikleyebilir Sismik tasarımla çelişebilir.
Mukavemet	Kritik elemanların taşıma kapasitesini artırmak.	Kolon kaybında ek yükleri karşılıyor. Uygulaması basittir.	Maliyetlidir. "Güçlü kolon-zayıf kiriş" prensibiyle çelişebilir.

Sonuç itibariyle göçme tipine bağlı olarak zipper tipi göçmelerde "*Alternatif Yük Yolları"* ve yedeklilik (redundancy) göçmenin önlenmesinde etkiliyken pancake tipi göçmelerde sönümleyici cihazlar veya güçlendirilmiş döşemeler gereklidir.

2.4. Göçme analizinde iki paradigma

Aşamalı göçme analizlerinde göçme mekanizmasını sayısal model üzerinde modellemek için literatürde iki ana paradigma mevcuttur; 1) tehditten bağımsız yaklaşım; 2) tehdide bağlı yaklaşım. Bu iki yaklaşım ayrımı bir yapının göçmesini başlatan olayın analizde nasıl ele alındığının tanımlanmasıdır.

2.4.1. Tehditten bağımsız yaklaşım

Tehditten bağımsız yaklaşım, belirli bir tetikleyici olayı dikkate almaksızın bir yapının göçmeye karşı direncine odaklanır. Bu metodoloji, esas olarak yönetmeliklerde yer almaktadır ve belirli bir tehdide odaklanmadan, bir dizi öngörülemeyen veya rastgele olaya karşı yapıda temel bir sağlamlık düzeyini sağlamayı amaçlamaktadır. Bu yaklaşımda, başlangıçtaki yerel bir hasarın meydana gelmesine izin vererek bu hasarın tüm sisteme yayılmasını önlemek için ihtiyaç duyulan yapısal sağlamlık faktörü incelenmektedir. Bu özellikle birincil yük taşıyıcı bir elemanın arızalanması durumunda, kalan yapısal sistemin yükleri alternatif yollarla yeniden dağıtmak ve göçmenin yayılmasını önlemek için yeterli yedekliliğe ve sürekliliğe sahip olmasını öngören bir tasarım/değerlendirme yaklaşımıdır [1].

Tehditten bağımsız yaklaşımda birincil yük taşıyıcı bir elemanın arızalanması ani ve tam şekilde simüle edilir [1]. Örneğin kolon kaybı senaryosunda tehdidin tipi ve şiddetinden bağımsız kalarak kolon modelden kaldırıldıktan sonra analiz başlatılır. Aşamalı göçme literatüründe başta gelen GSA ve DoD gibi şartnamelerde bu yaklaşım üzerinden yol almışlardır [29-32]. Bu idealize edilmiş yöntem, bitişik elemanlarda herhangi bir ön hasar veya aşırı yüklenme yaşanmadığını varsayar [1].

Tehditten bağımsız yaklaşım üzerinden aşamalı göçme potansiyelini incelemek basit ve kolaydır. Ancak bu yaklaşım en iyi sonuçları küçük yakın alan patlamaları için sunmaktadır ve basitleştirmeden dolayı bazı tehditlerde örneğin deprem gibi senaryolarda gerecekten sapmaya yol açabilir. Bu yaklaşım yeniden dağıtım tipi mekanizmasına sahip göçmelerde bilhassa zipper şeklinde gerçekleşen göçmelerin değerlendirmesi için uygun olmasına karşın dinamik tepkileri

tam modellemediğinden dolayı pancake göçme tipi potansiyelini ön görebilmekte de yanıltıcı olabilir [1].

2.4.2. Tehdide bağlı yaklaşım

Tehdide bağımlı yaklaşım, bir yapının aşamalı göçme potansiyelini değerlendirmek için belirli bir tetikleyici olayın gerçek fiziksel özelliklerini açıkça dikkate alıp ve simüle etmektedir. Bu paradigma, aşırı yük koşulları altında başlangıç hasarı, sonraki hasar yayılımı ve genel yapısal tepki hakkında daha gerçekçi ve doğru bir anlayış sağlamayı amaçlamaktadır. Örneğin sismik tabanlı aşamalı göçmede deprem sırasında kolon kaldırma zamanlaması (depremin başlangıcında veya pik yer ivmesi anında) göze alınmaktadır. Başka bir değişle kolon kaybı senaryosunda başlangıç lokal hasarın ortaya çıkması da modellenmektedir [1].

Bu yaklaşım Göçme dizisinin belirlenmesinin gerekli olduğu durumlarda daha etkilidir. Gerçek olaylarda yaygın olan pancake şeklinde yaşanan ve karma mekanizmasına sahip göçmeleri incelemek için elzemdir. Ancak mevcut literatüre bağlı kolon kaldırma zamanlamasının kesin etkileri henüz tam olarak anlaşılamamıştır ve modellenmesi zordur. Zira bu yaklaşım, doğası gereği çok zaman alıcıdır ve henüz doğrulanması için yeterli deneysel çalışma gerçekleşmemiştir [1].

2.5. Akademik Çalışmalar

Araştırmacılar 2001'de World Trade Center ikiz kuleleri vakasından sonra bu alana yoğunlaştılar. Ancak bu tez çalışmasında sonuçların yorumlanmasında metodolojinin rol belirleyici olduğu için son yıllarda yayınlanmış çalışmalar yöntem ayrımı üzerinden sunulmuştur. Tarafımızca hazırlanan tez kapsamında tüm bina modellendiğinden dolayı (Building level modelling) daha çok bu çalışmalara yer verilmiştir.

2.5.1. Sonlu Elemanlar Analiz Yöntemi Çalışmaları

2.5.1.1. Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı

Shen vd. [33] dört tipik üç katlı betonarme çerçeveye sahip yapıyı Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı analizine tabi tutmuşlardır. Bunun için çeşitli sismik şiddetlere sahip deprem kayıtları seçilip ve ölçeklendirilmiştir. Araştırmacıların amacı depremin uzamsal değişkenliğinin (spatial variability) binaların göçme davranışı üzerindeki etkisini incelemektir. Analiz sonuçları deprem ivmesinin 8 m/s² değerini aştığında dört modelin katlar arası deplasman oranlarında önemli ölçüde farklılıklar yaşandığını ortaya koymuştur. Nihai sonuç

olarak binaların göçme simülasyonunda depremin uzamsal değişkenliğinin tam olarak dikkate alınması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Ibrahim vd. [34] 2023 Kahramanmaraş depreminde düşey deprem bileşeninin, perdeli betonarme yapıların yapısal hasar ve göçme kapasitesi üzerindeki etkisini değerlendirmişlerdir. Bu çalışmada çekirdek perdenin yansıra 5 tane diğer perde duvara sahip 18 katlı bir betonarme model Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı Analizine tabi tutulmuştur. Sonuçlar, düşey bileşenin yatay deplasmanı 10 kata kadar artırdığını, eksenel kuvvetlerin yön değiştirdiğini ve göçme mekanizmalarının istasyona bağlı değiştiğini ortaya koymuştur. Bulgular, mevcut deprem kodlarının düşey bileşeni yetersiz dikkate aldığının altını çizmiştir.

2.5.1.2. Artımlı Dinamik

Lin vd. [35] 7 katlı asimetrik plan ve ilk katta yumuşak kata sahip bir betonarme binayı Artırımlı Dinamik Analizine (ADA) tabi tutmuşlardır. Bu çalışmada ADA, histerik modellerin yapının elastik tepkisinden tamamen çökmeye kadar olan sismik tepkilerinin tüm aralığı üzerindeki etkisini açıklığa kavuşturmak amacıyla kullanılmıştır. Analizlerde ölçeklendirilmiş yakın fay deprem kayıtlarına kullanılmıştır. Model nihayetinde yumuşak kattan dolayı çökmüş ve maksimum kat öteleme oranı %14'e ulaşmıştır. Bunun yansıra nümerik sonuçlar, deneysel (titreşim tablası deneyi) sonuçlarla karşılaştırılarak doğrulanmıştır. Sonuç itibariyle araştırmacılar ADA analiz sonuçlarını deneysel sonuçlarla doğrudan karşılaştırılmışlardır.

Zaker Esteghamati ve Alimohammadi [36] çok katlı (10 katlı) betonarme binalardaki yatay düzensizliğin aşamalı göçme potansiyeline etkisini incelemek Artımlı Dinamik Analiz yöntemiyle hedeflenmiştir. Bunun için dört farklı kolon kaldırma senaryosu (kenar, köşe, çevre-orta ve iç kolon) farklı seviyelerde yatay düzensizliğe sahip altı prototip model üzerinde incelenmiştir. Analizlerden elde edilen sonuçlara göre yatay, burulma ve kütle düzensizliği arttıkça aşamalı göçme potansiyeli de artmaktadır. Nihai sonuç olarak iç kolon kaldırma senaryosunun genellikle en yüksek göçme talebine yol açtığı ve özellikle düzensiz yapılar için en kritik senaryo olduğu tespit edilmiştir.

Feng vd. [37] betonarme çerçeve yapıların aşamalı göçme direncinde döşemeler ve dolgu duvarlar gibi ikincil elemanların üç boyutlu etkilerini Artımlı Dinamik Analiz (İncremental Dynamic Analysis) yöntemiyle kapasite eğrileri türeterek değerlendirmişlerdir. 4 katlı modelin kolon kaybı senaryosunda elde edilen sonuçlara dayalı dolgu duvarları ve döşemeler sırasıyla çerçevenin nihai kapasitesini %4 ve %8 oranında artırmışlardır. Döşeme ve dolgu duvarların

aynı anda bulunması ise nihai kapasiteni %32 oranında artırmıştır. Nihai sonuç olarak, modelleme aşamasında döşemelerin ve/veya dolgu duvarların ihmal edilmesinin aşırı konservatif tasarım ve kapasite değerlendirmelerine yol açabileceği ortaya koyulmuştur.

Scalvenzi vd. [38] düşük katlı prekast betonarme yapıları temsil eden üç katli bir model üzerine farklı kolon kaybı senaryolarında bu yapıların aşamalı göçme potansiyelini artımlı dinamik analiz (ADA) aracılığıyla değerlendirmişlerdir. Bu çalışmada ön üretimli betonarme çerçeve binalarda kolon kaybının etkileri, yapısal detaylandırmanın ve kiriş-kolon bağlantılarının önemli rolünün incelenmesi mevcut prekast betonarme binalarının güçlendirilmesi için bir yol çizmek amacıyla hedeflenmiştir. Hasar değerlendirmesi için üç tip bağlantı tanımlanmıştır; (a) standart dışı (b) depreme dayanıklı (c) sağlamlığa yönelik detaylandırılmış. Analiz sonuçlarına dayalı tip (a) bağlantılı binalarda iç kolon kaybı senaryosunun, köşe ve kenar kolon kaybına göre daha kritik olduğu tespit edilmiştir. Zira iç kolon kaybı en büyük düşey yer değiştirmelere ve en yüksek göçme olasılıklarına yol açmaktadır. Bu durum, tip (a) bağlantıların yetersiz süneklik ve mukavemet kapasitesine sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Tip (b) bağlantıların göçme olasılığı, tip (a) bağlantılara göre belirgin şekilde düşük olduğu ortaya koyulmuştur. Tip (c) bağlantılar, Tip (b) bağlantılara göre daha yüksek bir göçme kapasitesine sahip olduğu görülmüştür. Nihai sonuç olarak, prekast betonarme yapıları iç kolon kaybı senaryolarının çoğu durumda en kritik senaryo olduğu tespit edilmiştir.

Xu vd. [39] betonarme çerçeve-perde duvarlı karma yapı sistemlerinin sismik performansını, iki farklı tasarım felsefesine göre karşılaştırmışlardır; (a) Fonksiyonel Bütünleşik Sistem (Functional Integration System): Taşıyıcı perde duvarların hem düşey yükleri (zati ağırlık ve hareketli yükler) hem de yanal deprem yüklerini birlikte taşıdığı sistemlerdir. (b) Fonksiyonel Ayrık Sistem (Functional Separation System): Perde duvarların birincil görevinin yanal deprem yüklerini karşılamak olduğu ve mümkün olduğunca az düşey yük taşıdığı, çerçeve kolonların ise düşey yüklerin büyük bir kısmını üstlendiği bir sistemdir. Çalışma, hangi yapısal sistemin daha iyi süneklik, enerji tüketme kapasitesi ve genel olarak sismik göçme direnci gösterdiğini belirlemeyi hedeflemiştir. Bunun için 5 katlı iki farklı yapısal sisteme sahip modeli (ayrık / bütünleşik) üzerinde Artımlı Dinamik Analiz (ADA) yöntemi kullanılarak yapısal sistemlerin göçme anındaki davranışları incelenmiş ve Göçme Marj Oranı (Collapse Margin Ratio: CMR) hesaplanmıştır. Analiz sonuçları perde duvarların birincil görevinin yanal yükleri karşılamak olduğu ve düşey yüklerden mümkün olduğunca ayrıştırıldığı "fonksiyonel ayrık sistemlerin",

deprem sırasında daha sünek davrandığı, hasarı daha iyi kontrol ettiği ve yapının genel göçme direncini önemli ölçüde artırdığını tespit etmiştir.

Zhang vd. [40] yakın fay bölgesindeki ileri yönlülük (forward-directivity) pulse şeklinde depremlerin yönelim açılarının (θ), yapıların göçme kapasitesi üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Bu çalışmada, Artırımlı Dinamik Analiz Yöntemi (Incremental Dynamic Analysis) kullanılmıştır. Çelik bina modellerinin yansıra simetrik plana sahip 3 katlı betonarme bir modelde ele alınmıştır. Analiz sonuçları, fay düzlemine dik yönelimin (θ = 90°) göçme riskini maksimize ettiğini ve kapasitenin açıyla doğrusal azaldığını ortaya koymuştur.

2.5.2. Uygulamalı Elemanlar

Grunwald vd. [3] betonarme çerçeveli yapıların aşamalı göçme analizlerinde kullanılan Sonlu Elemanlar Yöntemi (FEM) ile Uygulamalı Elemanlar Yöntemini (AEM) karşılaştırmışlardır. Çalışma, bu yöntemlerin doğruluğunu ve eksikliklerini farklı ölçeklerdeki modeller üzerinden ortaya koymayı amaçlamaktadır. Araştırmacılar Sonlu Elemanlar Yönteminin en büyük dezavantajlarından yapısal elemanların birbirinden ayrılmasını modellememek ve açık zaman entegrasyon şeması kullandığından dolayı büyük yapılar için hesaplama maliyetinin yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Buna karşın Uygulamalı Elemanlar Yönteminde elemanları yüzeysel olarak yaylar ile birbirine bağlanmış küçük kübik rijit parçalarla modellendiği sebebinden dolayı göçme ve ayrılmanın doğal bir şekilde simülasyonunu gerçekleştirmenin yansıra kapalı (implicit) zaman entegrasyon şeması kullandığı için, hesaplama süresini önemli ölçüde kısalttığındı beyan etmişlerdir. Yöntemlerin karşılaştırması için kullanılan tam ölçekli bina modeli, 2011 Christchurch depreminde kısmen yıkılan Pyne Gould Corporation Binası'dır. Bu 5 katlı betonarme bina merkezi bir perde duvar çekirdeğine sahiptir ve depremden önceki yıllarda kısmı bir güçlendirme geçirmiştir. Analiz sonuçlarına göre Sonlu Elemanlar Yöntemi (FEM) simülasyonu, göçmenin başlangıç anını doğru bir şekilde tahmin etmekle beraber nihai enkaz şeklinin tahmininde ciddi sapmalar gözlemlendiğini ve hesaplama süresi oldukça uzun olduğunu (12 gün) ortaya koymuştur. Uygulamalı Elemanlar Yöntemini (AEM) simülasyonuna gelince Sonlu Elemanlar Yöntemine (FEM) kıyasla gerçek göçme şekliyle çok daha uyumlu sonuçlar hem de çok kısa bir sürede (3.5 saat) vermiştir. Böylece Uygulamalı Elemanlar Yönteminin (AEM) tam ölçekli binaların göçme analizinde ve enkaz yığını tahmininde hem daha güvenilir hem de çok daha verimli bir yöntem olduğunu tespit edilmiştir.

Jadallah vd. [41] betonarme binaların aşamalı göçme direncini artırmada X ve Ters V tipi çapraz (bracing) sistemlerinin etkinliğini incelemişlerdir. Betonarme çaprazların bağlantı detaylandırma zorlukları nedeniyle yaygın kullanılmamasına rağmen, bu araştırma bu sistemlerin çoklu kolon kaybı senaryolarındaki performansını değerlendirmeyi ve en uygun çapraz yerleşim düzenlerini belirlemeyi amaçlamaktadır. Çalışma, özellikle Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018)'ne göre tasarlanmış çok katlı binalar üzerinde yoğunlaşmaktadır. UFC kılavuzlarına uygun olarak, üç farklı senaryoda (Köşe+2 bitişik kolon, 3 orta kolon, 3 uç kolon) ve üç farklı katta (zemin, orta, çatı) eşzamanlı olarak üç kolonun aniden kaldırma senaryosun Uygulamalı Elemanlar Yöntemiyle incelenmiştir. Çalışmada, yapısal düzensizlik içermeyen, simetrik 9, 12 ve 15 katlı betonarme binalar ele alınmıştır. Modeller üç farklı kategoride çapraz sız, tüm açıklıklarda ya X ya da ters V çaprazlı, sadece seçili açıklıklarda X çaprazlı olarak tanımlanmışlardır. Gerçekleşen 84 analiz sonucunda, TBDY-2018'e uygun şekilde tasarlanmış çapraz sız betonarme binalarda çoklu kolon kaldırma senaryolarında aşamalı göçmenin kaçınılmaz olduğu görülmüş, katenar etkisi dahi göçmeyi önleyememiştir. Ters V çaprazlı sistemler de başarısız olmuş; kirişler yüksek açıklık ortası kuvvetlerini taşıyamamış ve göçme gerçekleşmiştir. Buna karşın, tam X çaprazlı sistemler zemin ve orta kat kolon kayıplarında göçmeyi büyük ölçüde önlemiş, düşey yer değiştirme ve plastik mafsal oluşumu sınırlı kalmıştır. Ancak, çatı katı kolon kaybı durumunda destek yetersizliği nedeniyle göçme yaşanmış ve bu kata özgü ek çapraz ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Tam çaprazlama yerine stratejik açıklıklarda yerleştirilen çaprazlarla da benzer direnç sağlanmış ve %30–50 malzeme tasarrufu elde edilmiştir. Nihai sonuç olarak, X çaprazlı sistemler, özellikle zemin ve orta katlarda aşamalı göçmeye karşı etkili bir çözüm sunarken, çatı katı halen zayıf bir nokta olduğu tespit edilmiştir. Bu bulgular, betonarme çapraz sistemlerin aşamalı göçmeyi azaltmadaki potansiyelini ve pratik uygulamalar için önemini vurgulamaktadır.

2.5.3. Diğer Yöntemler

Shan vd. [42] bina yüksekliği parametresinin betonarme çerçeveli binaların aşamalı göçmeye karşı dayanıklılığı (robustness) üzerindeki etkisini doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemiyle araştırmışlardır. Çalışmada düzenli plana sahip 3, 6 ve 10 katlı betonarme çerçeveli binaları ele alınmıştır. Analiz sonuçları, nispeten küçük düşey yer değiştirmelerde kemer etkisinin (arch action) baskın hale gelerek ilk direnci sağladığını ve daha büyük düşey yer değiştirmelerde katenary etkisinin (catenary action) etkili olarak ek yerçekimi yüklerini taşımada çok verimli olduğunu ortaya koymuştur. Nihai sonuç olarak ilk kolon kaldırma senaryosu için yüksek katlı

binaların (örneğin 10 katlı), alçak katlı binalara (örneğin 3 katlı) göre katenary etkisini geliştirme ve aşamalı göçmeye direnme konusunda daha iyi bir performans sergilediği tespit edilmiştir. Bu durum, daha yüksek binaların daha fazla enerji sönümleme kapasitesine ve yedekliliğe sahip olmasıyla açıklanmıştır.

He vd. [43] betonarme çerçeve yapıların orantısız göçme direncini değerlendirmek için en kritik kolon kaldırma senaryolarını hızlı bir şekilde belirleyebilen, "düzensizlik indeksi" (irregularity index) olarak adlandırılan sayısal bir ölçüt geliştirmişledir. Bu çalışma göçme direncini belirlemek için Pushdown prosedürü kullanılarak deplasman kontrollü bir şema altında yürütülmüştür. Düzensizlik indeksinin etkinliğini doğrulamak amacıyla hem düzenli hem de düzensiz geometriye sahip (Düzensiz Açıklık Uzunluğu, Kademeli Bina, Geniş Zemin Katlı Bina) çeşitli bina modelleri kullanılmıştır. Analiz sonuçlarına göre önerilen düzensizlik indeksi ile sonlu elemanlar analiziyle elde edilen göçme direnci arasında çok yüksek bir korelasyon katsayısı bulunmuştur ve böylece düzensizlik indeksinin aşamalı göçme potansiyeline sahip binalarda en savunmasız bölgeleri hızlı ve güvenilir bir şekilde belirlemek için pratik bir araç olduğu tespit edilmiştir.

Nyunn vd. [44] çok katlı betonarme yapılarda yığma duvarların, yapıların aşamalı göçmeye karşı direncine olan etkisini araştırmışlardır. Çalışma, kolon göçmesi senaryoları altında (köşe ve dış kolon göçmeleri dahil) boş ve dolu çerçeveli duvarların kritik bir yük taşıyıcı elemanın kaldırılması durumunda alternatif yük yolları sağlamasının rolünü değerlendirmeyi hedeflemiştir. Bu çalışmada üç analiz yöntemi kullanılmıştır. Bunlardan en önemlisi doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemi GSA şartlarına uygun olarak, gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda yük kombinasyonunun belirlenmesi, kolon kaldırma sürecinin simülasyonu, Dinamik Büyütme Faktörü hesaplanması ve kabul kriterleri ile değerlendirme gerçekleştirilmiştir. Nihai sonuç olarak dolu duvarların, kolon göçmesi senaryolarında yüklerin yeniden dağıtımında faydalı olduğunu ve betonarme binanın göçme direncini artırdığı ortaya koyulmuştur. Ayrıca, GSA tarafından önerilen 2'lik dinamik büyütme faktörünün (Dynamic Amplification Factor) muhafazakâr olduğunu ve dolu duvarların varlığının dinamik büyütme faktörünün değerini önemli ölçüde etkilemediğini göstermiştir.

Zhou ve Li [45] betonun malzeme özelliklerindeki belirsizliklerin ve doğrusal olmayan davranışların birleşik etkilerini karmaşık betonarme yapıların göçme değerlendirmesine sistematik bir şekilde dahil etmeyi hedeflemişlerdir. Bu çalışmada doğrusal olmayan stokastik

sonlu elemanlar analiz yöntemi (Nonlinear Stochastic Finite Element Method) kullanılmıştır. Ayrıca yapısal göçmeyi tanımlamak için katlar arası ötelenme oranı gibi yerel deformasyon ölçütleri yerine, daha bütünsel bir enerji kriteri kullanılmıştır. Bu kritere göre, yapının "efektif içsel enerjisi" ile sisteme giren "efektif girdi enerjisi" karşılaştırılır. Yapının dinamik olarak kararsız hale gelip göçtüğü an, efektif girdi enerjisinin efektif içsel enerjinin altına düştüğü ilk an olarak tanımlanır. 16'inci kattaki perde duvar kalınlığı azalmasından dolayı zayıf kat sahibi 18 katlı perdeli betonarme prototip bina modeli, söz konusu yöntemin test edilmesinde ele alınmıştır. Sonuçlar beton malzemesinin belirsizliklerinden yana göçme modlarında değişkenlik yaşandığını, 16'inci katın her durumda en kritik kat olmadığını ve katlar arası ötelenme oranı limitlerine dayalı göçme değerlendirmesinin yanıltıcı olabileceği ortaya koymuştur.

Panahi ve Zahrai [46] tipik betonarme bina planlarının (kare ve dikdörtgen) aşamalı göçme üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Araştırmacılar GSA ve UFC yönetmeliklerine uyumlu şekilde doğrusal olmayan analiz yöntemini kullanmışlardır. Analiz sonuçları dikdörtgen planlı binaların köşe kolon çıkarılması senaryosunda kare planlı binalara göre daha büyük aşamalı göçme riskler taşıdığını tespit etmiştir.

Scalvenzi ve Parisi [47] 8 katlı, düzensiz bir plana sahip, mevcut bir betonarme çerçeveli binanın, yapısal güçlendirme (retrofitting) uygulaması sırasında aşamalı göçme potansiyelini doğrusal olmayan itme analizi (nonlinear pushdown analysis) yöntemiyle değerlendirmişlerdir. Çalışmada toplam on sekiz yapısal güçlendirme senaryosu dikkate alınmıştır; on beş beton örtüsü kaldırma senaryosu ve üç zemin kazısı senaryosu. Analiz sonuçları dolgu duvarlarından gelen yük katkısının, aşamalı göçme direncini önemli ölçüde etkileyebileceğini göstermektedir. Bu Nyunn vd. [44] boş ve dolu çerçeveli duvarların kritik bir yük taşıyıcı elemanın kaldırılması durumunda alternatif yük yolları sağlamasının rolünü değerlendirmeyi hedefleyen çalışmalarında elde ettikleri bulgularla örtüşmektedir. Ancak nihai sonuç, güçlendirme uygulaması sırasında lokal hasarın (beton örtü kaldırma ve kolon ayağında zemin kazısı) mevzu konusu binada aşamalı göçmeyi tetiklediğini sayısal olarak kanıtlamıştır.

Mucedero vd. [48] kısmen gömülü (partially encased) kompozit kirişlere sahip çerçeveli binaların kolon kaybı senaryosunda aşamalı göçme potansiyel değerlendirmesini amaçlamışlardır. Çalışmada Eurocode 4 kapsamında yerçekimi yüklerine göre tasarlanmış alçak katlı binaların alternatif yük yolu felsefesine dayanarak pushdown analizi

gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları, aşamalı göçme direncinin kiriş tipine (kısmen gömülü veya betonarme), kiriş yüksekliği ve açıklık uzunluğuna karşı büyük bir hassasiyet gösterdiğini ortaya koymuştur. Boyuna donatının etkisinin kısmen gömülü kirişler üzerinde daha az olduğu tespit edilmiştir. Nihai sonuç olarak merkezi kolonun kaldırılmasının, aşamalı göçme için en kötü senaryo olduğu belirlenmiştir.

Garg vd. [49] betonarme düz plakalı binaların aşamalı göçme riskini azaltmak için üç güçlendirme yönteminin (çevre kirişi, perde duvarı, her ikisinin kombinasyonu) etkinliğini değerlendirmişlerdir. Bunun için 4 katlı model üzerinde farklı kolon kaldırma senaryolarında (köşe/kenar/iç kolonlar) statik analizi ve kolon kaldırmasında zamanlama açısından (tek kolon/çoklu kolon eşzamanlı/kolonlar ardışık 1.25s aralıklarla) dinamik davranışı analizi gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları kenar kolon kaldırma senaryosunda perde duvarı eklenmesini ve köşe kolon kaldırma senaryosunda ise çevre kirişi eklenmesini göçme potansiyeline karşı en etkili uygulama olduğunu tespit etmişlerdir. Tüm kolon kaldırma senaryolarını göze alınca perde duvar ile çevre kirişi kombinasyonunun en etkili uygulama olduğu (talep kapasite oranı ve düşey deplasmanlar azalması üzerinden) en etkili uygulama olduğu ortaya koyulmuştur.

Qian vd. [50] çok katlı betonarme çerçeveli binalarda dolgu duvarların aşamalı göçme direncine karşı etkisini incelemişlerdir. Bunun için 8 katlı bir modelde kolon kaldırma senaryoları (orta/köşe kolon senaryoları) için statik itme analizi gerçekleştirilmiştir. Nihai sonuç olarak dolgu duvarların, özellikle döşeme ile kullanıldığında, çok katlı betonarme çerçevelerde aşamalı göçme direncini %70'e varan oranda artırdığı tespit edilmiştir.

Kumar vd. [51] düzenli plana sahip 7, 9 ve 11 katlı betonarme çerçeveli binaların aşamalı göçme talebini zemin katındaki çeşitli kolon kaldırma senaryoları (köşe, kenar, sondan bir önceki ve iç kolon kaldırma) altında hem doğrusal statik hem de doğrusal olmayan dinamik analiz kullanarak dikey yer değiştirme tepkileri aracılığıyla incelemeyi amaçlamışlardır. Nihai sonuç olarak doğrusal olmayan dinamik analizleri, köşe kolon kaldırma senaryosunun tüm bina modelleri için diğer senaryolara kıyasla daha yüksek dikey yer değiştirme sergilediğini ve daha kritik olduğunu göstermiştir. Bu tür hasar senaryolarının önlemek için kolonun taşıma kapasitesinin artırılması önerilmiştir.

Lin vd. [52] betonarme çerçeveli yapıların aşamalı göçme direncini daha iyi nicelemek amacıyla bina ve eleman bazında aşamalı göçme kırılganlık ve duyarlılık analizleri

yapmışlardır. Bu çalışmada zemin katta 12 farklı kolon kaldırma senaryosu (köşe, kenar ve iç kolonlar) için doğrusal olmayan dinamik yöntemi ele alınmıştır. Olasılıksal sismik talep analizi (Probabilistic seismic demand analysis) yapılarak kırılganlık eğrileri lognormal dağılım (Lognormal Distribution) fonksiyonu kullanılarak oluşturulmuştur. Analiz sonuçları düzenli plana sahip 3 katlı binada, iç kolon kaldırma senaryolarının, kenar ve köşe kolon kaldırma senaryolarına göre daha kritik olduğunu tespit etmiştir.

Vinay vd. [53] açık zemin kata sahip 10 katlı betonarme çerçeve bir binanın aşamalı göçme potansiyelini çeşitli kolon kaybı senaryolarında incelemişlerdir. Bu çalışmada gerçek inşaat sürecinide aşamalı göçme potansiyelini simüle etmek amacıyla Doğrusal Olmayan Kademeli İnşaat (Nonlinear Staged Construction) yöntemi kullanılmıştır. Analiz sonuçları Çalışmada, en kritik göçme senaryolarının iç kolonların veya kısa kenar ortasındaki kolonların kaldırılması olduğu ve göçmenin genellikle önce kirişlerde başlamış, kolonlar ise yükü daha iyi dağıtabildikleri için daha dayanıklı olduklarını ortaya koymuşlardır. Ayrıca döşemelerin slab etkisi sayesinde göçmenin yayılması sınırladığı ve hasarı lokalize ettiği görülmüştür.

Scalvenzi vd. [54] yalnızca düşey yüklere karşı tasarlanmış betonarme çerçeve yapıların sismik amaçlı güçlendirilmesinin, aşamalı göçme direncinde etkisini sayısal olarak incelemişlerdir. Bu çalışma, karbon fiber takviyeli polimerler (CFRP) kullanılarak uygulanan bir sismik güçlendirmenin, yapının hem deprem güvenliğini hem de aşamalı göçmeye karşı sağlamlığını (robusluğunu) nasıl etkilediğini çoklu tehlike performansı kapsamında değerlendirmeyi hedeflemektedir. 5 katlı yapının aşamalı göçmeye karşı sağlamlığını (köşe kolon ve orta kolon kaybı senaryoları altında) değerlendirmek için Pushdown analizi kullanılırken deprem performansını değerlendirmek için Pushover analizi gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarına dayalı yapının güçlendirilmemiş durumu oldukça aşamalı göçme potansiyeli barındırmaktadır. Ancak CFRP sargılarla uygulanan sismik güçlendirmesi aynı zamanda aşamalı göçme güvenliğini de artırabileceğini ortaya koymaktadır.

Mirzahosseini vd. [55] yüksek performanslı lif takviyeli çimentolu kompozitlerin (high-performance fiber-reinforced cementitious composites) kiriş-kolon birleşim yerlerinde kullanılmasının, ilerleyici göçmeye maruz kalan betonarme çerçeve yapıların davranışı üzerindeki etkilerini değerlendirmişlerdir. Bu amaca yönelik köşe kolon kaybı senaryosunda GSA şartlarına uygun şekilde doğrusal olmayan dinamik analizi gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada, beş adet betonarme modeli; (a) normal beton kiriş-kolon birleşimleri (b) takviyeli

beton kiriş-kolon birleşimleri; normal ve farklı donatı oranlarıyla. Analizlerin sonuçlarının karşılaştırması neticesinde, kiriş-kolon birleşimlerinde takviyeli beton kullanılmasının, aşamalı göçmeye maruz kalan betonarme çerçeve binalarının sağlamlığını etkin bir şekilde artırabileceğini göstermiştir. Kiriş ve kolonların boyuna donatılarının binaların sağlamlığını iyileştirmede önemli bir rol oynadığı ve miktarlarının azaltılmasının tavsiye edilmediği belirtilmiştir.

Xudong vd. [56] aşamalı göçme analiz yöntemlerinin pahalı ve kısıtlı sonuçlar içerdiğinden yola çıkarak alt bölge modeline dayalı çok senaryolu bir göçme analiz prosedürü önermişlerdir. Bu yöntemde bileşenlerin iç kuvvetlere dayalı göçme potansiyelini değerlendirmek ve farklı aşamalı çökme senaryolarını türetmek için malzeme modelinde bir olasılık faktörü tanımlanmıştır. Bina yapısı, bileşenlerin hasar korelasyonuna göre birkaç alt bölgeye ayrılmıştır; Böylece bölgesel göçme derecesinin daha makroskobik bir ölçekte gösterilmesini sağlamış ve acil durum yönetimi için daha uygun bir yöntem sunmuşlardır.

Yin vd. [57] dikey elemanların (kolonlar veya perde duvarlar gibi) çıkarılmasıyla tetiklenen devrilme göçmesinin mekanizmasını ortaya çıkarmak amacıyla tek veya çapraz perde duvarlara sahip üç adet 1/5 ölçekli perdeli betonarme çerçeve yapısal modeli test etmişlerdir. Çapraz perde duvarlara sahip yapısal modelin devrilmesine rağmen parçalanmadığı ve bunun çapraz perde duvarların yapının bütünlüğünü iyileştirdiğini gösterdiğini belirlemişlerdir. Göçmenin nümerik simülasyonu için ayrık eleman yöntemi (DEM: Discrete element method) tabanlı bir göçme sistemi geliştirmişlerdir. Analiz sonuçları göçmeni önlemek için birinci kattaki bileşenlerin gerekli koruyucu veya güçlendirmelerinin zaruretini ve dikey elemanların çıkarılması senaryosunda kalan elemanların basınç taşıma kapasiteleri yetersiz olduğunda aşamalı göçmenin başlayacağını ortaya koymuşlardır.

Gan vd. [58] betonarme çerçevelerin aşamalı göçme riskine karşı genel güvenilirliğini değerlendirmek için, başlangıçtaki yerel hasarın etkisini dikkate alan bir hesaplama çerçevesi sunmuşlardır. Bu yöntem başlangıçtaki lokal hasarın konumu, değerlendirmesi ve lokal hasardan sonra yapısal aşamalı göçme analizi aşamalarından teşkil etmiştir. Ayrıca hesaplama verimliliği ile doğruluk arasında bir denge sağlamak için, olasılık yoğunluğu evrim yöntemi (Probability Density Evolution Method) kullanılarak başlangıçtaki lokal hasar olasılığı ve yapısal aşamalı göçme olasılığı hesaplanmaktadır. Geliştirilen prosedür, bir prototip betonarme çerçeveye uygulanmıştır. Yapısal direnç, deneysel verilerle doğrulanmış üç boyutlu makro

tabanlı sayısal modelleme kullanılarak belirlenmiştir. Genel güvenilirlik, üç farklı hasar kriterine göre değerlendirilmiş ve güvenilirlik sonuçlarına dayanarak çeşitli yapısal güçlendirme stratejileri tartışılmıştır. Sonuçlar, geliştirilen yöntemin başlangıçtaki lokal hasarının betonarme çerçevelerin aşamalı göçmeye karşı güvenilirliği üzerindeki etkisini keskin bir şekilde nicelleştirebildiğini göstermektedir.

Ibrahim vd. [59] kolon/perde duvarı kaldırma senaryoları altında bir 17 katlı perdeli betonarme çerçeveli yapının aşamalı göçmeye karşı direncini doğrusal olmayan dinamik analizi yöntemiyle araştırmışlardır. Bu çalışma ani kolon/perde duvarı kaldırmanın senaryosunda komşu kolon/perde duvarlarının kaldırılan elemana karşı dikey reaksiyonunu tahmin etmek amacıyla bu elemanlar için bir dinamik büyütme faktörü (Dynamic Amplification Factor) belirlemiştir. Araştırmacılar Gan vd. [58] çalışmalarında olduğu gibi hem stokastik sayısal sonuçlar hem de anlık olasılık yoğunluk fonksiyonu elde edilebilen olasılık yoğunluğu evrim yöntemi (Probability Density Evolution Method) kullanmışlardır. Analiz sonuçları daha üst katlardan ani kolon/perde duvarı kaldırmanın, alt katlara göre daha kritik olduğu ortaya koymuştur. Bu bulgu Yin vd. [57] bulgularıyla doğrudan çelişkili olsa da alt katlarda daha fazla katın serbest kalan enerjiyi sünmeye katılmasıdır. Zira bazı durumlarda, ani perde duvarı kaldırılmasından kaynaklanan yatay yer değiştirmenin dikey yer değiştirmeden daha kritik olduğu görülmüştür. Deterministik analizde farklı kaldırma senaryolarında herhangi bir aşamalı göçme veya lokal hasar gözlenmezken, stokastik sayısal analiz kaldırılan elemanı çevreleyen bölgede yaklaşık %40'lık bir lokal hasar olasılığını ortaya koymuştur. Bu lokal hasarlar, binanın göçmesine neden olabilir ve böylece stokastik sayısal analizlerin önemini ortaya koymuştur.

Lin vd. [60] betonarme çerçeve yapıların doğrusal olmayan dinamik aşamalı göçme tasarımını optimize etmek için Alternatif Yol Yöntemine felsefesine dayan bir tasarım çerçevesi geliştirmeyi amaçlamışlardır. Bu çalışmada düzenli plana sahip 4 katlı bir betonarme bina modeli için tehditten bağımsız şekilde 12 kolon kaldırma senaryosu ele alınmıştır. Araştırmacılar Parçacık Sürü Optimizasyonu (Particle Swarm Optimization) algoritmasının, amaç fonksiyonunda yapının belirtilen kolon kaldırma senaryolarında çökmemesi ve donatı oranının maksimum değerini aşmaması iki kısıtı (constraint) sağlamayı planlamışlardır. Analizlere hız kazandırmak için paralel hesaplama ve küme hesaplama teknikleri entegre ederek, iterasyonun her adımında çok sayıda analizi paralel olarak yürütmüşlerdir. Nihai sonuç olarak önerilen optimizasyon üzerinden aşamalı göçme tasarımı, 4 katlı bir modelde

doğrulanmak üzere, aşamalı göçme direncini artırmak için ekonomik ve verimli bir strateji sunduğu ortaya koyulmuştur.

Wang vd. [61] betonarme çerçeveli yapıların aşamalı göçmesini değerlendirmek için makine öğrenimi ve bir fizik motoruna dayalı, hızlı bir görsel simülasyon yöntemi önermişlerdir. Bu yöntemde geometrik modeli hızlı bir şekilde oluşturulduktan sonra iç göçme bölgesini tahmin etmek için XGBoost algoritmasına dayalı bir makine öğrenimi modeli ve yatay göçme yayılım algoritması geliştirilmiştir. Betonarme çerçevenin göçme sürecini görsel olarak temsil etmek için Voronoi tessellation ve fizik motoru (kütle-yay modeli) tabanlı bir görsel simülasyon yöntemi önerilmiştir. Bu çalışmada önerilen yöntemin doğruluğu ve uygulanabilirliği, simülasyon sonuçlarının doğrusal olmayan dinamik analiz sonuçlarıyla karşılaştırılması yoluyla doğrulanmıştır. Nihai sonuç olarak önerilen hızlı görsel simülasyon yönteminin, göçme yayılım sürecini ve göçme durumunu gerçekçi bir şekilde yansıtabildiğini ve pratik uygulamalar için uygun olduğunu göstermiştir.

Liv vd. [62] betonarme yapıların aşamalı göçme sürecini, yeni bir hibrit sayısal çerçeve sunmuşlardır. Bunun için Sonlu Elemanlar Yöntemi (FEM) ile Fizik Motorunun (Physics Engine) güçlü yönlerini kullanarak hibrit bir yaklaşım geliştirmektedir. Doğrusal Olmayan Açık Zaman Tanımlı Dinamik Analizi (Non-Linear Explicit Dynamic Analysis) yapısal göçmenin başlangıcına kadar olan küçük deformasyon aşamasında, malzemenin doğrusal olmayan davranışını hassas bir şekilde simüle etmek için kullanılırken fizik Motoru (Blender 3D) göçme başladıktan sonraki büyük deformasyon aşamasında, yapısal elemanların ayrılması, çarpışması ve enkazın gerçekçi bir şekilde birikmesini modellemek için ele alınmıştır. Geliştirilen hibrit FEM-PE yöntemi vasıtasıyla 8 katlı bir betonarme çerçeve yapı üzerinde bir vaka çalışması gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları tek bir kolonun kaldırılmasıyla değil ancak bir köşe kolonu ile yanındaki bir kenar kolonunun aynı anda kaldırılmasıyla yapıda aşamalı göçmenin başladığını ortaya koymuştur. Ayrıca göçmenin yayılmasına neden olan ana etkenlerin, kolonlarda meydana gelen büyük burulma (torsion) ve eğilme momentleri olduğu tespit edilmiştir. Nihai Sonuç olarak yeni önerilmiş hibrit yöntem, yapıların göçme sürecini yüksek doğrulukla simüle edebilen, enkaz dağılımını gerçekçi bir şekilde gösterebilen ve bu sayede afet sonrası incelemeler için değerli veriler sunan bütünleşmiş bir sayısal yöntem ortaya koymuştur.

Chen vd. [63] çok katlı betonarme çerçevelerin aşamalı göçme dayanıklılığını değerlendirmek için basitleştirilmiş bir yöntem önermişlerdir. Analiz yöntemi, sonlu elemanlar yöntemi (FEM) ve enerji bazlı yöntem (Energy-Based Method) ile iki ana bileşenden oluşmaktadır. Çalışmada, statik itme analizi (Push-Down Analysis) ve dinamik geçici analizler (Dynamic Transient Analyses) gibi farklı analiz türleri uygulanmıştır. Statik itme analizi, belirli bir kolonun kaldırılması durumunda yapının tepkisini değerlendirmek için kullanılırken, dinamik analizler, ani yük değişimlerinin etkilerini incelemek için kullanılmıştır. Enerji bazlı yöntem ise dinamik etkileri ve göçme potansiyelini değerlendirmek için enerji dengeleme prensiplerini ele almaktadır. 3, 6 ve 8 katlı modellerin analiz sonuçlarına dayanarak binalarda kat sayısının fazla olmasıyla, genellikle daha iyi göçme direnci sağlandığı ve üst katlardaki iç ve köşe kolonların, en kritik elemanlar olduğu belirlenmiştir.

Al-Sadoon vd. [64] ikili sistemli (çerçeve + perde) betonarme binaların aşamalı göçme karşısındaki dayanıklılığını incelemişlerdir. Bunun için 5, 15 ve 25 katlı prototip modeller kolon kaldırma senaryoları altında Doğrusal Olmayan Dinamik Analizlerine tabi tutulmuşlardır. 27 farklı senaryodan elde edilen sonuçlara göre kolon kaldırma sonrası en büyük düşey yer değiştirmeler köşe kolonlarında gözlemlenmiş, açıklık arttıkça yer değiştirmeler artmış ancak bina yüksekliğinden bağımsız olarak %10'luk bir sınırda kalmıştır. Bitişik kolonlarda eksenel yük, kesme kuvveti ve moment talepleri ani artış göstermiş, ancak elastik sınırlar içinde kalmıştır. Tek kolon kaldırma durumlarında plastik mafsal oluşmamış, ancak büyük açıklıklı (6 m) binalarda çoklu kolon kaybı senaryolarında plastik mafsallar oluşmuş ve göçme riski artmıştır. En kritik zayıflık, döşemelerin kaldırılan kolona bağlı bölgelerinde eğilme kapasitesinin yetersiz kalmasıdır; moment işareti değişimiyle mevcut donatıların talepleri karşılayamaması bu sorunu büyütmüştür. Nihai sonuç olarak, mevcut betonarme binalar tek kolon kaybına karşı dayanıklı olmasına rağmen, özellikle büyük açıklıklı sistemlerde döşeme tasarımının iyileştirilmesi zaruretinin altı çizilmiştir.

Negrin vd. [65] betonarme çerçeve yapıların aşamalı göçmeye karşı dayanımını artırmak amacıyla zemin-yapı etkileşimi, döşeme ve dolgu duvarlar gibi genellikle göz ardı edilen unsurların yapının göçme dayanımı üzerindeki etkilerini değerlendirmişlerdir. Analiz yöntemi olarak, Kriging temelli metamodel destekli çift aşamalı bir arama stratejisi kullanılmıştır. Bu nümerik yaklaşım, yüksek hesaplama maliyetlerini azaltmak için düşük-hassasiyetli simülasyonları (Low-Fidelity Simulation) yüksek-hassasiyetli simülasyonlarla (High-Fidelity Simulation) dengeleyen bir meta-sezgisel optimizasyon süreci içermektedir. 3 ila 6 katlı

simetrik plana sahip ve 4 ila 8 m açıklıklara sahip modeller ele alınmıştır. Zemin-yapı etkileşimi elastik yarı sonsuz ortam kabulüyle modellenmiş ve temel oturmaları dikkate alınmıştır. Aşamalı göçme potansiyelinin değerlendirilmesinde, Alternatif Yük Yolu yöntemi temel alınmış, eleman kapasite oranları ve dönme açıları gibi kabul kriterleri ile yapısal yeterlilik değerlendirilmiştir. Sonuçlar, döşeme ve dolgu duvarlarının özellikle büyük açıklıklarda göçme dayanımını belirgin şekilde artırdığını, kirişlerin bu katkıdan en fazla yararlanan elemanlar olduğunu göstermiştir. Ayrıca, kat sayısının artışı göçmeye karşı dayanıklılığı artırırken, açıklık uzunluğunun artışı ters yönde etki ettiği tespit etmiştir.

Shahriar ve Amanat [66] Bangladeş'in farklı deprem bölgelerindeki zemin katta yumuşak kata sahip betonarme binaların göçme mekanizmalarını incelemişlerdir. Bu çalışmada 10 katlı bir referans modelin yansıra 6, 10, 14 ve 18 katlı varyasyonlar, 5 farklı deprem bölgesi için doğrusal olmayan Pushover analizine tabi tutulmuştur. Sonuçlar, yumuşak katlı binaların depremde zemin kat kolon kaybı ve yüksek göreli öteleme nedeniyle ciddi göçme riski taşıdığını ortaya koymuştur. Bu risk, yüksek depremselliğe sahip bölgelerinde ve düşük katlı binalarda daha belirgindir.

Li vd. [67] betonarme çerçeve yapıların çoklu kolon kaldırma senaryoları altında orantısız göçme potansiyelini değerlendirmeyi amaçlamışlardır. Çalışmanın metodolojisinde yapının savunmasız pozisyonlarını, kısmı / genel göçme modlarının belirlenmesinin yansıra hasar talebi ile göçme sonuçlarını ilişkilendiren nicel bir savunmasızlık indeksi tanımlanmıştır. Yöntemin test edilmesine yönelik 6 katlı tipik bir model Doğrusal Olmayan Dinamik Analizine tabi tutulmuştur. Sonuçlara göre kısmi göçme durumunda kolon-kiriş-döşeme bağlantıları önce zarar görürken, genel göçmede kiriş ve döşemeler yatay yükleri komşu kolonlara aktararak bu kolonlarda moment, burulma ve eksenel kuvvet oluşmasına neden olduğu tespit edilmiştir. Nihai bir sonuç olarak, savunmasızlık indeksi belirleme üzerinden yapıların kritik zayıf noktaları ve olası göçme şeklini (kısmi/global) belirlemek detaylı sonlu eleman analizine gerek kalmadan mümkün olmuştur.

Li vd. [68] betonarme çerçeve yapıların kolon kaybı senaryoları altındaki aşamalı göçme davranışını incelemek için üç boyutlu çok katlı bir analitik model geliştirmeyi amaçlamışlardır. Mevcut çalışmalar çoğunlukla iki boyutlu tek katlı modellerle üzerinden kalibre edilmiştir ve karmaşık üç boyutlu etkileri ile çok katlı yapıların katlar arası farklılıklarını (multi-storey effect) tam olarak yansıtmamaktadır. Bu çalışmanın temel hedefleri, kolon konumundan

bağımsız bir analitik model sunmak, Kiriş etkisi (beam action), kemer etkisi (arch action) ve zincir etkisini (catenary action) üç boyutlu uzayda entegre ederek göçme sürecini tanımlamak, destek kolonlarının deformasyonundan kaynaklanan katlar arası iç kuvvet dengesizliklerini (multi-storey effect) modellemek, modelin doğruluğunu deneysel veriler, gerçek vaka çalışmaları (Oklahoma City) ve nümerik simülasyonlarla sağlamak olmuştur. 7 farklı kolon kaldırma senaryosu için 10 veya 15 katlı modeller Doğrusal Olmayan Dinamik Analizine tabi tutulmuşlardır. Sonuçlar modelin bileşen hasarlarını ve göçme yayılımını başarıyla öngörebildiğini ve parametre değişimlerinin (örneğin donatı oranı veya kesit küçülmesi) direnç üzerindeki etkilerini belirleyebildiğini ortaya koymuştur.

2.5.4. Değerlendirme

Son 5 yılda aşamalı göçme alanında yayınlanmış olan akademik çalışmaların yöntem dağılımı **Tablo 2.6**' da sunulmuştur. Tablodan da anlaşılmaktadır ki literatürde tam ölçekli bina modeli çalışmalarının çoğunluğu diğer yöntemler üzerinden yol almıştır. Ayrıca diğer yöntemler başlı altında yer alan çalışmaların içinde Doğrusal Olmayan Dinamik Analiz yöntemi de gelmiştir. Bu analiz teorik olarak Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı yöntemiyle aynıdır; ancak Doğrusal Olmayan Dinamik Analizi, yapının hareket denklemini zaman içinde küçük adımlarla çözer ve her adımda yapının değişen rijitliğini, konumunu ve iç kuvvetlerini günceller. (**Denklem 2.2**) Zira aşamalı göçme senaryolarında Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı yönteminde F(t) yerine bir ölçeklendirilmiş deprem kaydı varken Doğrusal Olmayan Dinamik yönteminde F(t) örneğin bir kolon kaldırma senaryosundan dolayı ortaya çıkan yük değişimini ifade etmektedir.

$$M\ddot{u}(t) + C\dot{u}(t) + Ku(t) = F(t) \qquad \text{Denklem (2.2)}$$

Tablo 2.6: Akademik çalışmalarda yöntem dağılımı.

Yöntem	Araştırma Sayısı
Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı	2
Artımlı Dinamik	6
Uygulamalı Elemanlar	2
Diğer Yöntemler	27

Sonuç itibariyle akademik çalışmalar bölümünde tartışılan çalışmalar %95 oranında bu tez çalışmasında tarafımızca ele alınan çerçevenin dışında kalmıştır.

3. YÖNTEM

Bu tez çalışması kapsamında betonarme binaların aşamalı göçme potansiyeli kolon kaybı senaryosu üzerinden ve tehdide bağlı yaklaşımıyla incelenmiştir. Bunu gerçekleştirmek için *Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı Analiz* yöntemi kullanılmıştır. Tez kapsamında 34 kolon kaybı senaryosu, 5 farklı model üzerinde ele alınmıştır. Böylece betonarme yapıların aşamalı göçmeye karşı dirençlerinin çeşitli parametrelerden nasıl etkilendiği ortaya koyulmuştur.

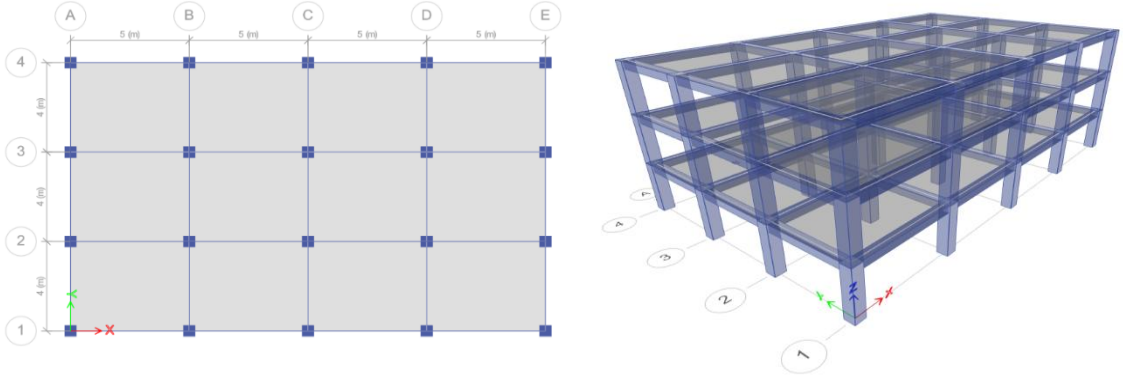
3.1. MODEL

Bu tez çalışmasında araştırmanın kapsamlı yol haritasından dolayı çeşitli etkenler ele alınmıştır. Söz konusu prosedür de farklı modellere ihtiyaç duyulmuştur. Ancak çalışmaya ait tek bir Kontrol modeli (Model A) tasarlanmıştır.

Kontrol modeli (Model A) uç katlı ve düzenli plana sahip bir betonarme binayı temsil etmektedir. X ekseni doğrultusunda 5 m uzunluğunda dört açıklığa ve Y ekseni doğrultusunda 4 m uzunluğunda üç açıklığa sahiptir. Kat yükseklikleri ise tüm katlar için 3 m olarak sabit tutulmuştur. Modele ait betonarme elemanların özellikleri **Tablo 3.1**' de ve modelin görüntüleri **Şekil 3.1**'de sunulmuştur.

Tablo 3.1: Kontrol modelinin eleman özellikleri.

Yapısal Eleman	Özellikler
Kolon	50 × 50 cm; 16Ø20; Ø10/10cm; 4 kol etriye.
Kiriş	40 × 40 cm; 4Ø14; Ø10/10cm; 2 kol etriye.
Döşeme	15 cm kalınlığında.



Şekil 3.1: Kontrol modelinin plan ve uç boyutlu görüntüleri [69].

Bu prototip modelde, analiz sonuçlarını karmaşıklaştıran ve yorumlamayı zorlaştıran geometrik düzensizliklerden kasıtlı olarak kaçınılmıştır. Örneğin modelde asansör ve merdiven açıklığı bulunmamaktadır. Kat yükseklikleri sabit tutulmuştur. Zira amaç, temel taşıyıcı sistemin aşamalı göçmeye karşı davranışına odaklanmaktır.

Taşıyıcı sistemi olarak süneklik düzeyi yüksek moment aktaran çerçevelerden oluşan sistem seçilmiştir (*R=8*; *D=3*) ve planda perde duvarına yer verilmemiştir. Zira literatürde yer alan mevcut binaların aşamalı göçme potansiyeli değerlendirmesinde perdeli betonarme binalar araştırma konusu olmuş olsa da [34] deneysel ve nümerik çalışmaların çoğunluğu perdesiz modeller üzerinden yol almıştır. Bunun nedeniyse tüm kolon kaybı senaryolarında perde duvarının, yapının göçmeye karşı direncini artırmakta pozitif ve etkili bir rol aldığıdır. Ancak akademik çalışmaların çoğunluğu aşamalı göçme potansiyeline karşı perde duvarların katkısı olmaksızın sistemin kendi içindeki süneklik kapasitesi ve alternatif yük yollarının oluşup/oluşmadığını araştırmaktadırlar. *GSA* [29-30] ve *DoD* [31-32] gibi yaygın şartnameler de bu gerçeği yansıtmaktadır. Sonuç itibariyle bu tez çalışmasının amacı, metodolojisi ve parametrik çalışmaya uyumluluk sağlayan prototip bir model ele alınmıştır.

Modelde beton sınıfı C35 ve donatı sınıfı ise B420C olarak ele alınmıştır. Yapısal betonarme elemanlarda kullanılan donatı oranları, minimum donatı oran şartlarını sağlayacak şekilde belirlenmiştir. Kontrol modelinin analiz sonuçlarının diğer modeller ile karşılaştırmakta bir standart model görevini üslendiğinden dolayı sözü geçen modelde kolon, kiriş ve döşeme kesit ebatları ve donatı oranları tüm katlar ve yanı sıra plan içinde sabit tutulmuştur. Zira ileriki adımlarda belirli etkenlerin değişiminden dolayı analiz sonuçlarının hangi oranda değiştiğini tahkik etmek amacıyla kontrol modelinde değişikler planlanmıştır.

Aşamalı göçme analizlerinde döşeme etkisinin dahil edilmesi, eğilme ve kemer hareket kapasitesini önemli derecede artırdığından dolayı, daha gerçekçi bir sonuçlar elde etmek amacıyla döşemeler de modellenmiştir [1].

Kontrol modelinin kullanım amacı konut olduğundan, hareketli yük kütle katılım katsayısı 0.3 olarak kabul edilmiştir ve mevzu konusu modelde tanımlanan yükler **Tablo 3.2**'de özetlenmiştir.

Tablo 3.2: Kontrol modelinin yük tanımlamaları.

Yük Tipi	Açıklama
Sabit Yük	Yapısal elemanların öz ağırlıklarını kapsamaktadır.
Kaplama Yükü	Döşemelerde 2 kN/m^2 olarak kabul edilmiştir.
Duvar Yükü	Dış kirişler için 4.5 kN/m Döşeme üzerinde 1 kN/m^2 olarak kabul edilmiştir.
Hareketli Yük	Döşemelerde 2 kN/m^2 olarak kabul edilmiştir.
Kar Yükü	En üst katta 0.75 kN/m^2 olarak kabul edilmiştir.
Sıcaklık Yükü	Sıcaklık farkı 20 derece olarak belirlenmiştir.

Söz konusu Model A'da üç ilk mod için modal analiz sonuçları **Tablo 3.3**'te sunulmuştur;

Tablo 3.3: Model A için modal analiz sonuçları.

Mod No	Periyod (s)	X yönünde kütle katılım oranı (%)	Y yönünde kütle katılım oranı (%)
1	0.515	%81	0
2	0.486	0	%82
3	0.139	%14	0

Modal analiz sonuçlarına dayalı Model A'nın birinci modu X yönünde saf bir öteleme moduyken ikinci modu Y yönünde saf bir öteleme modudur ve model simetrik plan ve simetrik yapı elemanı yerleşimi nedeninden dolayı herhangi bir burulma moduna sahip değildir. Model A için *Eşdeğer Deprem Yükü Analizine* dayalı gerçekleştirilen *Burulma Düzensizliği* kontrolü sonuçları ayrıca **Tablo 3.4**'te paylaşılmıştır;

Tablo 3.4: Model A için burulma düzensizliği kontrolu sonuçları.

Kat No	$\eta_{bi}^{(X)}$	$\eta_{bi}^{(Y)}$	Kontrol şartı
3	1.043	1.139	< 1.2
2	1.045	1.139	< 1.2
1	1.046	1.140	< 1.2

Model A prototip model olmasından dolayı yükseklik boyunca sabit kolon ve kiriş kesitlerine sahiptir ve bu yüzden *Zayıf Kat Düzensizliği* kontrolüne ihtiyaç duyulmamıştır. İlaveten *Eşdeğer Deprem Yükü Analizine* dayalı *Yumuşak Kat Düzensizliği* kontrolu sonuçları **Tablo 3.5 ve Tablo 3.6**'da sunulmuştur.

Tablo 3.5: Model A için yumuşak kat düzensizliği kontrolu sonuçları (X yönünde).

Kat No	η_{ki} (Alt kata göre)	η_{ki} (Üst kata göre)	Kontrol şartı
3	0.803	-	< 2.0
2	1.628	1.245	< 2.0
1	-	0.614	< 2.0

Tablo 3.6: Model A için yumuşak kat düzensizliği kontrolu sonuçları (Y yönünde).

Kat No	η_{ki} (Alt kata göre)	η_{ki} (Üst kata göre)	Kontrol şartı
3	0.775	-	< 2.0
2	1.574	1.290	< 2.0
1	-	0.636	< 2.0

Tablo 3.7'de ise *Eşdeğer Deprem Yükü Analizine* dayalı Model A için *Göreli Kat Öteleme* kontrolleri paylaşılmıştır; *Göreli Kat Öteleme* hesaplarında modele bağlı kat yükseklikleri 3 m alınırken yapı sistemine dayalı *I* katsayısı için 1.0 ve *R* katsayısı için 8 değerleri alınmıştır.

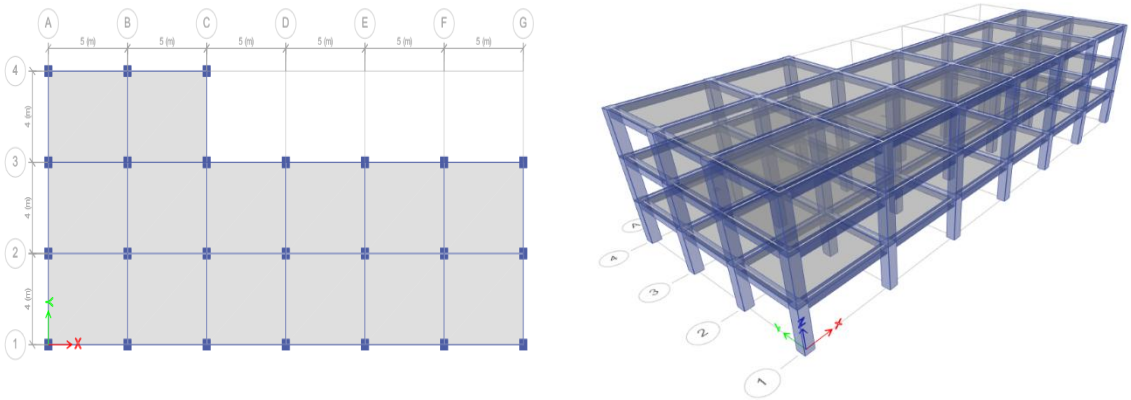
Tablo 3.7: Model A için göreli kat öteleme kontrolu sonuçları.

Kat No	$\delta_i^{(X)}$	$\delta_i^{(Y)}$	Kontrol şartı
3	0.0027	0.0027	< 0.008
2	0.0034	0.0035	< 0.008
1	0.0021	0.0022	< 0.008

Ayrıca söz konusu Model A için ETABS yazılımında tüm kolon ve kirişler için *Güçlü Kolon-Zayıf Kiriş* tasarım ilkesinin sağlandığı tespit edilmiştir.

3.1.1. Model B

Model B'de tüm yapısal özellikler kontrol modelinden (Model A) alınmıştır. Ancak *Burulma Düzensizliği* etkisini incelemek amacıyla anti simetrik bir plan üzerinde tasarlanmıştır. Model B'nin plan ve üç boyutlu görüntüleri **Şekil 3.2**'de sunulmuştur;



Şekil 3.2: Model D'nin plan ve uç boyutlu görüntüleri [69].

Söz konusu Model B'nin *Modal Analizi* sonuçlarına dayalı üç ilk modunun değerleri **Tablo 3.8**'de paylaşılmıştır.

Tablo 3.8: Model B için modal analiz sonuçları.

Mod No	Periyod (s)	X yönünde kütle katılım oranı (%)	Y yönünde kütle katılım oranı (%)	Z yönünde kütle katılım oranı (%)
1	0.509	%81	0	0
2	0.492	0	%81	0
3	0.447	0	0	%81

Modal Analiz sonuçlarına göre Model B'nin birinci modu, X yönünde saf bir öteleme moduyken ikinci modu Y yönünde saf bir öteleme modudur. Bunun yansıra üçüncü mod saf bir burulma modudur ve **Tablo 3.9**'da *Burulma Düzensizliği* kontrolüne ait değerler paylaşılmıştır. **Tablo 3.9**'un değerlerinden anlaşıldığı gibi Model B, Y yönünde *Burulma Düzensizliğine* sahiptir.

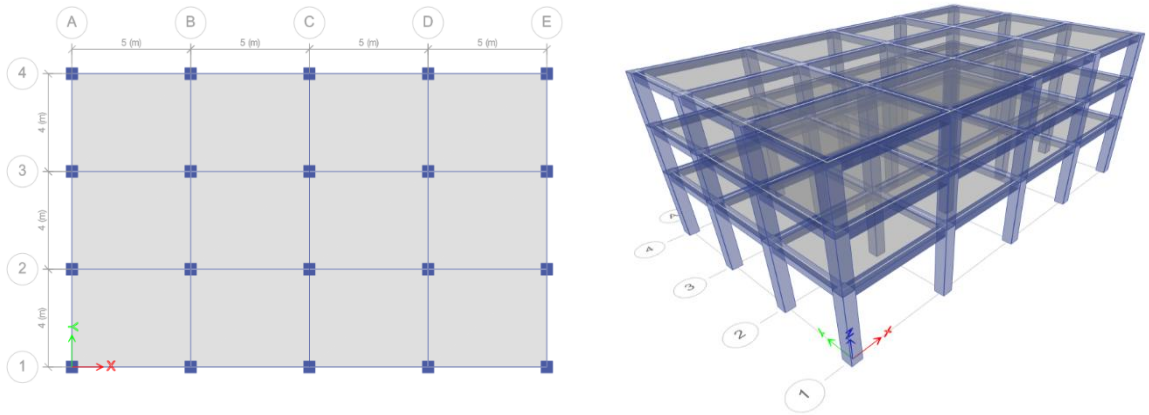
Tablo 3.9: Model B için burulma düzensizliği kontrolu sonuçları.

Kat No	$\eta_{bi}^{(X)}$	$\eta_{bi}^{(Y)}$	Kontrol şartı
3	1.030	1.219	< 1.2
2	1.029	1.209	< 1.2
1	1.028	1.201	< 1.2

Söz konusu Model B için *Eşdeğer Deprem Yükü Analizine* dayalı tüm diğer yapısal kontroller gerçekleştirilmiş ve sağlandığı sayısal verilere dayanarak tespit edilmiştir.

3.1.2. Model C

Model C'de tüm yapısal özellikler kontrol modelinden (Model A) alınmıştır. Ancak *Yumuşak Kat Düzensizliği* etkisini incelemek amacıyla birinci katın yüksekliği 4.5 m olarak alınmıştır. Model C'nin plan ve üç boyutlu görüntüleri **Şekil 3.3**'te sunulmuştur;



Şekil 3.3: Model C'nin plan ve uç boyutlu görüntüleri [69].

Modal Analiz sonuçlarına dayalı Model C'nin birinci modu $T_x = 0.652$ saniye periyodla X yönünde saf bir öteleme moduyken ikinci modu $T_y = 0.619$ saniye periyodla Y yönünde saf bir öteleme modudur ve model simetrik plan ve simetrik yapı elemanı yerleşimi nedeninden dolayı herhangi bir burulma moduna sahip değildir.

Söz konusu Model C'nin *Eşdeğer Deprem Yükü Analizi* sonuçlarına dayalı *Yumuşak Kat Düzensizliği* kontrolüne ait değerleri **Tablo 3.10** ve **Tablo 3.11**'de paylaşılmıştır ve böylece modelin söz konusu düzensizliğe sahip olduğu sayısal veriler vasıtasıyla ortaya koyulmuştur.

Tablo 3.10: Model C için yumuşak kat düzensizliği kontrolu sonuçları (X yönünde).

Kat No	η_{ki} (Alt kata göre)	η_{ki} (Üst kata göre)	Kontrol şartı
3	2.419	-	> 2.0
2	3.382	2.419	> 2.0
1	-	3.382	> 2.0

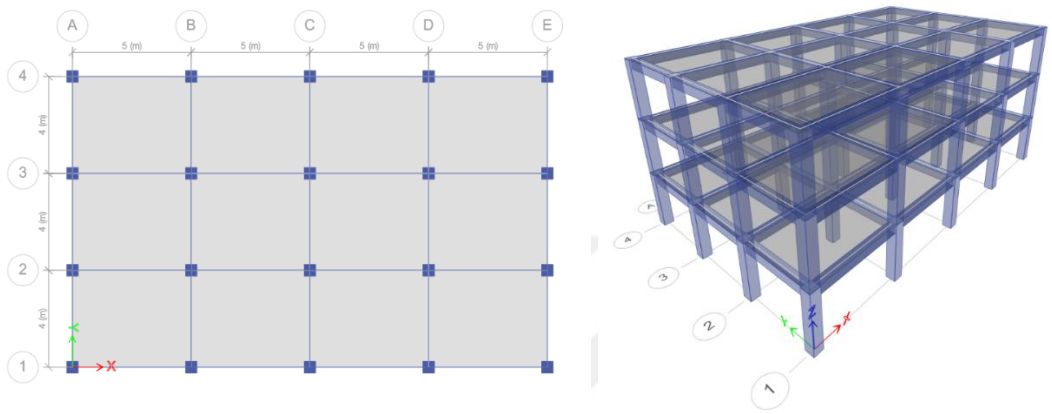
Tablo 3.11: Model C için yumuşak kat düzensizliği kontrolu sonuçları (Y yönünde).

Kat No	η_{ki} (Alt kata göre)	η_{ki} (Üst kata göre)	Kontrol şartı
3	2.149	-	> 2.0
2	3.116	2.149	> 2.0
1	-	3.116	> 2.0

Söz konusu Model C için *Eşdeğer Deprem Yükü Analizine* dayalı tüm diğer yapısal kontroller gerçekleştirilmiş ve sağlandığı sayısal verilere dayanarak tespit edilmiştir.

3.1.3. Model D

Model D'de tüm yapısal özellikler kontrol modelinden (Model A) alınmıştır. Ancak *Zayıf Kat Düzensizliği* etkisini incelemek amacıyla birinci katın kolon kesitleri 50 × 50 cm; 16Ø20, Ø8/25cm; 2 kol etriye şeklinde alınmıştır. Yani birinci katta kolon kesitlerinin etriye numarası ve sıklığı düşürülmüştür. Model D'nin plan ve üç boyutlu görüntüleri **Şekil 3.4**'te sunulmuştur;



Şekil 3.4: Model D'nin plan ve uç boyutlu görüntüleri [69].

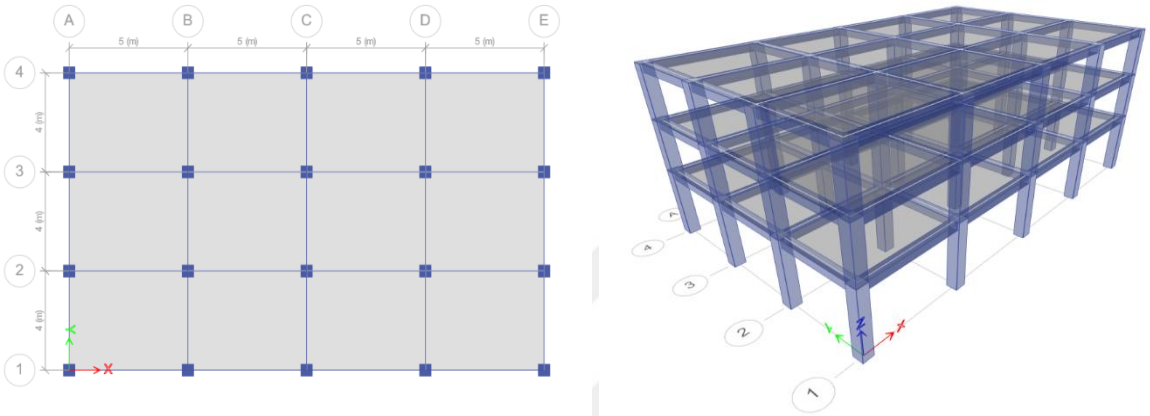
Modal Analiz sonuçlarına dayalı Model D'nin birinci modu $T_x = 0.515$ saniye periyodla X yönünde saf bir öteleme moduyken ikinci modu $T_y = 0.486$ saniye periyodla Y yönünde saf bir öteleme modudur ve model simetrik plan ve simetrik yapı elemanı yerleşimi nedeninden dolayı herhangi bir burulma moduna sahip değildir.

Söz konusu Model D'nin *Eşdeğer Deprem Yükü Analizi* sonuçlarına dayalı *Zayıf Kat Düzensizliği* kontrolü için birinci kat ve ikinci kat için kesme kuvveti dayanımı üzerinden R oranı hesaplanmıştır ve bu oranın $R = 0.387 < 0.8$ olmasıyla birinci katın bir zayıf kat olduğu ortaya koyulmuştur.

Söz konusu Model D için *Eşdeğer Deprem Yükü Analizine* dayalı tüm diğer yapısal kontroller gerçekleştirilmiş ve sağlandığı sayısal verilere dayanarak tespit edilmiştir.

3.1.4. Model E

Model E'de tüm yapısal özellikler Model D'den alınmıştır. Ancak *Zayıf Kat Düzensizliği* etkisinin yansıra *Yumuşak Kat Düzensizliği* etkisini de bir arada incelemek amacıyla birinci katın yüksekliği 4 m olarak alınmıştır. Model E'nin plan ve üç boyutlu görüntüleri **Şekil 3.5**'te sunulmuştur;



Şekil 3.5: Model E'nin plan ve uç boyutlu görüntüleri [69].

Modal Analiz sonuçlarına dayalı Model E'nin birinci modu $T_x = 0.602$ saniye periyodla X yönünde saf bir öteleme moduyken ikinci modu $T_y = 0.57$ saniye periyodla Y yönünde saf bir öteleme modudur ve model simetrik plan ve simetrik yapı elemanı yerleşimi nedeninden dolayı herhangi bir burulma moduna sahip değildir.

Söz konusu Model E'nin *Eşdeğer Deprem Yükü Analizi* sonuçlarına dayalı *Zayıf Kat Düzensizliği* kontrolü için birinci kat ve ikinci kat için kesme kuvveti dayanımı üzerinden R oranı hesaplanmıştır ve bu oranın $R = 0.387 < 0.8$ olmasıyla birinci katın bir zayıf kat olduğu ortaya koyulmuştur. Bunun nedeni ise birinci katta kolon kesitlerinin etriye numarası ve sıklığı düşürülmüş olmasıdır.

Bunun yansıra Model E'nin *Eşdeğer Deprem Yükü Analizi* sonuçlarına dayalı *Yumuşak Kat Düzensizliği* kontrolüne ait değerleri **Tablo 3.12** ve **Tablo 3.13**'te paylaşılmıştır ve böylece modelin söz konusu düzensizliğe sahip olduğu sayısal veriler vasıtasıyla ortaya koyulmuştur.

Tablo 3.12: Model E için yumuşak kat düzensizliği kontrolu sonuçları (X yönünde).

Kat No	η_{ki} (Alt kata göre)	η_{ki} (Üst kata göre)	Kontrol şartı
3	2.572	-	> 2.0
2	3.472	2.572	> 2.0
1	-	3.472	> 2.0

Tablo 3.13: Model E için yumuşak kat düzensizliği kontrolu sonuçları (Y yönünde).

Kat No	η_{ki} (Alt kata göre)	η_{ki} (Üst kata göre)	Kontrol şartı
3	2.309	-	> 2.0
2	3.232	2.309	> 2.0
1	-	3.232	> 2.0

Söz konusu Model E için *Eşdeğer Deprem Yükü Analizine* dayalı tüm diğer yapısal kontroller gerçekleştirilmiş ve sağlandığı sayısal verilere dayanarak tespit edilmiştir.

3.1.5. Döşeme Kalınlığı Etkisi

Bu tez çalışmasında çeşitli kolon kaybı senaryolarında döşeme kalınlığının etkisini incelemek amacıyla Model A üzerinde üç farklı döşeme kalınlığı göze alınmıştır. Başka bir değişle kontrol modelinde döşeme kalınlığı 15 cm'eyken çeşitli senaryolar için döşeme kalınlığı 12 cm ve 18 cm olarak modellenmiş ve böylece bu etkenin aşamalı göçme üzerindeki etkisi incelenmiştir.

3.1.6. Kiriş Kapasitesi Etkisi

Bu tez çalışmasında çeşitli kolon kaybı senaryolarında kiriş kapasitesinin etkisini incelemek amacıyla Model A üzerinde üç farklı kiriş donatı oranı ele alınmıştır. **Tablo 3.14**'te söz konusu kiriş kesitleri için boyuna donatı oranları sunulmuştur. Başka bir değişle kiriş kesitinde donatı oranını, minimum donatı oranının yaklaşık 1.5 ve 2.0 katına kadar artırarak kiriş kapasitesinin etkisi incelenmiştir.

Tablo 3.14: Model A için farklı kiriş donatı oranları.

Donatı	Donatı alanı (mm^2)	Donatı oranı	Kontrol şartı
4Ø14	616	0.004	< 0.02
4Ø16	804	0.005	< 0.02
4Ø18	1018	0.006	< 0.02

Model A'da minimum donatı alanı 480 mm^2 olduğundan **Tablo 3.14**'te minimum donatı oranı şartı sağlanmıştır. Bunun yansıra her üç kiriş donatı içinde analiz ve tasarım aşamalarının

ardından *Güçlü Kolon-Zayıf Kiriş* şartının sağlandığı tespit edilmiştir. Dolaysıyla kiriş kapasitesinin artırılması tasarım ilkelerinin sınırlarını geçmezsiniz Model A için uygulanmıştır.

3.2. GÖÇME SENARYOLARI

Kolon kaybı senaryosunun aşamalı göçme tahkikleri için en önemli tetikleyici sebep olduğundan dolayı bu tez çalışmasının ana omurgasını teşkil etmiştir [1] ve **Tablo 3.15**'te açıklandığı üzere kolon kaybı üzerinden çeşitli göçme senaryoları planlanmıştır. Araştırmanın bir parametrik çalışma olduğu sebebinden dolayı ve çeşitli yapısal etkenlerin göçme üzerinde yarattığı etkini ve bu etkinin hangi oranda rol belirleyici olduğunu tespit etmek amacıyla analizlere tabi tutulan sonlu elemanlar modellerinde kontrol modeliyle kıyasta değişiklikler uygulanmıştır. Bu husus analizlerde incelemeye tabi tutulan parametrelerin bazen bireysel olarak ve bazen birlikte aşamalı göçme potansiyelinin üzerinde yarattığı etki ve etkileşimini incelemek amaçlandığında daha da önemli bir hale gelmektedir. Bahsi geçen parametreler arasından binanın mukavemetini kaybederek görevini üstlenemeyen ve aşamalı göçmeye yol açan kolonun plandaki konumu ve sayısı, kiriş kapasitesi, plak döşeme kalınlığı, planda ve yükseklikte düzensizlik etkisi gibi etkenlerde değişiklikler uygulayarak farklı sonuç kümeleri oluşturulmuştur.

Tablo 3.15: Göçme senaryoları.

Senaryo No	Açıklama	Model
A-1	Köşe kolonun göçmesi	Model A
A-2	Köşe kolonun göçmesi ve döşeme kalınlığını 12 cm olması	Model A
A-3	Köşe kolonun göçme ve döşeme kalınlığının 18 cm olması	Model A
A-4	Köşe kolon göçmesi ve kiriş kapasitesinin arttırılması; (4Ø16)	Model A
A-5	Köşe kolon göçmesi ve kiriş kapasitesinin arttırılması; (4Ø18)	Model A
A-6	Kenar orta kolonun göçmesi senaryosu	Model A
A-7	Kenar orta kolonun göçmesi ve döşeme kalınlığının 12 cm olması senaryosu	Model A
A-8	Kenar orta kolonun göçmesi ve döşeme kalınlığının 18 cm olması senaryosu	Model A
A-9	Kenar orta kolonun göçmesi ve kiriş kapasitesinin arttırılması; (4Ø16)	Model A
A-10	Kenar orta kolonun göçmesi ve kiriş kapasitesinin arttırılması; (4Ø18)	Model A
A-11	İç kolonun göçmesi	Model A
A-12	İç kolonun göçmesi ve döşeme kalınlığının 12 cm olması	Model A
A-13	İç kolonun göçmesi ve döşeme kalınlığının 18 cm olması	Model A
A-14	İç kolonun göçmesi ve kiriş kapasitesinin arttırılması; (4Ø16)	Model A
A-15	İç kolonun göçmesi ve kiriş kapasitesinin arttırılması; (4Ø18)	Model A
A-16	Köşe kolon ve kenar orta kolonun birlikte göçmesi	Model A
A-17	Köşe kolon ve iki kenar orta kolonun birlikte göçmesi	Model A
A-18	Köşe kolon ve üç kenar orta kolonun birlikte göçmesi	Model A
A-19	Aks 1'de tüm kolonların birlikte göçmesi	Model A
A-20	Kenar orta kolonun ve iç kolonun birlikte göçmesi	Model A
A-21	Kenar orta kolonun ve iki iç kolonun birlikte göçmesi	Model A

Tablo 3.15 (devam): Göçme senaryoları.

A-22	Aks B'de tüm kolonların birlikte göçmesi	Model A
B-1	Köşe kolon göçmesi ve yapıda burulma düzensizliği bulunması	Model B
B-2	Kenar orta kolon göçmesi ve yapıda burulma düzensizliği bulunması	Model B
B-3	İç kolon göçmesi ve yapıda burulma düzensizliği bulunması	Model B
C-1	Köşe kolonun göçmesi ve yapıda yumuşak kat düzensizliği bulunması	Model C
C-2	Kenar orta kolonun göçmesi ve yapıda yumuşak kat düzensizliği bulunması	Model C
C-3	İç kolonun göçmesi ve yapıda yumuşak kat düzensizliği bulunması	Model C
D-1	Köşe orta kolonun göçmesi ve yapıda zayıf kat düzensizliği bulunması	Model D
D-2	Kenar orta kolonun göçmesi ve yapıda zayıf kat düzensizliği bulunması	Model D
D-3	İç kolonun göçmesi ve yapıda zayıf kat düzensizliği bulunması	Model D
E-1	Köşe kolon göçmesi ve yapıda zayıf ve yumuşak kat düzensizliklerinin bulunması	Model E
E-1	Kenar orta kolon göçmesi ve yapıda zayıf ve yumuşak kat düzensizliklerinin bulunması	Model E
E-3	İç kolon göçmesi ve yapıda zayıf ve yumuşak kat düzensizliklerinin bulunması	Model E

Tablo 3.15'te tanımlanan tüm göçme senaryolarında kolon kaybı vaziyetini modellemek için, kolon başlangıç analizinden elde edilen iç kuvvetler ile temsil edilir ve ardından zamana bağlı bir fonksiyon vasıtasıyla modelden kaldırılır [70]. Söz konusu fonksiyonda Rampa süresi modelin birinci doğal periyodunun 1/10'undan daha kısa tutularak kolonun "aniden" göçmesi simüle edilmiştir. Böylece DoD şartnamelerle uyumlu şekilde modelin kolon kaybı senaryosu altında aşamalı göçmeye potansiyelini değerlendirmek için gerçek dinamik tepkiler simüle edilmiştir [31-32].

3.3. DOĞRUSAL OLMAYAN ZAMAN TANIM ALANI YÖNTEMİ

Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı analiz yöntemi en gerçekçi veya başka bir değişle yapının sismik davranışını incelemeye yönelik tek gerçekçi analiz yöntemidir. Bu analiz yönteminde yapının sismik performansı gerçek deprem kayıtlarının modele yansıtmasıyla elde edilmektedir. Ancak deprem kayıtlarının içeriği birbirinden çok farklı olduğundan dolayı her bir deprem kaydı yapıda çok farklı bir tepkini ortaya koymuş olacaktır. Bu yüzden Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı analiz yönteminde X ve Y doğrultularında bir deprem kaydı kümesi kullanmak zorunludur. Zira sadece birbirinden farklı tepkiler kümesini elde ederek ve bunların ortalamasından yapının sismik performansı için bir yorum yaparak, analiz sonucunun güvenilir olduğunu garanti edilebilir.

3.3.1. Deprem Kaydı Seçimi

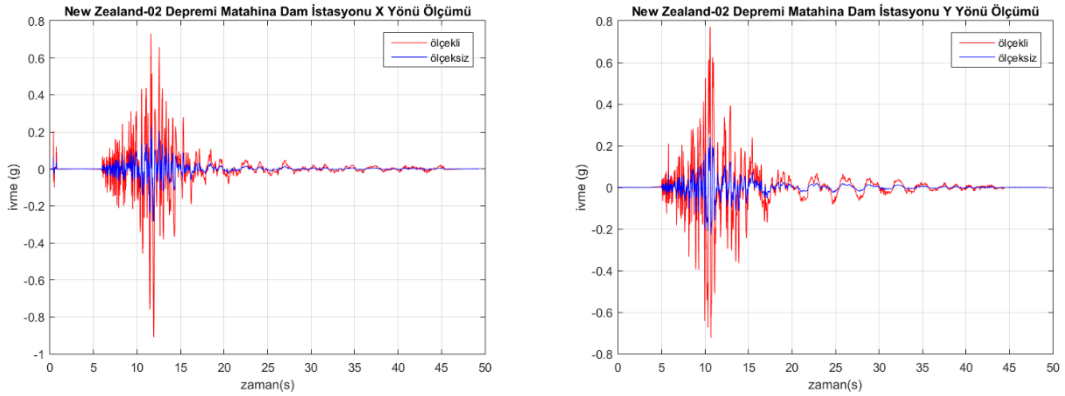
Bu tez çalışmasında **Tablo 3.15**'te açıklanmış göçme senaryolarını simüle etmek ve sonuçları karşılaştırmak için **Tablo 3.16**'da sunulan deprem kayıtları seçilmiştir. Deprem kaydı seçiminde belirlenmiş gerçek konuma bağlı uyumlu kayıtlar seçmeye çalışılmıştır. Ezcümle farklı fay mekanizmalarından (yanal atılımlı ve ters) kayıt seçilmiştir. Seçilen kayıtların ortalama deprem büyüklükleri 6.95 olmuştur. Konumun faya olan mesafesi 21.74 km olmasına rağmen çeşitlendirmek amacıyla iki adet yakın fay deprem kaydı da seçilmiştir. Bu yakın fay deprem kayıtlarının birisi pulse etkisine sahipken diğer normal yakın fay deprem türünden seçilmiştir. Mevzu konusu seçimlerde uzak / yakın fay özelliği ayrımı deprem mühendisliğinin genel literatürüne uyumlu şekilde 10 km sınırı üzerinden gerçekleştirilmiştir [71]. Yani 10 km'den daha üzün mesafelere sahip kayıtlar uzak fay kaydı olarak nitelendirilmiştir. Modele ait gerçek komum ZC yerel zemine ait olduğundan dolayı seçilmiş deprem kayıtlarında $(V_S)_{30}$ parametresi 360 ila 760 m/s aralığında tutulmuştur. Konuma ait AFAD sitesinden [72] alınmış rapora dayanarak DD-3 deprem yer hareketi düzeyi için PGA değeri 0.15g ve DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için PGA değeri 0.35g olduğundan dolayı mümkün olduğunca seçilmiş kayıtlarda PGA değerlerini bu aralıkta tutmaya dikkat edilmiştir.

Tablo 3.16: Seçilmiş Deprem Kayıtları [40].

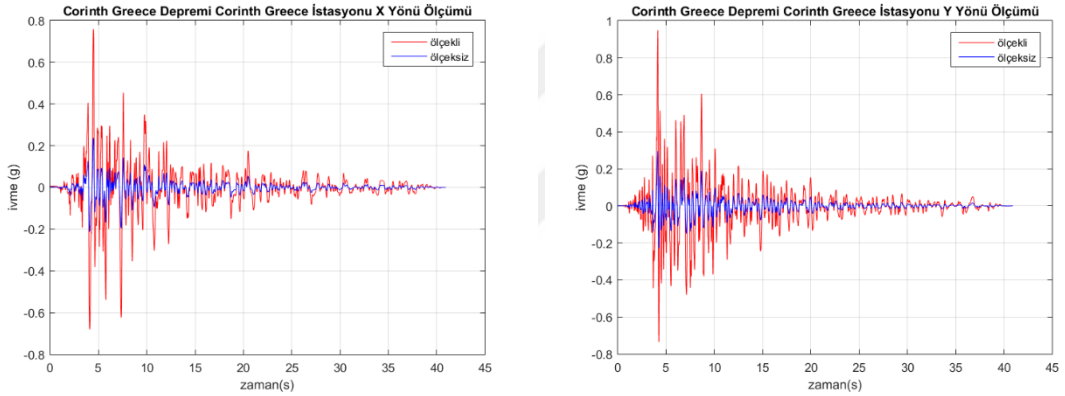
Deprem	RSN	Fay Mekanizması	Büyüklük	R_{jb} (km)	$(V_S)_{30}$ (m/s)	PGA (g) (H1, H2)	PGA (g) (V3)	Pulse
New Zealand-02	587	Normal	6.6	16.09	551.3	0.23 / 0.24	0.14	×
Corinth_ Greece	313	Normal Oblique	6.6	10.27	361.4	0.23 / 0.29	0.11	×
Kern County	15	Reverse	7.36	38.42	385.43	0.16 / 0.18	0.11	×
Hector Mine	1762	Strike Slip	7.13	41.81	382.93	0.18 / 0.15	0.13	×
Landers	838	Strike Slip	7.28	34.86	370.08	0.13 / 0.14	0.08	×
Northridge-01	989	Reverse	6.69	9.87	740.05	0.17 / 0.18	0.14	×
Cape Mendocino	3744	Reverse	7.01	8.49	566.42	0.18 / 0.21	0.06	√

Tablo 3.16'da paylaşılmış deprem ivme kayıtları Matlab yazılımında hazırlanmış bir kod vasıtasıyla ve basit yöntemle (Amplitude Scaling) ölçeklendirilmiştir [74-75]. Ölçeklendirme aşamasında deprem ivme kayıtlarının ve yatay elastik tasarım spektrumunun karşılaştırılacağı periyot kıyas aralığı olarak, alt sınır için 0.2 T ve üst sınır için ise 1.5 T değerleri belirlenmiştir.

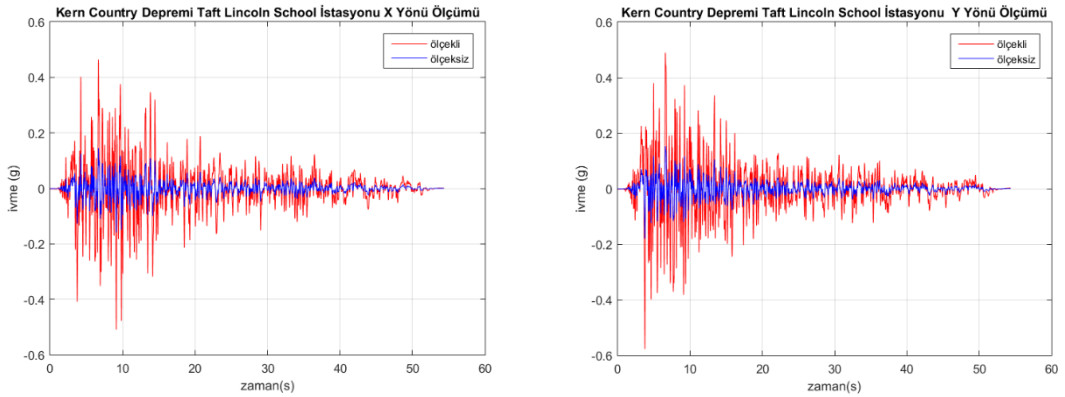
Şekil 3.6 ila **Şekil 3.12**'de seçilmiş deprem ivme kayıtlarının yatay ekseninde ölçeklendirilmemiş ve ölçeklendirilmiş hali karşılaştırmalı şekilde sunulmuştur.



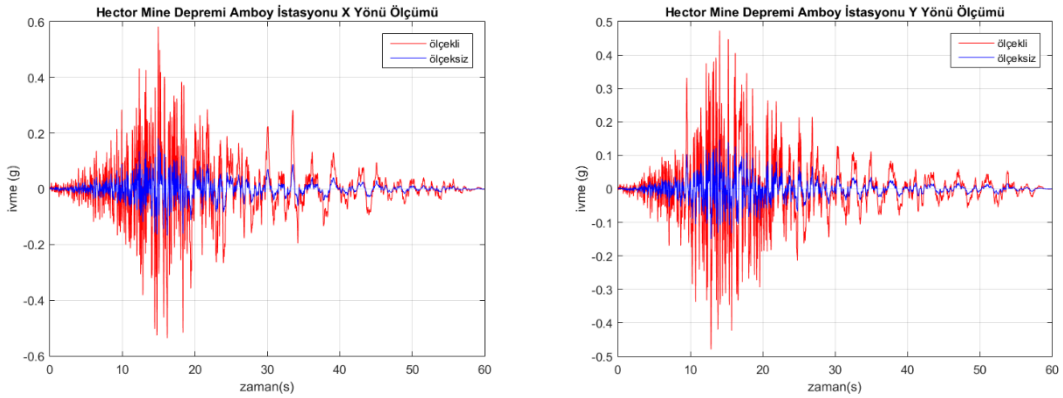
Şekil 3.6: New Zealand-02 deprem kaydı; (Sol): X doğrultusu (Sağ): Y doğrultusu.



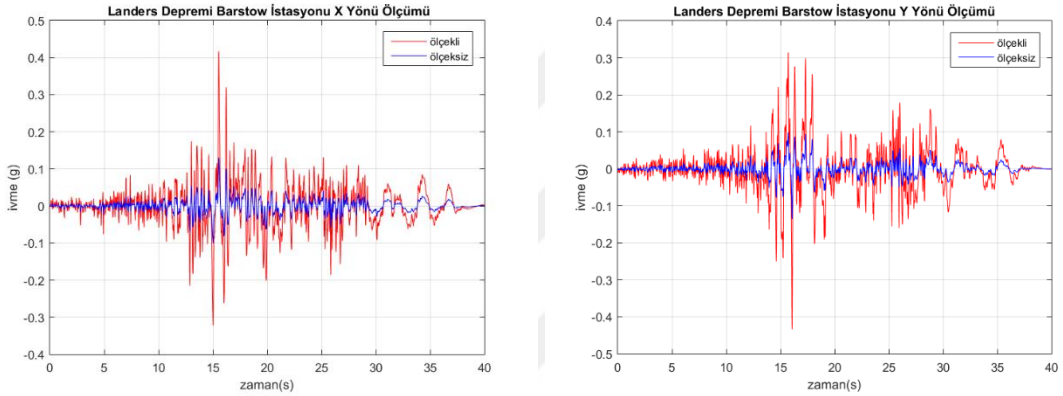
Şekil 3.7: Corinth_ Greece deprem kaydı; (Sol): X doğrultusu (Sağ): Y doğrultusu.



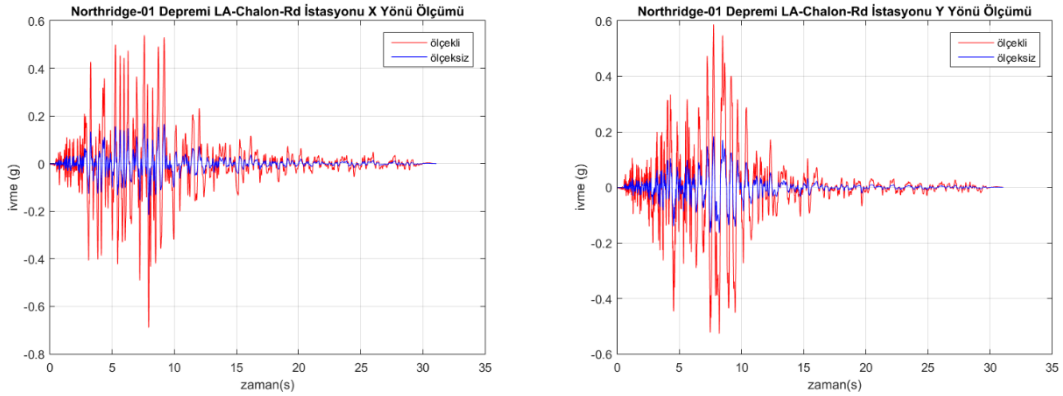
Şekil 3.8: Kern County deprem kaydı; (Sol): X doğrultusu (Sağ): Y doğrultusu.



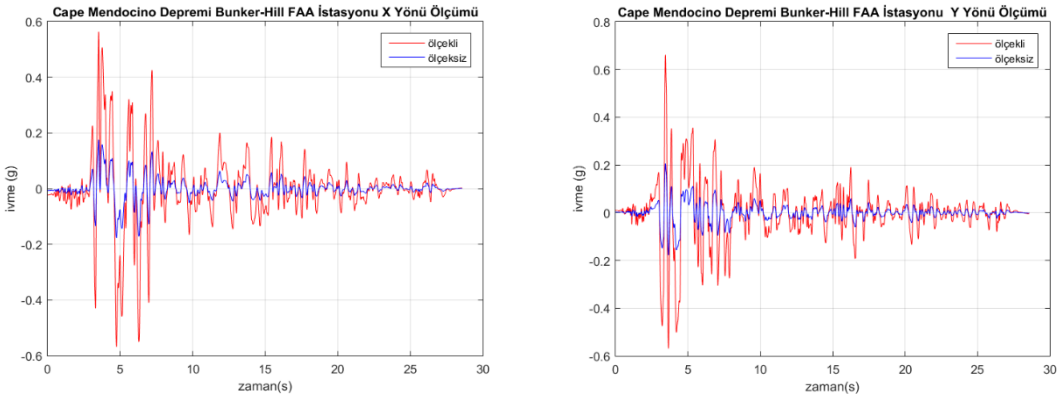
Şekil 3.9: Hector Mine deprem kaydı; (Sol): X doğrultusu (Sağ): Y doğrultusu.



Şekil 3.10: Landers deprem kaydı; (Sol): X doğrultusu (Sağ): Y doğrultusu.

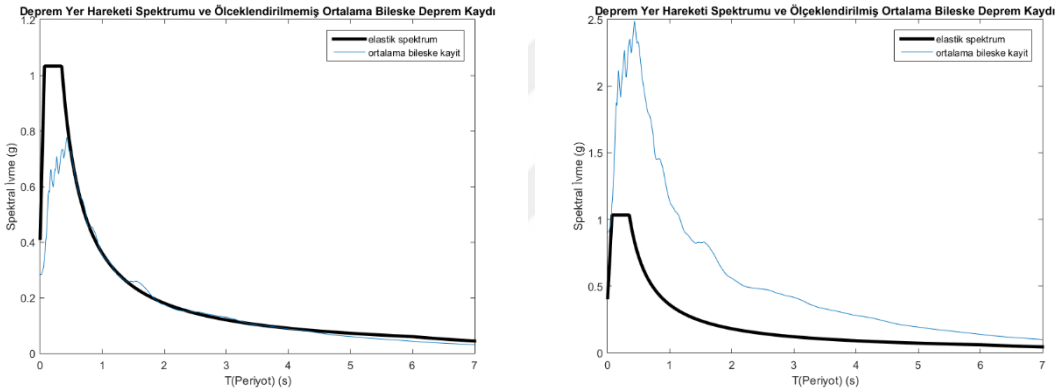


Şekil 3.11: Northridge-01 deprem kaydı; (Sol): X doğrultusu (Sağ): Y doğrultusu.



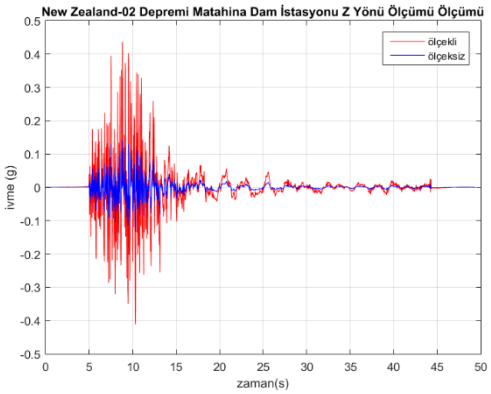
Şekil 3.12: Cape Mendocino deprem kaydı; (Sol): X doğrultusu (Sağ): Y doğrultusu.

Şekil 3.13'te ise yatay yönde ortalama bileşik ivme kaydın ölçeklendirilmemiş ve ölçeklendirilmiş grafları sunulmuştur.

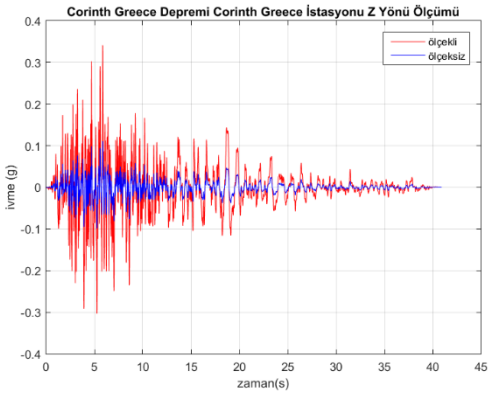


Şekil 3.13: Yatay ekseninde ortalama bileşik ivme kayıtları; (Sol): Ölçeklendirilmemiş; (Sağ) Ölçeklendirilmiş.

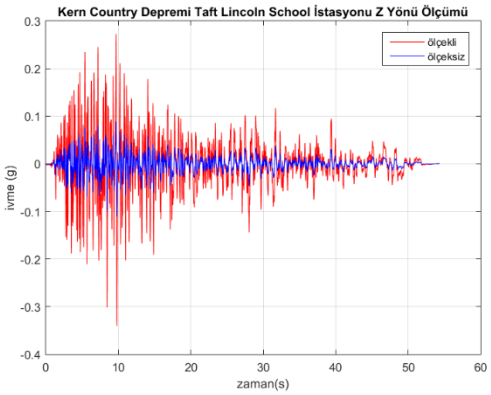
Şekil 3.14 ila **Şekil 3.20**'de ise seçilmiş deprem ivme kayıtlarının dikey ekseninde ölçeklendirilmemiş ve ölçeklendirilmiş hali sunulmuştur.



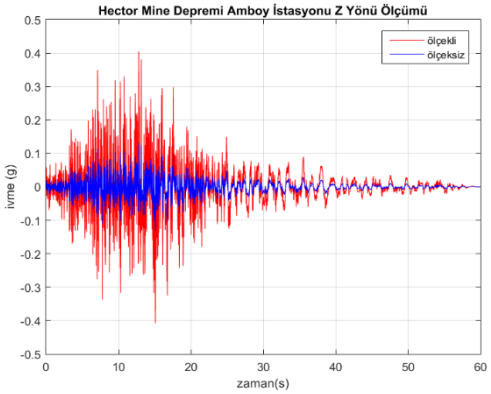
Şekil 3.14: New Zealand-02 deprem kaydı; Z doğrultusu.



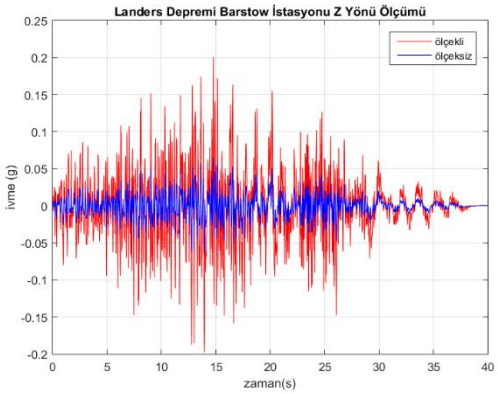
Şekil 3.15: Corinth_ Greece deprem kaydı; Z doğrultusu.



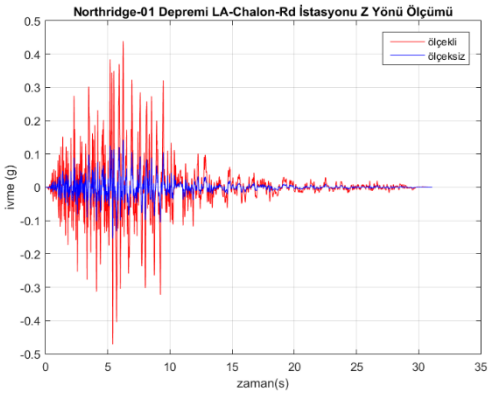
Şekil 3.16: Kern County deprem kaydı; Z doğrultusu.



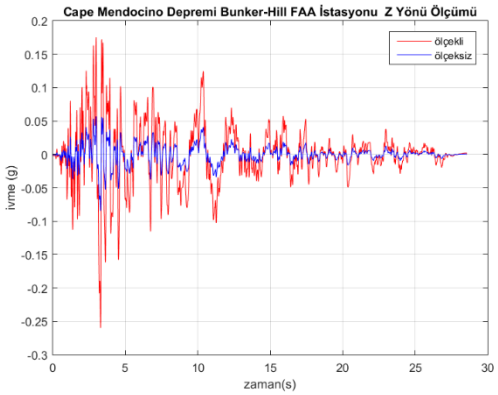
Şekil 3.17: Hector Mine deprem kaydı; Z doğrultusu.



Şekil 3.18: Landers deprem kaydı; Z doğrultusu.

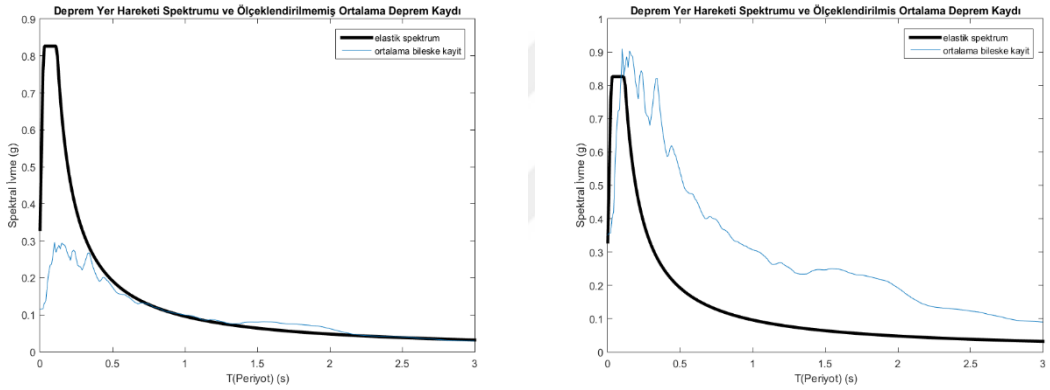


Şekil 3.19: Northridge-01deprem kaydı; Z doğrultusu.



Şekil 3.20: Cape Mendocino deprem kaydı; Z doğrultusu.

Şekil 3.21'de ise düşey yönde ortalama bileşik ivme kaydın ölçeklendirilmemiş ve ölçeklendirilmiş grafları sunulmuştur.



Şekil 3.21: Düşey ekseninde ortalama bileşik ivme kayıtları; (Sol): Ölçeklendirilmemiş; (Sağ) Ölçeklendirilmiş.

3.3.2. Plastik Mafsal

Bir yapı veya yapısal elemanın davranışı doğrusal (linear) ve doğrusal olmayan (nonlinear) davranış kapsamında incelenmektedir. Yapısal elemanlar doğrusal davranış bölgesinde kaldıkları sürece Hooke yasasına uymaktadırlar. Yani elemana gelen yük ve deplasman yaklaşık olarak doğrusal bir ilişki içerisindedirler. Bu yüzden doğrusal davranışın incelenmesi basittir. Ancak yapı veya yapısal eleman doğrusal olmayan davranış aşamasına girdiğinde doğrusal olmayan yük-deplasman ilişkisinin karmaşıklığından dolayı yapının davranışını incelemek zor olacaktır. Bu zorluğa bir çözüm olarak doğrusal olmayan davranışı incelemeye yönelik Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı analizinde yapısal elemanlar için plastik mafsal tanımlanması gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada, betonarme elemanların doğrusal olmayan davranışının modellenmesi amacıyla, TBDY-2018'in öngördüğü şekilde kirişlerde yığılı (lumped) plastik mafsallar, kolonlarda ise yayılı (distributed) plastik mafsallar kullanılmıştır. Bu modelleme stratejisi, yapısal elemanların deprem altındaki gerçekçi davranışını simüle etmede etkin bir yöntem olarak kabul edilmektedir.

3.3.2.1. Kirişlerde Yığılı (Lump) Mafsal

Kiriş elemanları, plastik şekil değiştirmelerin genellikle eleman uçlarında yoğunlaştığı elemanlardır. Bu nedenle TBDY-2018, kirişler için "yığılı" mafsal modelinin kullanılmasını önermektedir. Bu çalışmada, bu gereklilik ETABS programı içerisinde "Lump" Mafsal tanımlanarak karşılanmıştır. Yığılı mafsallarda, elemanın plastikleşme kapasitesi ve enerji sönümleme yeteneği, eleman uçlarına yerleştirilen ayrık plastik mafsal bölgeleri ile temsil edilmiştir. Bu mafsallar, elemanın moment-rotasyon (M-θ) ilişkisini tanımlayan, yönetmeliklerde verilen veya kesit analizinden türetilmiş ön tanımlı eğriler (hinge properties) ile karakterize edilmiştir. Hesaplama süresi açısından verimli olan bu yöntem, kirişlerin sargılı beton ve donatı detaylarına bağlı olarak davranışını global düzeyde yeterli doğrulukla yansıtılmıştır.

Kirişlerde plastik mafsallar, genellikle elemanın her iki ucunda ve moment diyagramının en büyük değerlere ulaştığı bölgelerde oluşur; TBDY-2018 ise kirişlerdeki plastik mafsal uzunluğunun (L_p), kesite etki eden kesme kuvveti altında belirlenen plastik dönme kapasitesini (θ_p) karşılayacak şekilde hesaplanmasını öngörür ve uygulamada bu uzunluk $L_p = 0.50h$ formülü ile tahmin edilir; burada h, kiriş kesitinin plastik mafsalın oluştuğu düzleme dik olan yüksekliği olup, bu yaklaşım plastik mafsalın kiriş yüksekliğinin yarısı kadar bir uzunluk boyunca yayıldığını kabul eder ve modellemede bu uzunluk "yığılı (lump)" mafsalların atandığı bölgeyi temsil eder.

3.3.2.2. Kolonlar Yayılı (Fiber) Mafsal

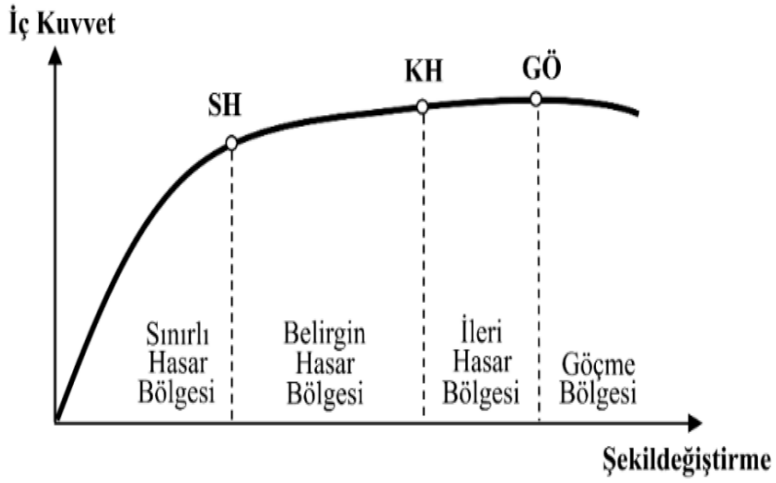
Kolonlar, eksenel kuvvet ile iki yönlü eğilme momentlerinin (P-M2-M3) karmaşık etkileşimi altında çalışan elemanlardır. TBDY-2018, bu etkileşimin doğru bir şekilde modellenebilmesi için kolonlarda "yayılı" plastiklik tanımlanmasını şart koşar. Bu çalışmada, bu gereklilik ETABS yazılımında "Fiber" (Fiber) Mafsal modeli kullanılarak yerine getirilmiştir. Fiber mafsallarda, plastiklik eleman boyunca yayılmış kabul edilir ve kesit, beton ve donatıdan oluşan çok sayıda "fiber" ile (liflere) bölünür. Her bir fiber, atandığı malzemenin (sargılı beton, sargısız beton, donatı çeliği) gerilme-şekildeğiştirme ilişkisine göre davranmaktadır. Kesitin taşıma

kapasitesi, bu fiberlerde oluşan iç kuvvetlerin entegrasyonu ile hesaplanmaktadır. Bu yöntem, P-M2-M3 etkileşim diyagramını otomatik olarak ve yüksek doğrulukta üretmek kabiliyetine sahiptir. Betonun ezilmesi, donatının akması ve ilerleyen hasar gibi malzeme düzeyindeki doğrusal olmayan fenomenleri doğrudan modelleyerek, kolonların hasar süreçlerini çok daha gerçekçi bir şekilde simüle edebilir bir modelleme yöntemidir.

Kolonlarda plastik mafsallar genellikle kolonun kirişlerle birleştiği alt ve üst uçlarında oluşur; TBDY-2018 ise kolonlar için kirişlerdekinden farklı bir yaklaşım benimseyerek kolon plastik mafsal uzunluğunu yani L_p = maksimum (h, L_o/6, 500 mm) şeklinde hesaplamaktadır; burada h kolon kesitinin hesap yönündeki yüksekliği, L_o ise kolonun eğilme ve kesme altında serbest yüksekliği olup bu hesap kolonlarda daha geniş bir plastikleşme bölgesi beklenmesinden kaynaklanır ve kesme güvenliği açısından önem taşımaktadır. Analiz modellerinde de bu uzunluk boyunca "yayılı (fiber)" plastiklik tanımlanmıştır.

3.3.2.3. Hasar bölgeleri

Analizlerde betonarme kolon ve kirişlerin hasar bölgeleri **Şekil 3.22**'de sunulmuş olan figür üzerinden tanımlanmıştır. Söz konusu figürde kesitlerde meydana gelen hasar bölgeleri için dört bölge tanımlanmıştır; (a) Sınırlı Hasar Bölgesi: Kesitin taşıma kapasitesi, "Sınırlı Hasar (SH)" seviyesine ulaşmamıştır. Bu bölgede, yapısal elemanlar hafif düzeyde hasar görmüş olup, kalıcı deformasyonlar sınırlıdır. (b) Belirgin Hasar Bölgesi: Kesit hasarı, SH ile "Kontrol Sınırı (KH)" arasında yer alır. Bu aşamada, beton çatlakları ve donatıda belirgin gerilmeler gözlemlenir. Hasar, onarım gerektirecek düzeydedir. (c) İleri Hasar Bölgesi: Kesit hasarı, KH ile "Göçme Sınırı (GÖ)" arasındadır. Bu bölgede, betonda ciddi ezilme ve donatıda akma gözlemlenir. Yapısal elemanların taşıma kapasitesi önemli ölçüde azalmıştır. (d) Göçme Bölgesi: Kesit hasarı GÖ'yi aşmıştır. Bu durumda, elemanlar taşıma gücünü kaybetmiş ve yapısal bütünlük tehlike altındadır. Göçme riski yüksektir ve yapının güvenliği ciddi şekilde tehdit altındadır [76].



Şekil 3.22: Kesit hasar bölgeleri [76].

Bu tez çalışmasında Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanında gerçekleştirilen analizlerin sonuçlarının eleman hasar bölgeleri açısından değerlendirmesi için **Tablo 3.17** ve **Tablo 3.18**'de sunulan sınır değerleri sırasıyla kolonların birim şekildeğiştirmelerinde ve kirişlerin uç dönme değerlerinde baz alınmıştır. Söz konusu modellerde kiriş kesitlerinde donatı dağılımı simetrik olduğundan dolayı kesitin I ve J ucu için aynı değerler ele alınmıştır. Bununla birlikte söz konusu sınır değerleri her bir yapı elemanının özellikleri baz alınarak, eleman bazında hesaplanmıştır.

Tablo 3.17: Kolonların hasar bölge belirleme sınır değerleri.

Hasar Bölgesi	Sınır değerleri	
	Beton	Donatı çeliği
Sınırlı Hasar	0.0025	0.0075
Kontrollü Hasar	0.0098	0.0240
Göçme Öncesi	0.0131	0.0320

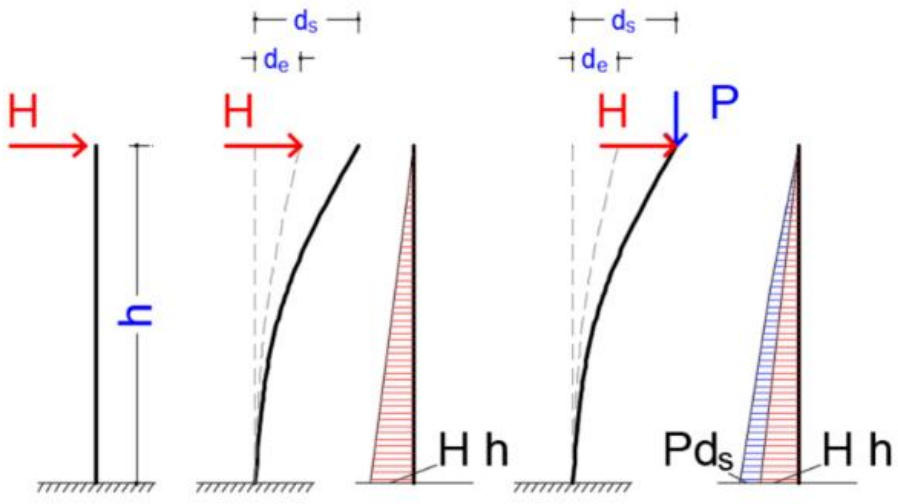
Tablo 3.18: Kirişlerin hasar bölge belirleme sınır değerleri.

Hasar Bölgesi	Sınır değerleri (rad)	
	I ucu	J ucu
Sınırlı Hasar	0.000000000	0.000000000
Kontrollü Hasar	0.011498971	0.011498971
Göçme Öncesi	0.015331961	0.015331961

3.3.3. Başlangıç Koşulları Analizi

Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı analiz yönteminde bir başka önemli mevzu ise P − Δ etkisinin tanımlanmasının zorunlu olduğudur. Yapı sistemlerinin analizi, genel olarak yükler altında elemanın deforme olmamış geometrisi üzerinden ele alındığı birinci mertebe analiz teorisine dayanır. Ancak, özellikle büyük düşey yükler altında önemli yanal ötelenme yapan narin ve esnek yapılarda, düşey yüklerin (P) yanal ötelenmelerle (Δ) etkileşimi ihmal edilemeyecek düzeyde ek "ikinci derece" momentler oluşturmaktadır. P-delta etkisi olarak adlandırılan bu geometrik doğrusal olmayan davranış, yapının yatay rijitliğini azaltır, iç kuvvet taleplerini artırır ve genel stabilitesini olumsuz yönde etkiler. Dolaysıyla deprem gibi büyük yanal yer değiştirmelere neden olan dinamik etkiler altında P-delta etkisinin dikkate alınması, güvenli bir tasarım için zorunludur.

P-delta etkisinin temel mekaniği, **Şekil 3.23**'te gösterilen basit bir konsol kolon modeli üzerinden anlaşılabilir. Kolona etkiyen H yanal kuvveti, h kadar bir tepe ötelenmesine neden olur. Bu durumda birinci mertebe momenti, tabanda $M_1 = H \times h$ olarak hesaplanır. Ancak, kolonun tepesindeki P düşey yükü de d_e kadar yatay olarak yer değiştirdiği için, bu yükün neden olduğu ek bir devrilme momenti (M_2) oluşur. Bu ikinci mertebe moment $M_2 = P \times d_s$ ifade edilir [77].



Şekil 3.23: P-delta etkisi [77].

Dolayısıyla P-delta etkisi, bir dış yük olmayıp, yerçekimi yüklerinin yanal ötelenmiş yapı üzerindeki geometrik bir sonucudur. Özellikle deprem etkisindeki yüksek ve/veya esnek yapılar

için bu etki, tasarımda belirleyici bir rol oynamaktadır. P-delta etkisinin ihmal edilmesi; yapısal taleplerin (moment, kesme kuvveti) eksik tahmin edilmesine, yapının yanal rijitliğinin ve stabilitesinin olduğundan fazla varsayılmasına ve dolayısıyla güvensiz bir tasarıma yol açamaya neden olabilir. Bu sebeple, doğrusal olmayan statik itme analizleri ve zaman tanım alanında dinamik analizler gibi gelişmiş hesap yöntemlerinde P-delta etkisinin doğru bir şekilde modellenmesi, yapıların gerçekçi sismik performansını değerlendirmek için temel bir gerekliliktir.

Ancak P-delta etkisini analiz sürecinde doğru bir şekilde hesaba katmak için bir deprem anında bina üzerinde bulunması muhtemel diğer yüklerle deprem etkisinin nasıl birleştirileceği tanımlanmalıdır. Bu nedenle yük kombinasyonları, yapının deprem öncesindeki başlangıç durumunu ve deprem sırasındaki durumunu en doğru şekilde yansıtmalıdır. Bunun için **Denklem (3.1)**'de sunulan yük kombinasyonu aracıyla yapı modeli doğrusal olmayan zaman tanım alanı analizine tabi tutulur. Bu analizin amacı, deprem başladığında yapının içinde bulunduğu başlangıç koşullarını (iç kuvvetler ve yer değiştirmeler) belirlemektir ve daha sonra aşamalı göçmenin değerlendirmesinde gerçekleşen analiz ile kalibre olması amacıyla doğrusal olmayan zaman tanım alanı analizi şeklinde gerçekleştirilecektir.

$$G + Q_e + 0.2S \qquad \text{Denklem (3.1)}$$

Denklem (3.1)'de G parametresi sabit yükü ve Q_e parametresi ise hareketli yükün etkin kısmını temsil etmektedir. Bu tez çalışmasında bina modelinin kullanım amacı konut olduğundan dolayı doğrusal olmayan düşey yükler analizinde hareketli yükün %30'u hesaba katılacaktır. S parametresi ise kar yükünü ifade etmektedir. Bu yaklaşımın uygulanması yerli ve uluslararası yaygın yönetmeliklerde de zorunlu tutulmuştur [76,78-79].

Böylece söz konusu analizden elde edilen iç kuvvetler ve şekil değiştirme büyüklükleri, müteakip aşamada yürütülecek olan doğrusal olmayan zaman tanım alanında deprem analizleri için başlangıç koşulu (initial condition) olarak kullanılmıştır. Bu yaklaşım, yapının deprem öncesinde düşey yüklerden kaynaklanan gerilme ve deformasyon durumunu hesaba katarak, deprem altındaki performans değerlendirmesinin gerçekçi bir şekilde modellenmesine olanak tanımıştır.

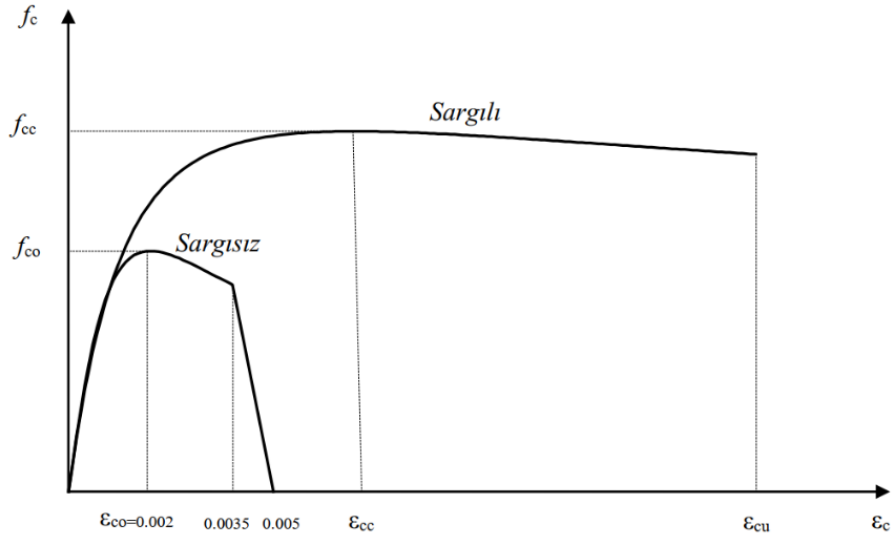
3.3.4. Malzeme Modelleri

Modellerde beton sınıfı C35 ve donatı çeliği sınıfı ise B420C olarak ele alınmıştır. Bu tez çalışmasında beton ve donatı çeliği için kullanılan malzeme modelleri ise aşağıda açıklanmıştır.

3.3.4.1. Beton Malzeme Modeli

Bu çalışmada, betonun doğrusal olmayan davranışını modellemek için, sargılanmış betonun dayanım ve sünekliğini gerçekçi bir şekilde temsil eden Mander Malzeme Modeli kullanılmıştır. Bu model, özellikle sismik performans değerlendirmelerinde sargı etkisinin betonun taşıma kapasitesi ve şekil değiştirme kabiliyeti üzerindeki önemli katkısını hesaba katma kabiliyetine sahiptir.

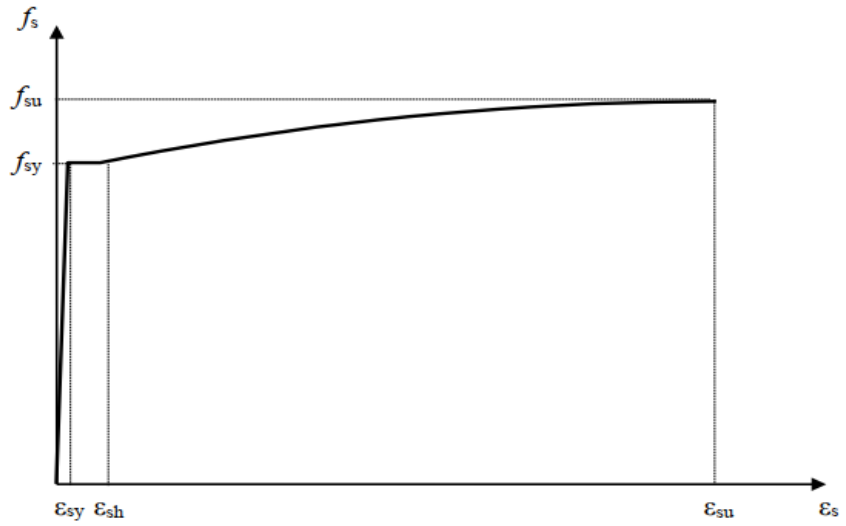
Mander modeli, **Şekil 3.24**'te görülmek üzere ve TBDY 2018'de de referans verilen tipik bir beton gerilme-birim şekil değiştirme (σ-ε) eğrisi ile temsil edilir. Bu eğride sargısız beton davranışı f_{co} ve ε_{co} parametreleri ile tanımlanır. Sargısız betonun basınç dayanımı (f_{co}), maksimum dayanıma ulaştıktan sonra hızla mukavemet kaybeder ve 0.005 birim şekil değiştirme değerinde sonlanır. Sargılı beton davranışı ise f_{cc} ve ε_{cc} parametreleri ile tanımlanır. Sargının sağladığı yanal basınç, betonun hem basınç dayanımını ($f_{cc} >> f_{co}$) hem de nihai şekil değiştirme kapasitesini ($\varepsilon_{cc} >> \varepsilon_{cu}$) önemli ölçüde artırır. Eğrinin iniş kolu daha yatay hale gelerek betonun daha sünek davranmasını sağlar [76].



Şekil 3.24: Mander beton malzeme modeli [76].

3.3.4.2. Donatı Çeliği Malzeme Modeli

Bu çalışmada, betonarme elemanların sünek davranışını ve enerji sönümleme kapasitesini belirleyen donatı çeliğinin doğrusal olmayan davranışının modellenmesi büyük önem taşımaktadır. Donatı modeli olarak, TBDY-2018'de verilen gerilme-birim şekil değiştirme eğrisi ve kabul kriterleri ile uyumlu, üç doğru parçasından oluşan basit bir model kullanılmıştır. **Şekil 3.25**'te görülmek üzere ve TBDY 2018'de referans alınan donatı çeliği gerilme-birim şekil değiştirme (σ-ε) eğrisi, üç farklı bölgeden oluşmaktadır. Bu çalışmada ele alınan B420C sınıfı donatı çeliği için elastisite modülü 2×10^5 MPa olarak alınmıştır. Akma gerilmesi f_{sy} = 420 MPa değerine, karşılık gelen birim şekil değiştirme ise ε_{sy} = 0.0021 değerine kadar doğrusal artacak şekilde modellenmiştir. Akma gerilmesine ulaşıldıktan sonra, gerilme artmazken şekil değiştirme artmaya devam eder ve şekil değiştirme sertleşmesinin başlangıcı olan ε_{sh} = 0.008 değerine kadar sürer. Söz konusu çelik malzeme modelinde ε_{sh} değerinden sonra çelik tekrar mukavemet kazanmaya başlar. Bu bölgede gerilme, f_{su}/f_{sy} = 1.15 - 1.35 oranında belirlenen maksimum çekme dayanımı f_{su} değerine ulaşır. Model, nihai kopma birim şekil değiştirmesi ε_{su} = 0.08 değerinde sonlanır.



Şekil 3.25: Donatı çeliği malzeme modeli [76].

ETABS modellerinde donatı çeliği için *"Parametric-Simple"* modelinin seçilmesi, TBDY 2018'de öngörülen gerilme-şekil değiştirme eğrisiyle tam uyum sağlarken, hesaplama verimliliği ve sayısal kararlılık sunması nedeniyle tercih edilmiştir; *"Kinematic"* histerezis tipinin kullanımı ise deprem analizlerinde kritik öneme sahip olan *Bauschinger etkisini* ve enerji sönümleme kapasitesini gerçekçi bir şekilde modellediği için uygundur. Bu kombinasyon,

betonarme yapıların sismik performans değerlendirmesinde gerekli olan sünek davranışı ve histerezis özelliklerini, pratik mühendislik ihtiyaçları ile dengeleyerek doğru bir şekilde temsil etmektedir.

3.3.5. Gevrek Eleman kontrolü

Betonarme yapı elemanlarında gözlemlenen gevrek kırılma, yapısal sistemin süneklik kapasitesi sergilemeden, herhangi bir önemli ön belirti göstermeksizin ani olarak ve geri dönüşü olmayan bir biçimde taşıma gücünü yitirmesi olarak tanımlanmaktadır. Bu davranış, elemanın yük altında yeterli şekil değiştirme yeteneğinden yoksun olduğunu göstermektedir.

Gevrek kırılma mekanizması, betonarmenin bileşenlerinin mekanik özellikleri ile doğrudan ilişkilidir. Betonun yüksek basınç dayanımına karşılık düşük çekme dayanımına sahip olması ve donatı çeliğinin ise yüksek çekme dayanımı ile sünek davranış göstermesi, kompozit malzeme olan betonarmenin tasarım mantığını oluşturur. Ancak, kesme kuvveti veya yüksek eksenel basınç gibi etkilerin baskın olduğu durumlarda, betonun aniden ezilmesi veya parçalanması sonucu gevrek kırılma meydana gelir. Bu süreçte eleman, nihai göçme durumuna ulaşana kadar yeterli eğilme deformasyonu sergileyemez. Gevrek kırılma, temelde üç ana başlıkta sınıflandırılabilir; (a) Kesme Kırılması: Kesme kuvvetinin hâkim olduğu ve enine donatının (etriye) yetersiz kaldığı durumlarda, elemanın diyagonal bir çatlak boyunca ani olarak iki parçaya ayrılmasıdır. (b) Basınç Kırılması: Yüksek eksenel basınç yükü altındaki veya yetersiz basınç dayanımına sahip bir kolonda betonun ezilerek dağılması ve yetersiz sargı donatısı nedeniyle burkulma ile sonuçlanmasıdır. (c) Yapışma (Adhezyon) Kayması: Donatı ile beton arasındaki aderansın yetersiz kalması sonucu donatının beton içinde kayması ve bunun elemanın taşıma kapasitesinde ani düşüşe yol açmasıdır.

Gevrek kırılmanın yapısal açıdan en kritik sakıncası, ani ve uyarısız meydana gelmesidir. Bu durum, büyük şekil değiştirmelerle enerji sönümleyen ve önceden uyarı işaretleri veren sünek kırılmadan temel bir farklılık arz eder. Özellikle deprem gibi dinamik yüklemeler altında, gevrek kırılma gösteren elemanların enerji sönümleme kapasiteleri düşüktür. Ani kırılma, enerjinin diğer elemanlara aktarılmasına ve zincirleme bir göçme mekanizmasının tetiklenmesine neden olabilir.

Dolayısıyla bu tez çalışmasında modellerin performans belirleme aşmalarında kolon ve kirişler için gevrek eleman kontrolü de gerçekleştirilmiştir.

Bu tez çalışmasında ise betonarme elamanların gevreklik kontrolü TBDY-2018'in şartlarına göre uygulanmıştır. Söz konusu şartlar **Tablo 3.19**'da özetlenmiştir [76].

Tablo 3.19: TBDY-2018'in gevrek eleman kontrolü şartları [76].

Kırılma türü	Önleyici mekanizma	İlgili Madde
Kesme	Kapasite tasarımına göre kesme hesabı; Elemanlar, oluşabilecek maksimum kesme kuvvetine dayanacak düzeyde boyutlandırılır.	7.4.5.1 (Kiriş) 7.3.7.4 (Kolon)
Basınç	Güçlü kolon-zayıf kiriş prensibi & eksenel yük sınırlaması.	7.3.5.1 7.5.2
Burkulma	Kritik bölgelerde için donatı detaylandırma Kuralları.	4.4.4 (Kiriş) 4.3.4 (Kolon)

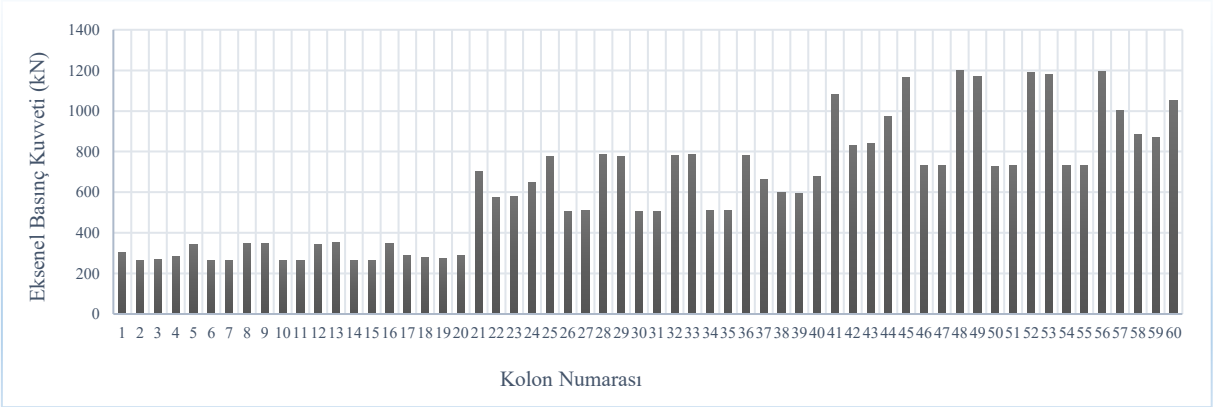
4. BULGULAR

Bu bölüm altında **Tablo 3.15**'te açıklanmış olan kolon kaybı göçme senaryolarını incelemek amacıyla çeşitli modeller üzerinde gerçekleştirilen analiz sonuçları sunulmuştur.

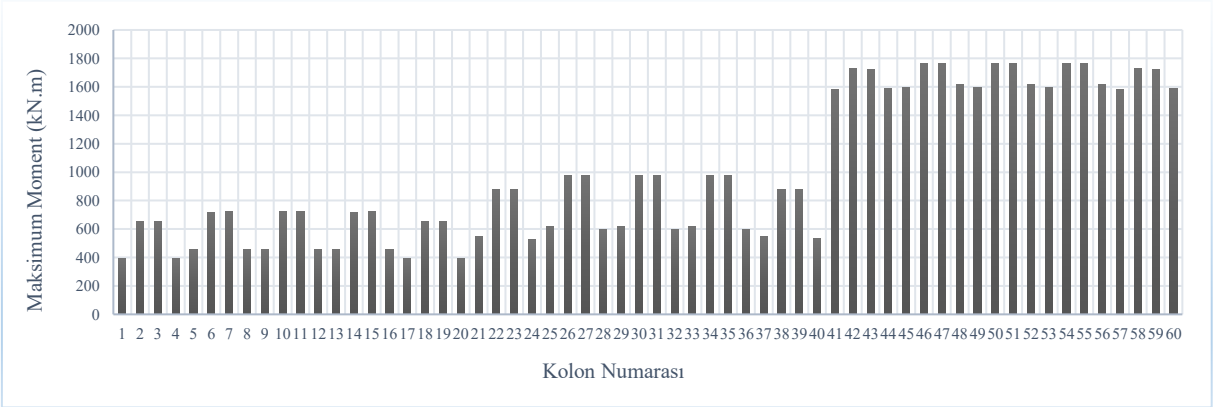
4.1. MODEL A ANALİZ SONUÇLARI

4.1.1. Kontrol Modelinin Analiz Sonuçları

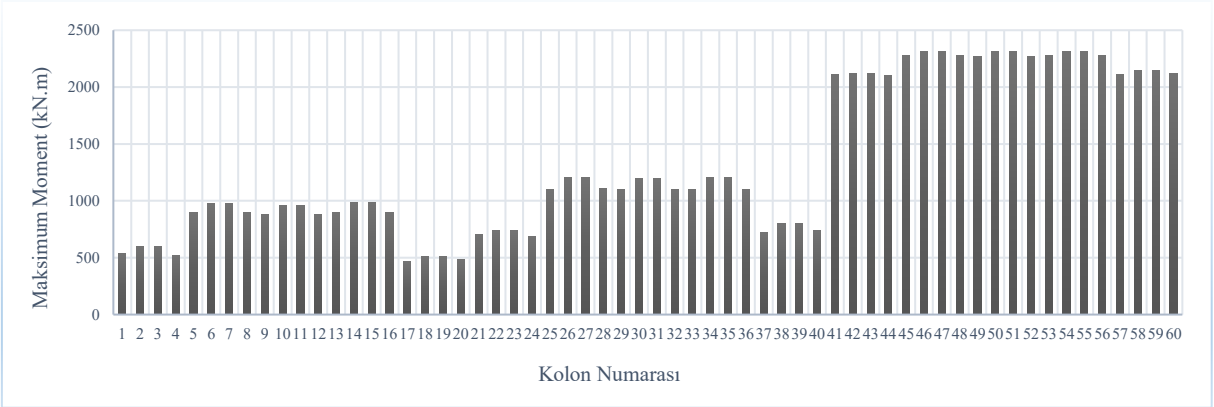
Doğrusal olmayan analizler sonuçlarına göre kontrol modeli DD-2 deprem yer hareketi düzeyinde "Kontrollü Hasar" performans hedefini sağlamıştır. Kontrol modeline ait analiz sonuçları **Şekil 4.1** ila **Şekil 4.13**'te sunulmuştur. Elemanların hasar düzeyleri ise **Tablo 4.1** ve **Tablo 4.2**'de açıklanmıştır.



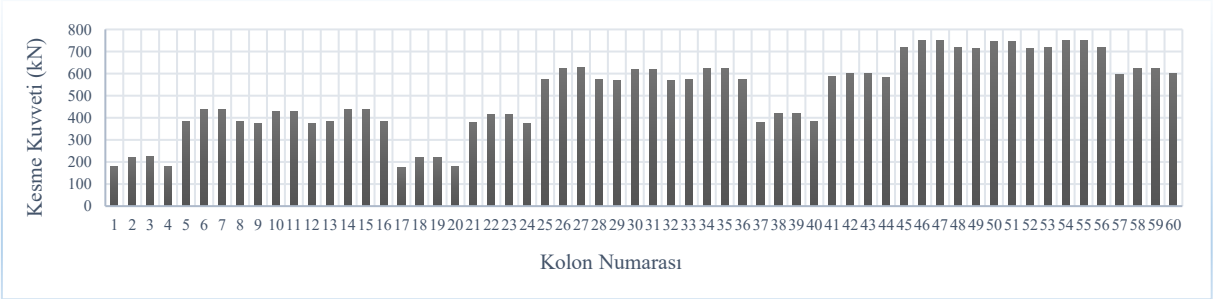
Şekil 4.1: Kontrol modelinde kolonların maksimum eksenel kuvvetleri (kN).



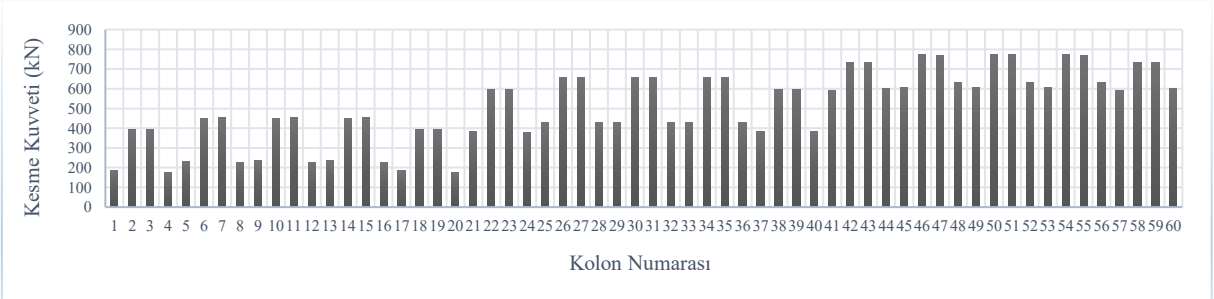
Şekil 4.2: Kontrol modelinde kolonların X yönünde maksimum momentler (kN.m).



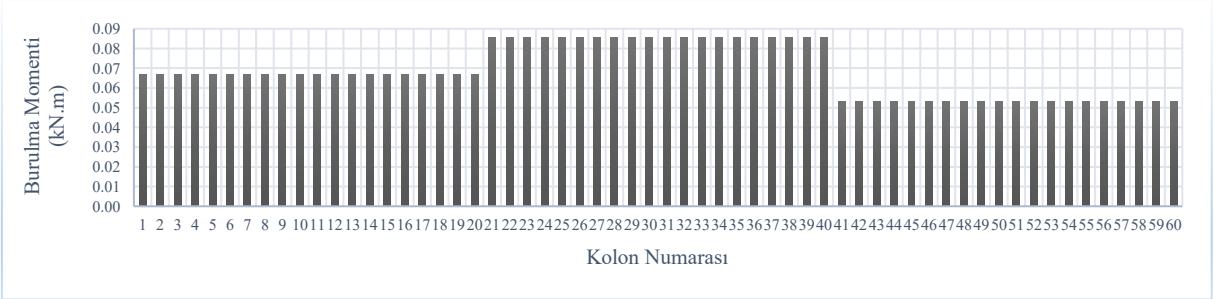
Şekil 4.3: Kontrol modelinde kolonların Y yönünde maksimum momentler (kN.m).



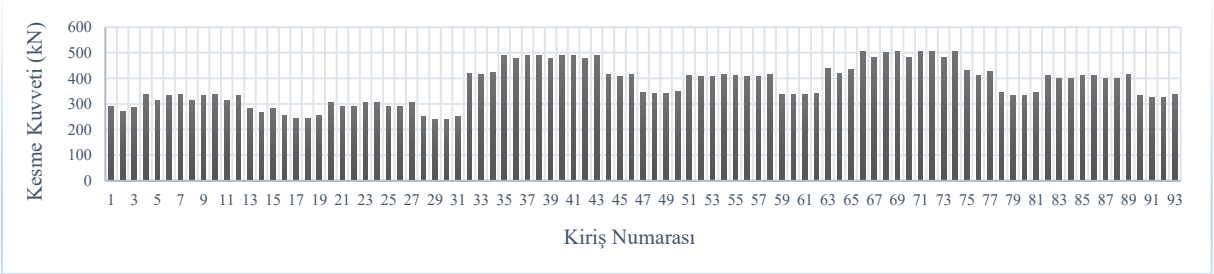
Şekil 4.4: Kontrol modelinde kolonların X yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).



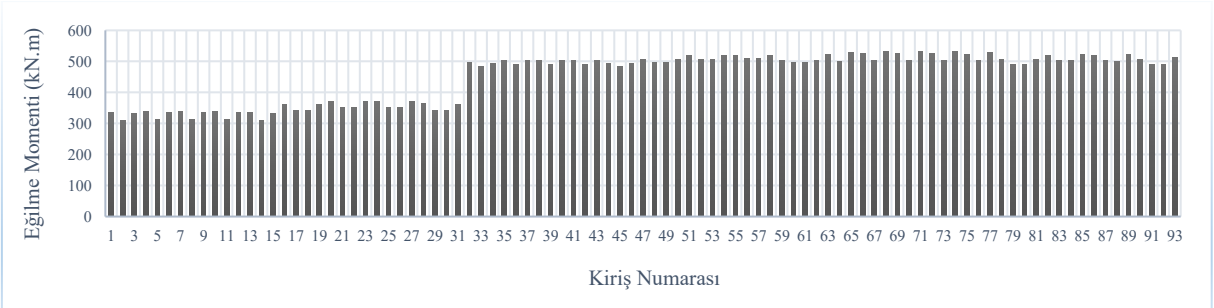
Şekil 4.5: Kontrol modelinde kolonların Y yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).



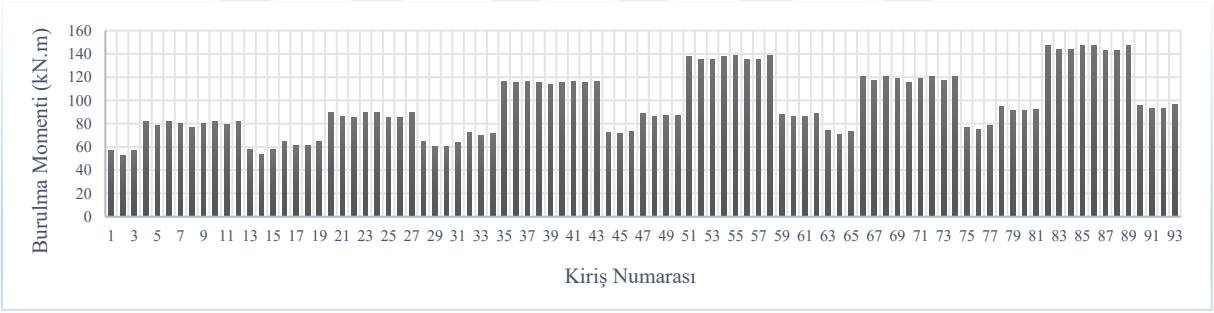
Şekil 4.6: Kontrol modelinde kolonların maksimum burulma momentleri (kN.m).



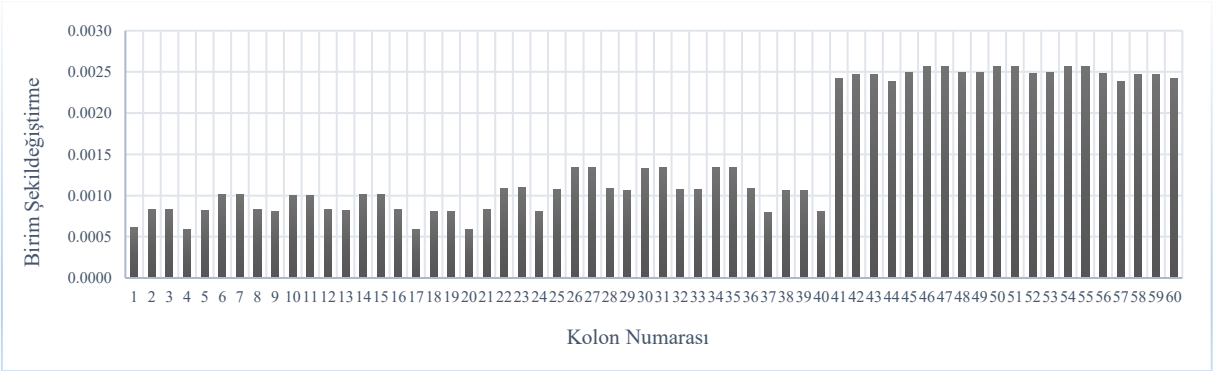
Şekil 4.7: Kontrol modelinde kirişlerin maksimum kesme kuvvetleri (kN).



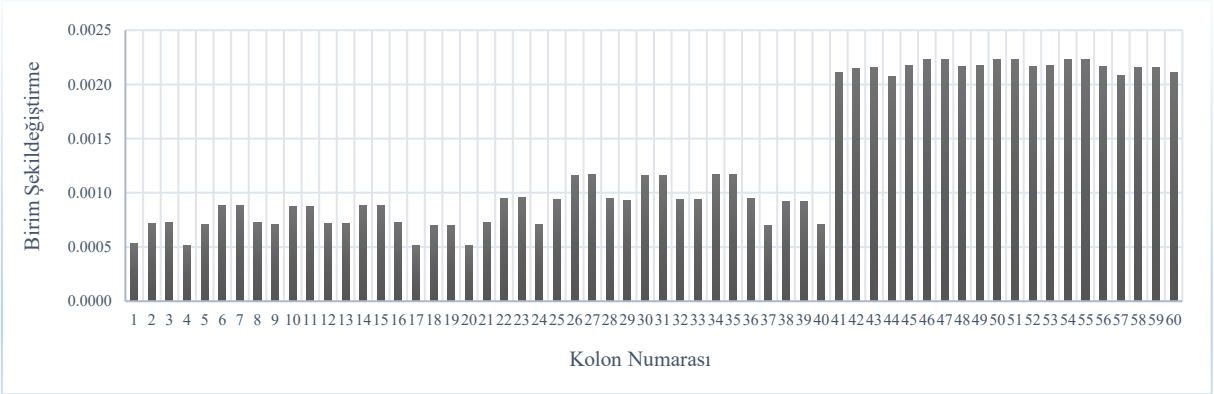
Şekil 4.8: Kontrol modelinde kirişlerin maksimum eğilme momentleri (kN.m).



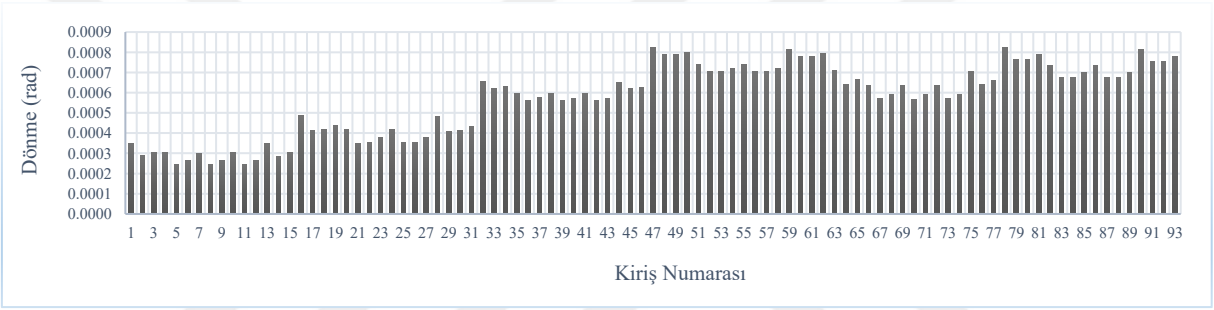
Şekil 4.9: Kontrol modelinde kirişlerin maksimum burulma momentleri (kN.m).



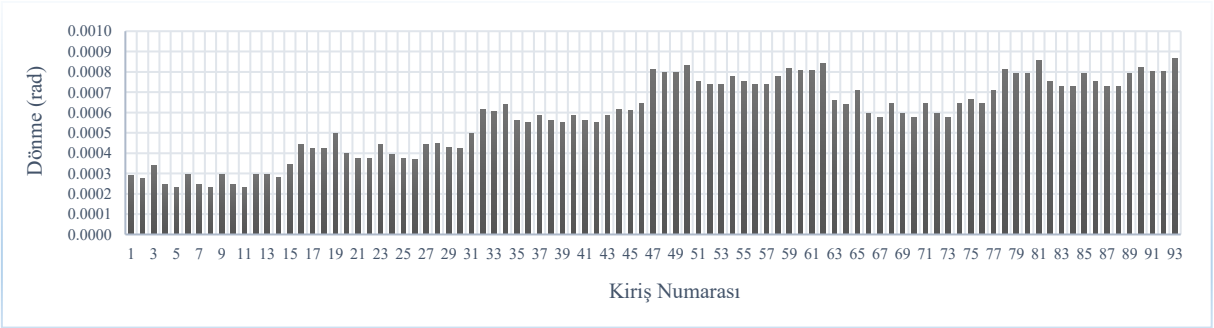
Şekil 4.10: Kontrol modelinde kolon kesitlerinin betonunda maksimum birim şekildeğiştirme değerleri.



Şekil 4.11: Kontrol modelinde kolon kesitlerinin donatısında maksimum birim şekildeğiştirme değerleri.



Şekil 4.12: Kontrol modelinde kiriş kesitlerinin I ucunda maksimum dönme değerleri (rad).



Şekil 4.13: Kontrol modelinde kiriş kesitlerinin J ucunda maksimum dönme değerleri (rad).

Tablo 4.1: Kontrol modelinde kirişlerin hasar bölgeleri.

Kat	Kiriş sayısı				
	Sınırlı hasar	Belirgin hasar	İleri hasar	Göçme	Toplam
3	0	31	0	0	31
2	0	31	0	0	31
1	0	31	0	0	31

Tablo 4.2: Kontrol modelinde kolonların hasar bölgeleri.

Kat	Kolon sayısı				
	Sınırlı hasar	Belirgin hasar	İleri hasar	Göçme	Toplam
3	20	0	0	0	20
2	20	0	0	0	20
1	14	6	0	0	20

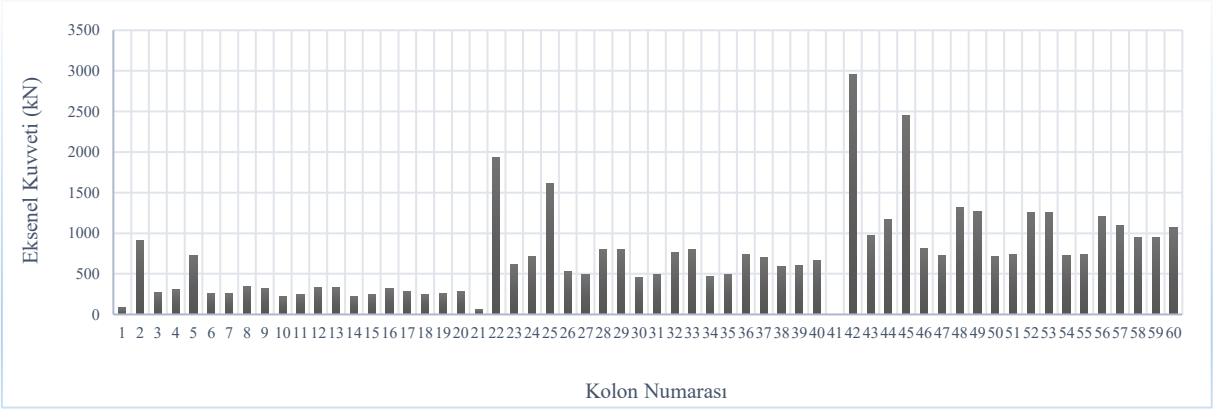
4.1.2. Senaryo A-1 Analiz Sonuçları

İlk katta yer alan tek bir köşe kolon kaybı senaryosu için kolon kaybı **Tablo 4.3**'te gelen iç kuvvetler ve kütle ile simüle edilmiştir. Söz konusu kolonun ortadan kalkma süresi 0.05 saniye olarak ayarlanmıştır.

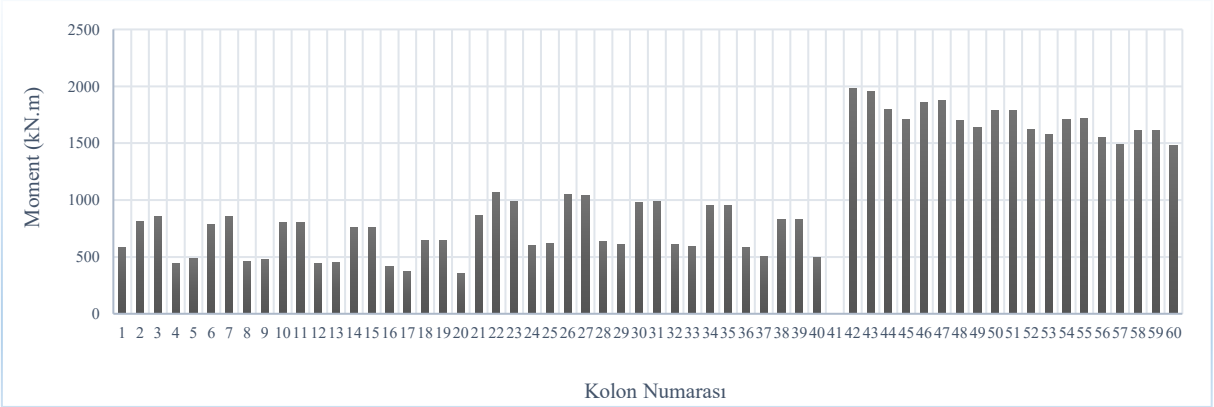
Tablo 4.3: Senaryo A-1'de kolonun sayısal simülasyonu.

P (kN)	M_x (kN.m)	M_y (kN.m)	V_x (kN)	V_y (kN)	Kütle (ton)
1083	1581	2109	589	592	5.65

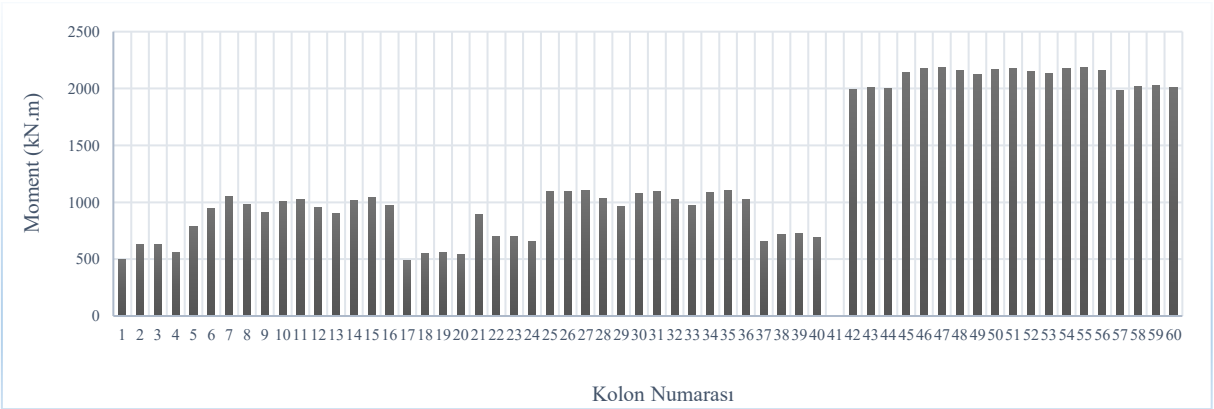
Senaryo A-1'ye ait analiz sonuçları **Şekil 4.14** ila **Şekil 4.26**'da sunulmuştur. Söz konusu şekillerde senaryo A-1 kapsamında kaldırılmış olan kolon 41 numarayla gösterilmiştir. Elemanların hasar düzeyleri ise **Tablo 4.4** ve **Tablo 4.5**'te açıklanmıştır. Ayrıca kolon kaldırma senaryosunda kaldırılmış olan kolonun komşu elemanlarının iç küvetleri, birim şekildeğiştirmeleri ve dönmelerinde gerçekleşen değişimler **Tablo 4.6** ve **Tablo 4.7** kapsamında sırasıyla yan kolonlar ve yan kirişler için sunulmuştur.



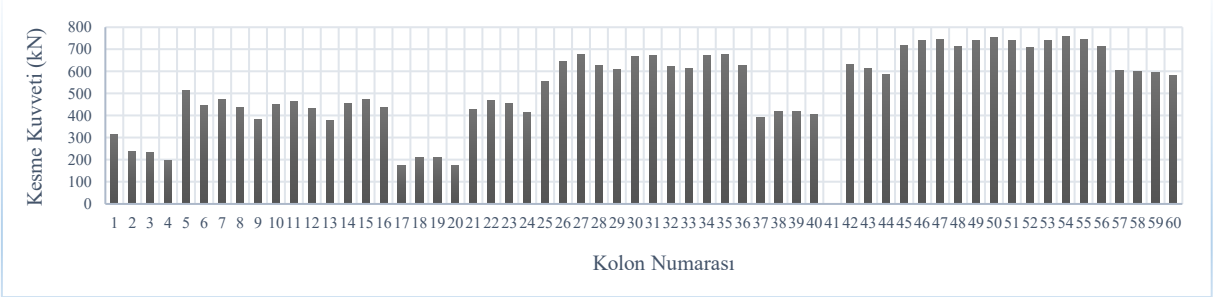
Şekil 4.14: Senaryo A-1'de kolonların maksimum eksenel kuvvetleri (kN).



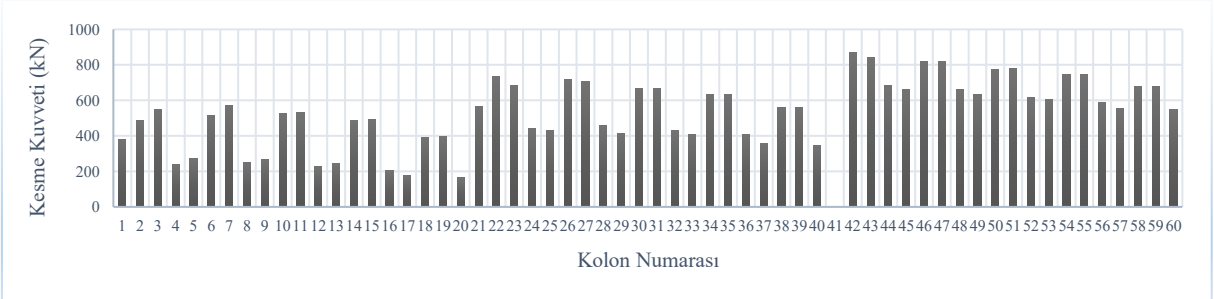
Şekil 4.15: Senaryo A-1'de kolonların X yönünde maksimum momentler (kN.m).



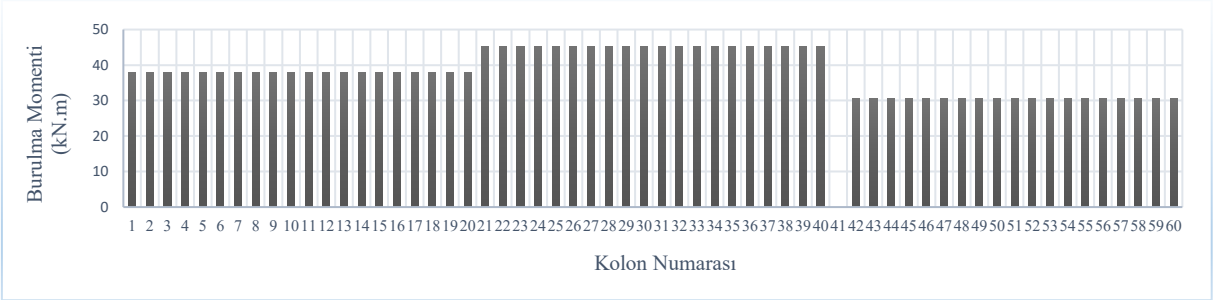
Şekil 4.16: Senaryo A-1'de kolonların Y yönünde maksimum momentler (kN.m).



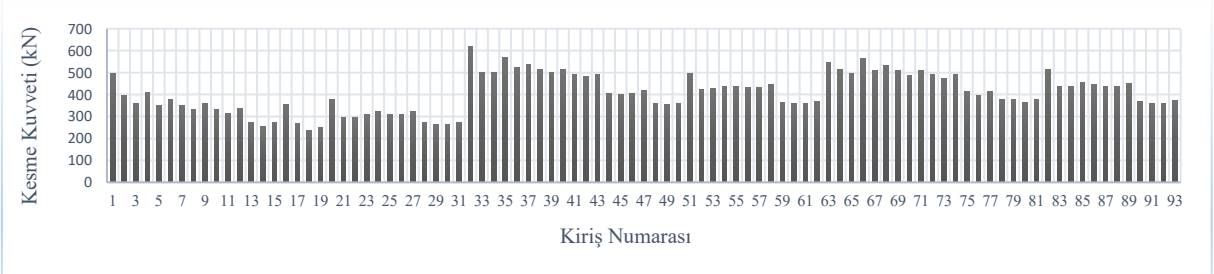
Şekil 4.17: Senaryo A-1'de kolonların X yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).



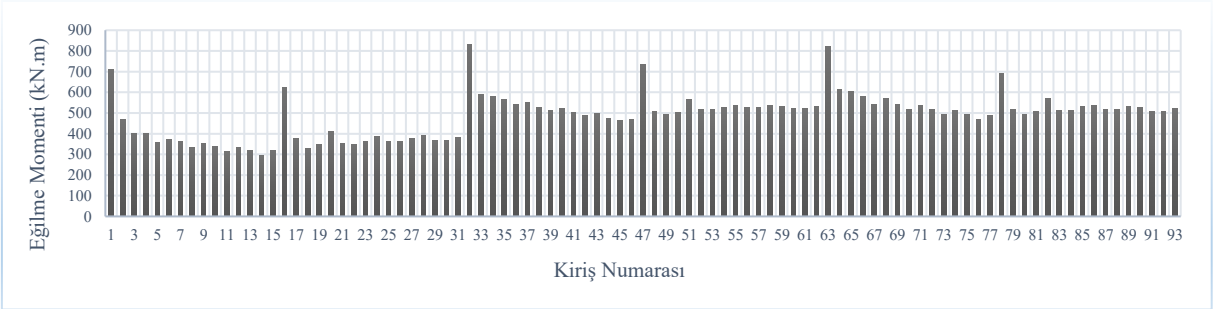
Şekil 4.18: Senaryo A-1'de kolonların Y yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).



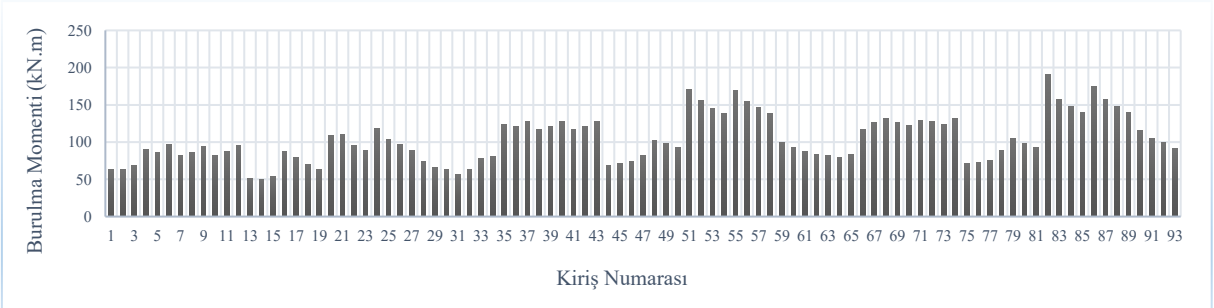
Şekil 4.19: Senaryo A-1'de kolonların maksimum burulma momentleri (kN.m).



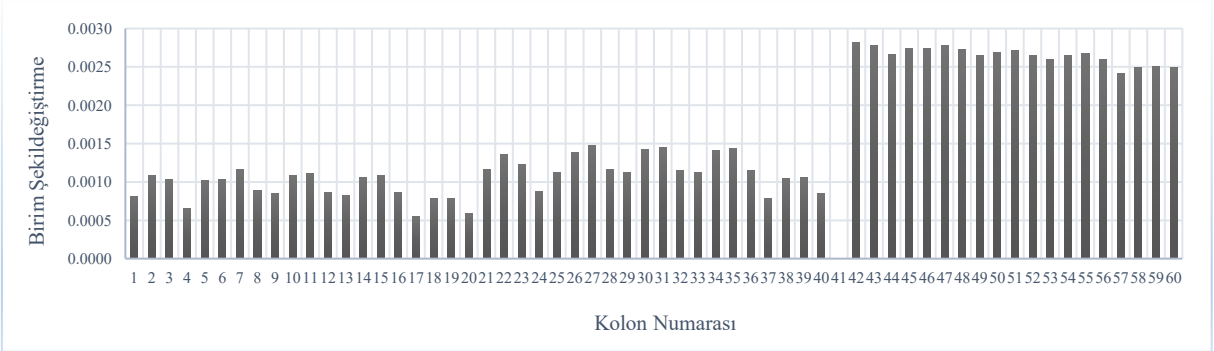
Şekil 4.20: Senaryo A-1'de kirişlerin maksimum kesme kuvvetleri (kN).



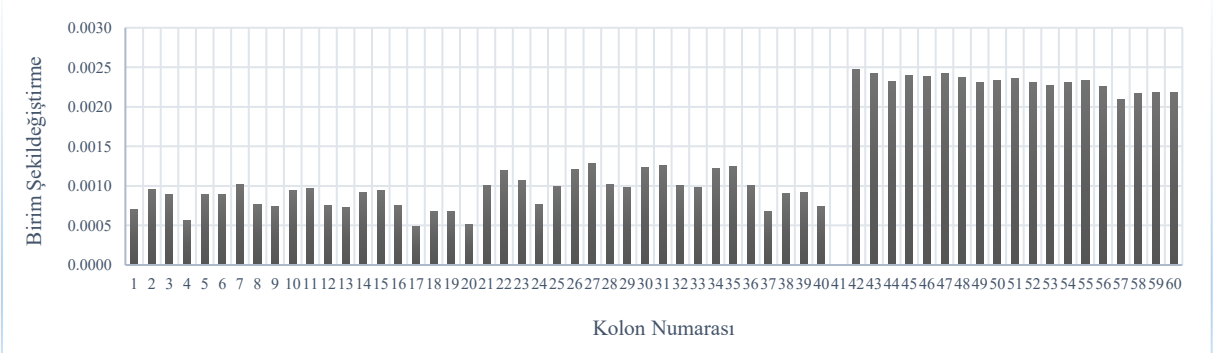
Şekil 4.21: Senaryo A-1'de kirişlerin maksimum eğilme momentleri (kN.m).



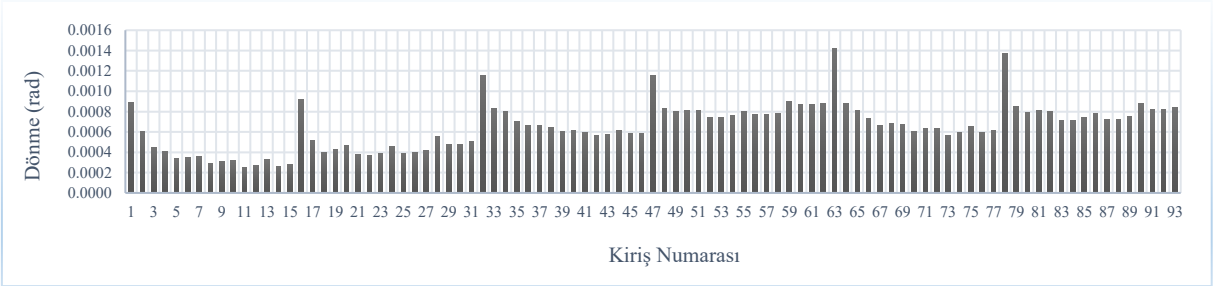
Şekil 4.22: Senaryo A-1'de kirişlerin maksimum burulma momentleri (kN.m).



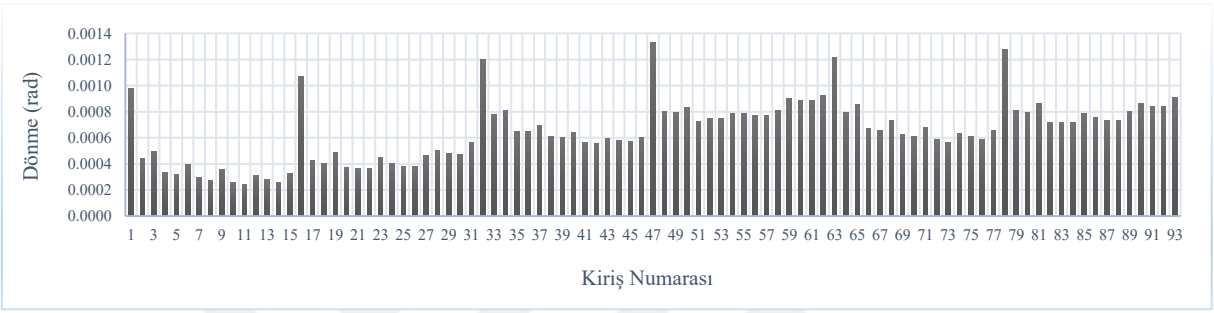
Şekil 4.23: Senaryo A-1'de kolon kesitlerinin betonunda maksimum birim şekildeğiştirme değerleri.



Şekil 4.24: Senaryo A-1'de kolon kesitlerinin donatısında maksimum birim şekildeğiştirme değerleri.



Şekil 4.25: Senaryo A-1'de kiriş kesitlerinin I ucunda maksimum dönme değerleri (rad).



Şekil 4.26: Senaryo A-1'de kiriş kesitlerinin J ucunda maksimum dönme değerleri (rad).

Tablo 4.4: Senaryo A-1'de kirişlerin hasar bölgeleri.

Kat	Kiriş sayısı					
	Sınırlı hasar	Belirgin hasar	İleri hasar	Göçme	Gevrek kırılma	Toplam
3	0	31	0	0	0	31
2	0	31	0	0	0	31
1	0	31	0	0	0	31

Tablo 4.5: Senaryo A-1'de kolonların hasar bölgeleri.

Kat	Kolon sayısı					
	Sınırlı hasar	Belirgin hasar	İleri hasar	Göçme	Gevrek kırılma	Toplam
3	20	31	0	0	0	20
2	20	31	0	0	0	20
1	3	16	0	1	0	20

Tablo 4.6: Senaryo A-1'de yan kolonların iç kuvvetleri ve birim şekildeğiştirmelerinde değişimleri.

Kolon No		P (kN)	M2 (kN.m)	M3 (kN.m)	V2 (kN)	V3 (kN)	T (kN.m)	ε_c	ε_s
42	Kontrol modeli	832	1726	2123	599	734	0.053	0.0024691	0.0021481
	Senaryo A-1	2953	1984	1995	631	870	30.7005	0.0028237	0.0024757
	Değişim (%)	255	15	-6	6	19	57825	15	16
45	Kontrol modeli	1166	1597	2274	720	608	0.053	0.0024924	0.0021713
	Senaryo A-1	2453	1708	2143	718	662	30.7005	0.0027371	0.0023997
	Değişim (%)	110	7	-6	-0.3	9	57825	10	11

Tablo 4.7: Senaryo A-1'de yan kirişlerin iç kuvvetleri ve dönme değişimleri.

Kiriş No		V2 (kN)	T (kN.m)	M3 (kN.m)	Dönme; I (rad)	Dönme; J (rad)
63	Kontrol modeli	438	74	523	0.0007076	0.0006616
	Senaryo A-1	545	82	821	0.0014216	0.0012139
	Değişim (%)	24	11	57	101	84
78	Kontrol modeli	344	94	506	0.0008241	0.0008137
	Senaryo A-1	378	88	692	0.0013711	0.0012730
	Değişim (%)	10	-6	37	66	57

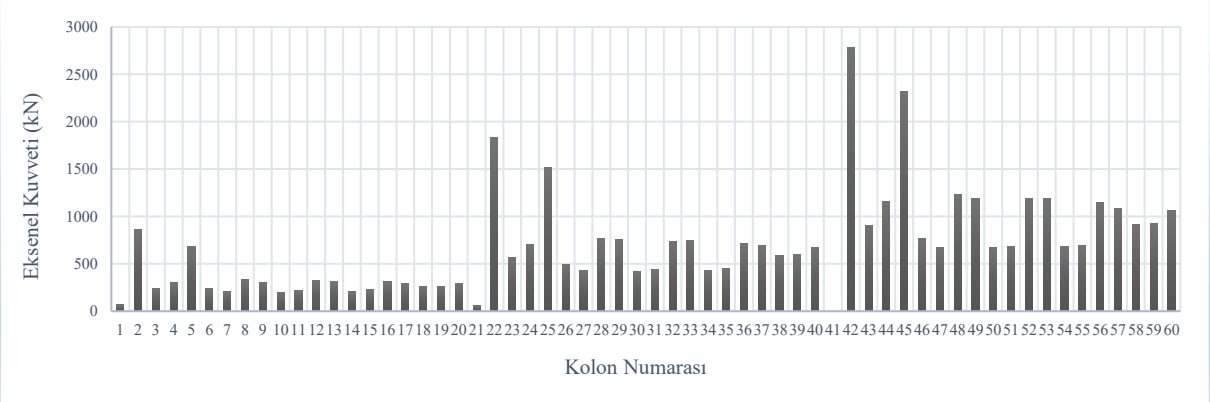
4.1.3. Senaryo A-2 Analiz Sonuçları

İlk katta yer alan tek bir köşe kolon kaybı ve döşeme kalınlığının 12 cm'ye düşürüldüğü senaryosu için kolon kaybı **Tablo 4.8**'de gelen iç kuvvetler ve kütle ile simüle edilmiştir. Söz konusu kolonun ortadan kalkma süresi 0.05 saniye olarak ayarlanmıştır.

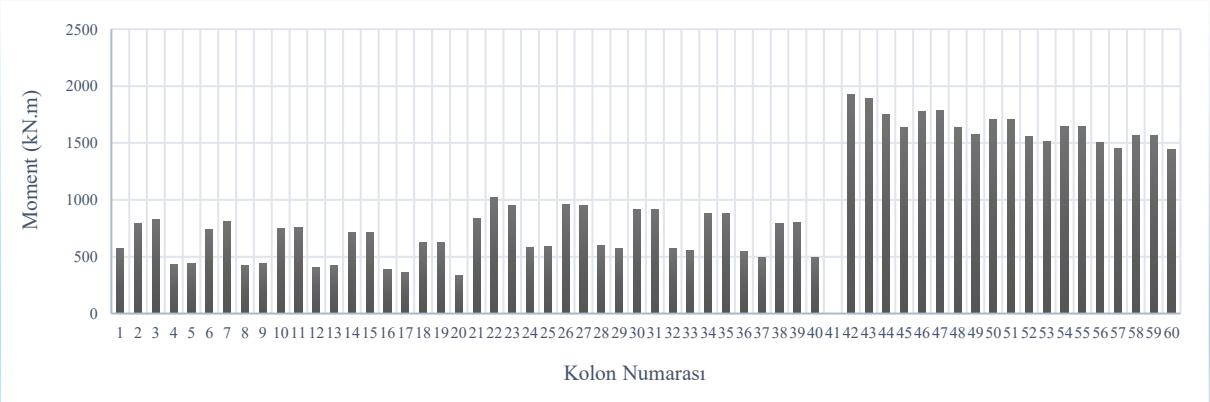
Tablo 4.8: Senaryo A-2'de kolonun sayısal simülasyonu.

P (kN)	M_x (kN.m)	M_y (kN.m)	V_x (kN)	V_y (kN)	Kütle (ton)
1047	1530	2031	554	560	5.28

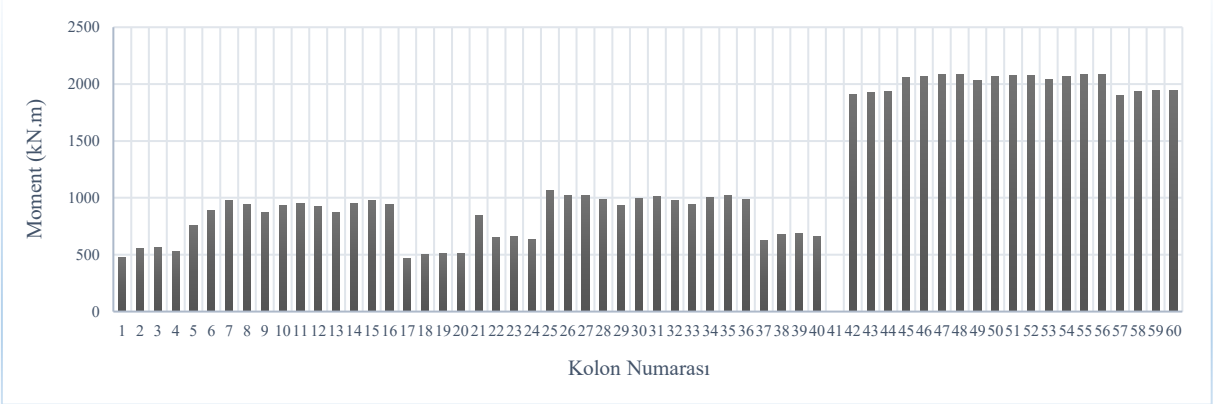
Senaryo A-2'e ait analiz sonuçları **Şekil 4.27** ila **Şekil 4.39**'da sunulmuştur. Söz konusu şekillerde senaryo A-2 kapsamında kaldırılmış olan kolon 41 numarayla gösterilmiştir. Elemanların hasar düzeyleri ise **Tablo 4.9** ve **Tablo 4.10**'da açıklanmıştır. Ayrıca kolon kaldırma senaryosunda kaldırılmış olan kolonun komşu elemanlarının iç küvetleri, birim şekildeğiştirmeleri ve dönmelerinde gerçekleşen değişimler **Tablo 4.11** ve **Tablo 4.12** kapsamında sırasıyla yan kolonlar ve yan kirişler için sunulmuştur.



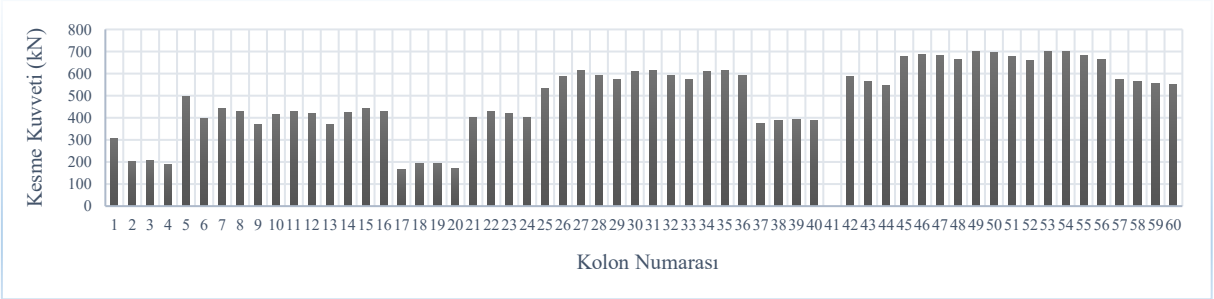
Şekil 4.27: Senaryo A-2'de kolonların maksimum eksenel kuvvetleri (kN).



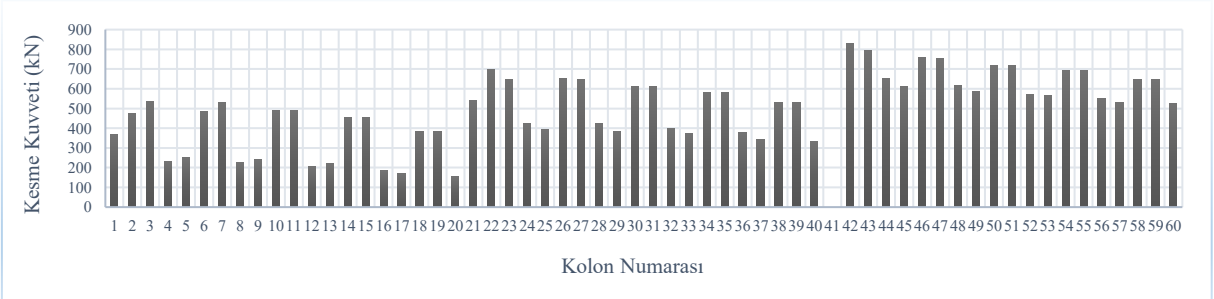
Şekil 4.28: Senaryo A-2'de kolonların X yönünde maksimum momentleri (kN.m).



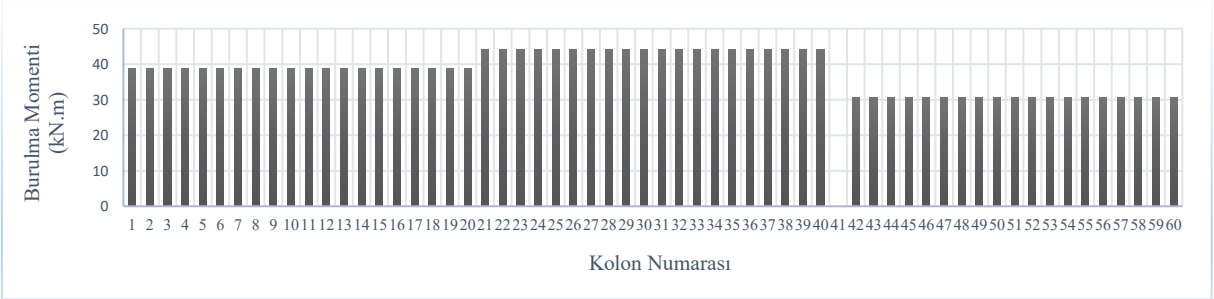
Şekil 4.29: Senaryo A-2'de kolonların Y yönünde maksimum momentleri (kN.m).



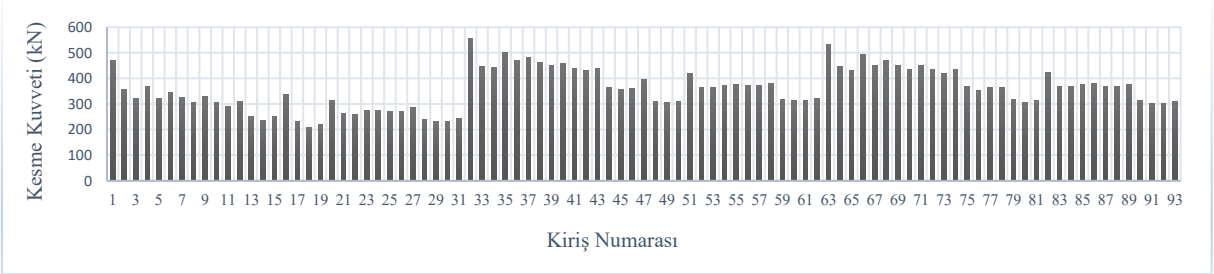
Şekil 4.30: Senaryo A-2'de kolonların X yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).



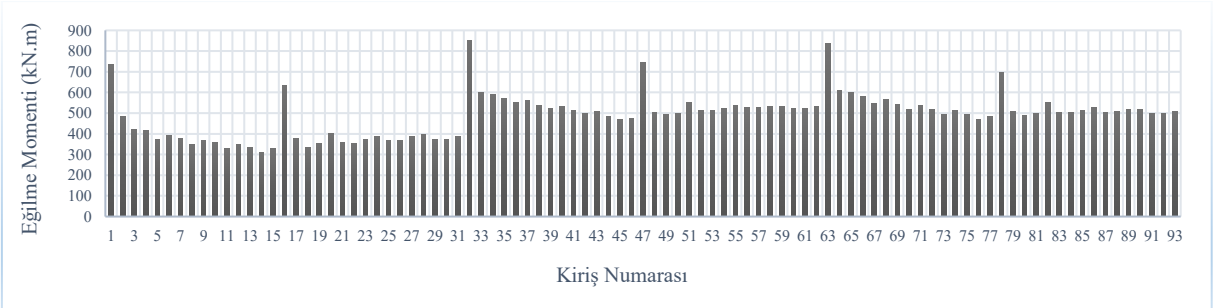
Şekil 4.31: Senaryo A-2'de kolonların Y yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).



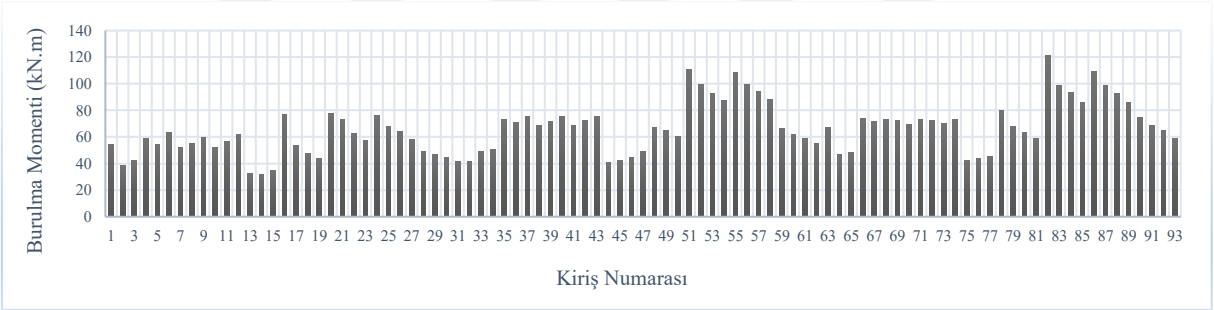
Şekil 4.32: Senaryo A-2'de kolonların maksimum burulma momentleri (kN.m).



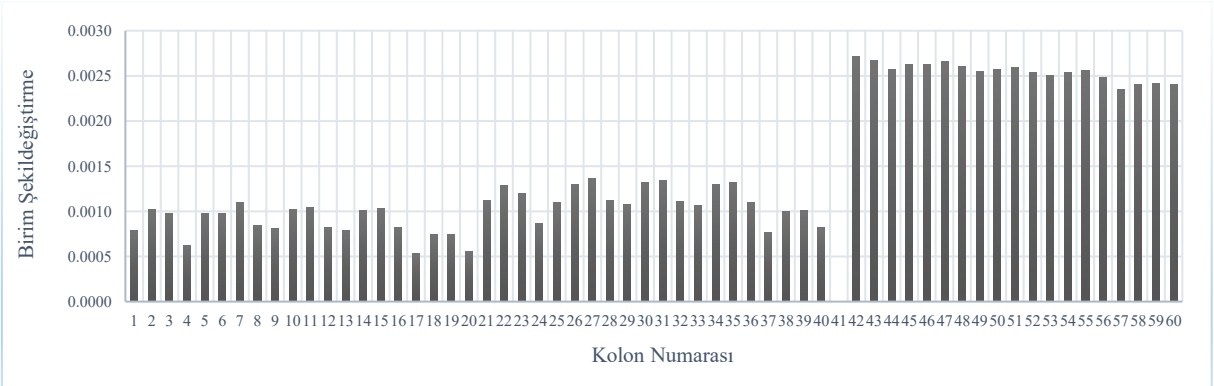
Şekil 4.33: Senaryo A-2'de kirişlerin maksimum kesme kuvvetleri (kN).



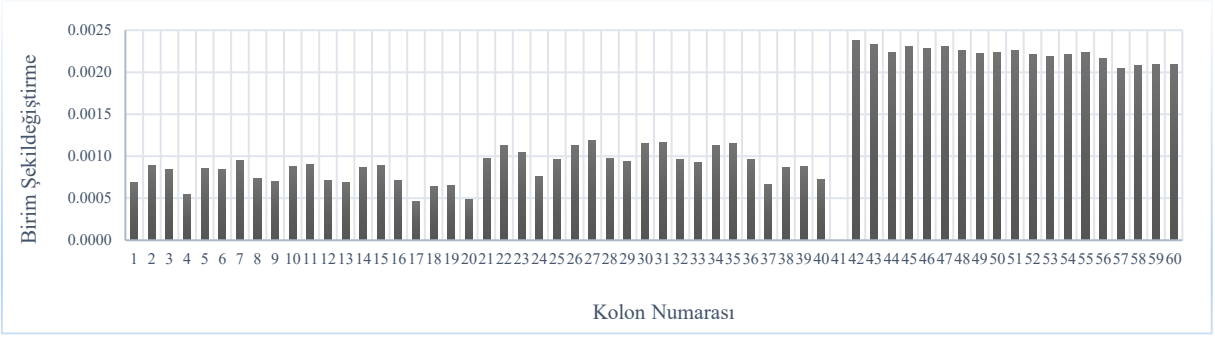
Şekil 4.34: Senaryo A-2'de kirişlerin maksimum eğilme momentleri (kN.m).



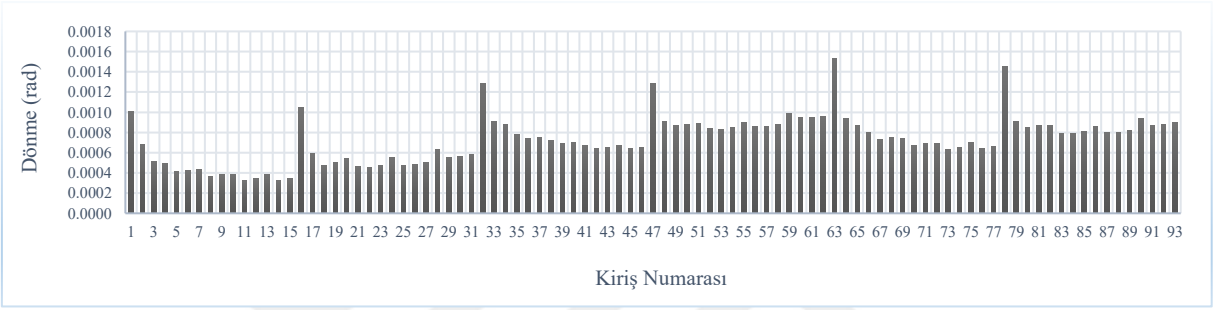
Şekil 4.35: Senaryo A-2'de kirişlerin maksimum burulma momentleri (kN.m).



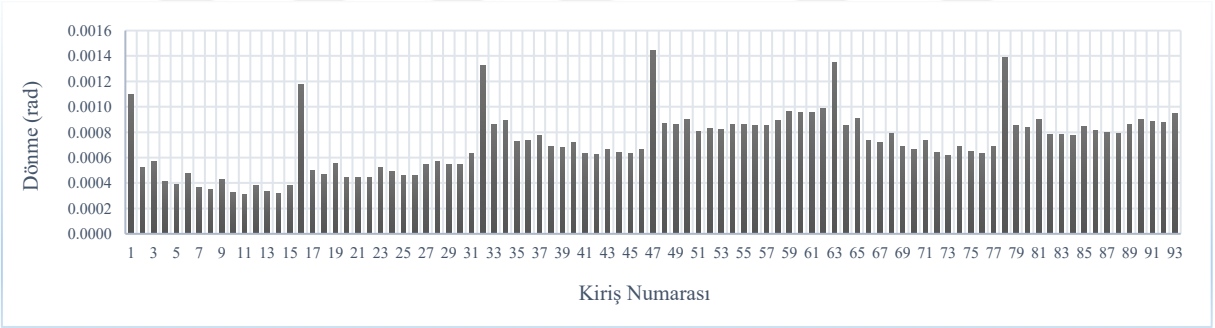
Şekil 4.36: Senaryo A-2'de kolon kesitlerinin betonunda maksimum birim şekildeğiştirme değerleri.



Şekil 4.37: Senaryo A-2'de kolon kesitlerinin donatısında maksimum birim şekildeğiştirme değerleri.



Şekil 4.38: Senaryo A-2'de kiriş kesitlerinin I ucunda maksimum dönme değerleri (rad).



Şekil 4.39: Senaryo A-2'de kiriş kesitlerinin J ucunda maksimum dönme değerleri (rad).

Tablo 4.9: Senaryo A-2'de kirişlerin hasar bölgeleri.

Kat	Kiriş sayısı					
	Sınırlı hasar	Belirgin hasar	İleri hasar	Göçme	Gevrek kırılma	Toplam
3	0	31	0	0	0	31
2	0	31	0	0	0	31
1	0	31	0	0	0	31

Tablo 4.10: Senaryo A-2'de kolonların hasar bölgeleri.

Kat	Kolon sayısı					
	Sınırlı hasar	Belirgin hasar	İleri hasar	Göçme	Gevrek kırılma	Toplam
3	20	0	0	0	0	20
2	20	0	0	0	0	20
1	5	14	0	1	0	20

Tablo 4.11: Senaryo A-2'de yan kolonların iç kuvvetleri ve birim şekildeğiştirmelerinde değişimleri.

Kolon No		P (kN)	M2 (kN.m)	M3 (kN.m)	V2 (kN)	V3 (kN)	T (kN.m)	ε_c	ε_s
42	Kontrol modeli	832	1726	2123	599	734	0.053	0.0024691	0.0021481
	Senaryo A-2	2788	1929	1907	585	829	30.5615	0.0027149	0.0023799
	Değişim (%)	235	12	-10	-2	13	57563	10	11
45	Kontrol modeli	1166	1597	2274	720	608	0.053	0.0024924	0.0021713
	Senaryo A-2	2319	1636	2059	675	610	30.5615	0.0026260	0.0023010
	Değişim (%)	99	2	-10	-6	0.3	57563	5	6

Tablo 4.12: Senaryo A-2'de yan kirişlerin iç kuvvetleri ve dönme değişimleri.

Kiriş No		V2 (kN)	T (kN.m)	M3 (kN.m)	Dönme; I (rad)	Dönme; J (rad)
63	Kontrol modeli	438	74	523	0.0007076	0.0006616
	Senaryo A-2	531	67	838	0.0015364	0.0013449
	Değişim (%)	21	-10	60	117	103
78	Kontrol modeli	344	94	506	0.0008241	0.0008137

Tablo 4.12 (devam): Senaryo A-2'de yan kirişlerin iç kuvvetleri ve dönme değişimleri.

Senaryo A-2	364	80	698	0.0014534	0.0013854
Değişim (%)	6	-15	38	76	70

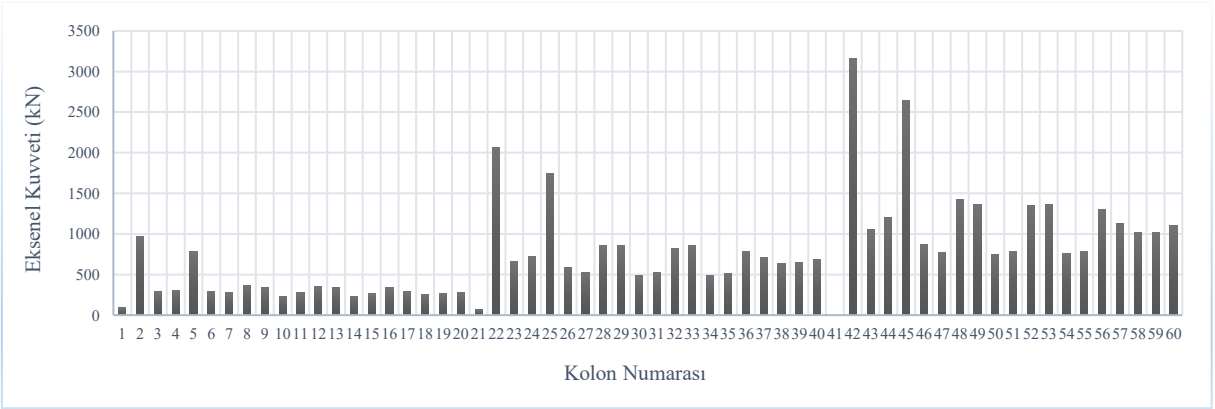
4.1.4. Senaryo A-3 Analiz Sonuçları

İlk katta yer alan tek bir köşe kolon kaybı ve döşeme kalınlığının 18 cm'ye artırıldığı senaryosu için kolon kaybı **Tablo 4.13**'te gelen iç kuvvetler ve kütle ile simüle edilmiştir. Söz konusu kolonun ortadan kalkma süresi 0.05 saniye olarak ayarlanmıştır.

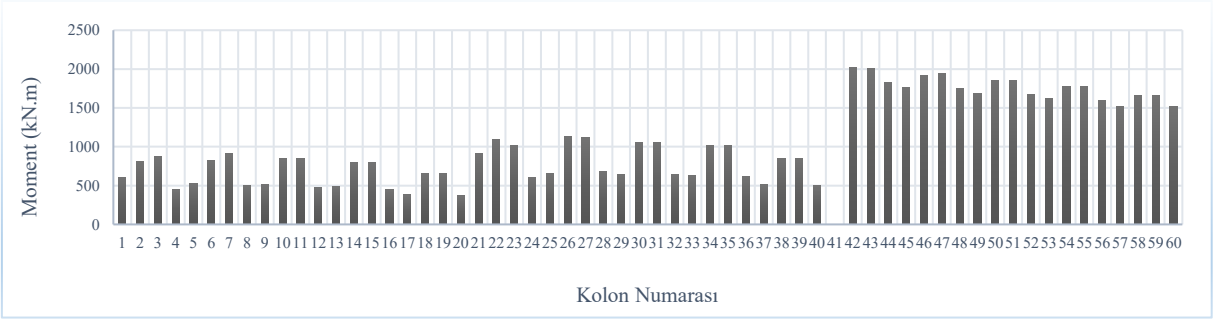
Tablo 4.13: Senaryo A-3'te kolonun sayısal simülasyonu.

P (kN)	M_x (kN.m)	M_y (kN.m)	V_x (kN)	V_y (kN)	Kütle (ton)
1146	1626	2162	625	626	6.04

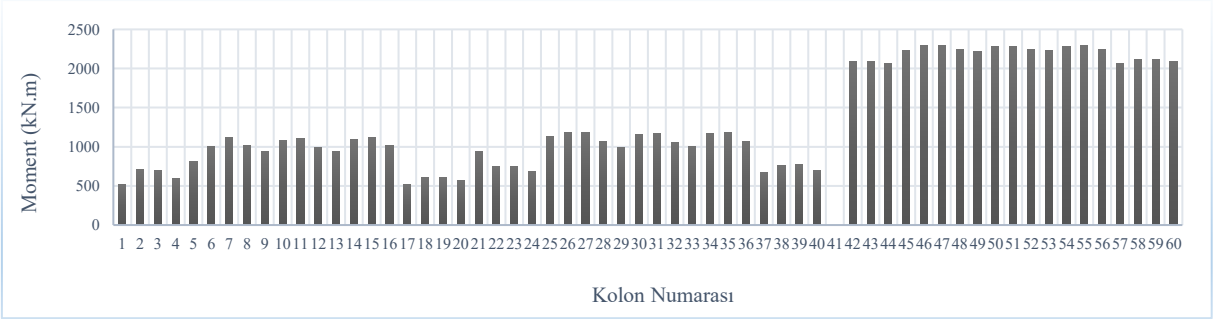
Senaryo A-3 'e ait analiz sonuçları **Şekil 4.40** ila **Şekil 4.52**'de sunulmuştur. Söz konusu şekillerde senaryo A-3 kapsamında kaldırılmış olan kolon 41 numarayla gösterilmiştir. Elemanların hasar düzeyleri ise **Tablo 4.14** ve **Tablo 4.15**'te açıklanmıştır. Ayrıca kolon kaldırma senaryosunda kaldırılmış olan kolonun komşu elemanlarının iç küvetleri, birim şekildeğiştirmeleri ve dönmelerinde gerçekleşen değişimler **Tablo 4.16** ve **Tablo 4.17** kapsamında sırasıyla yan kolonlar ve yan kirişler için sunulmuştur.



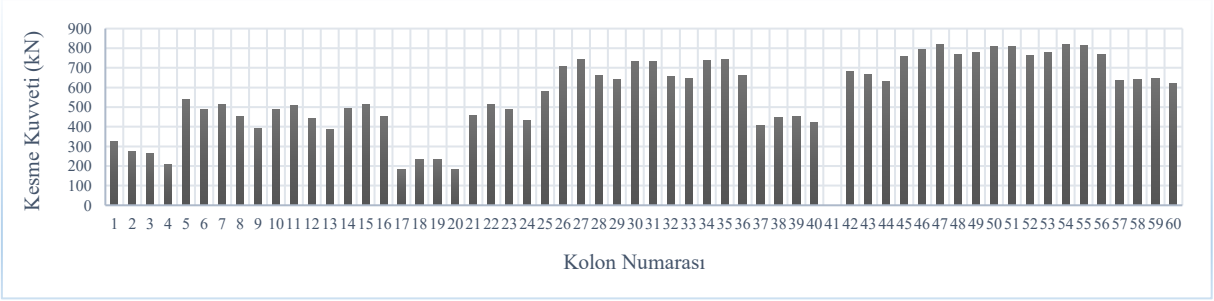
Şekil 4.40: Senaryo A-3'te kolonların maksimum eksenel kuvvetleri (kN).



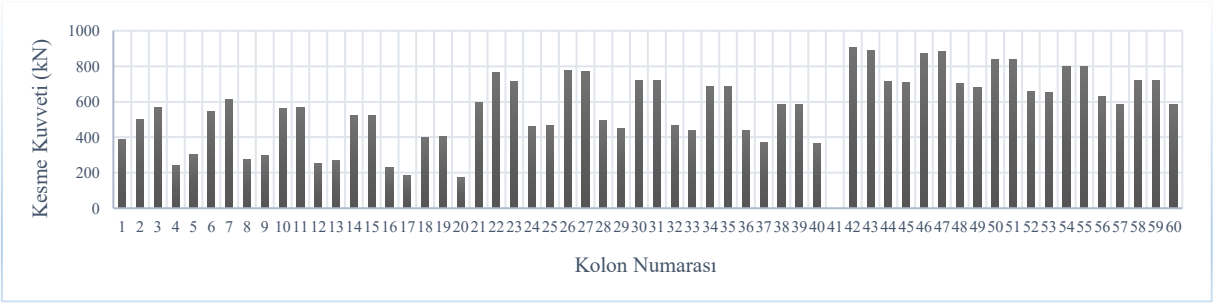
Şekil 4.41: Senaryo A-3'te kolonların X yönünde maksimum momentleri (kN.m).



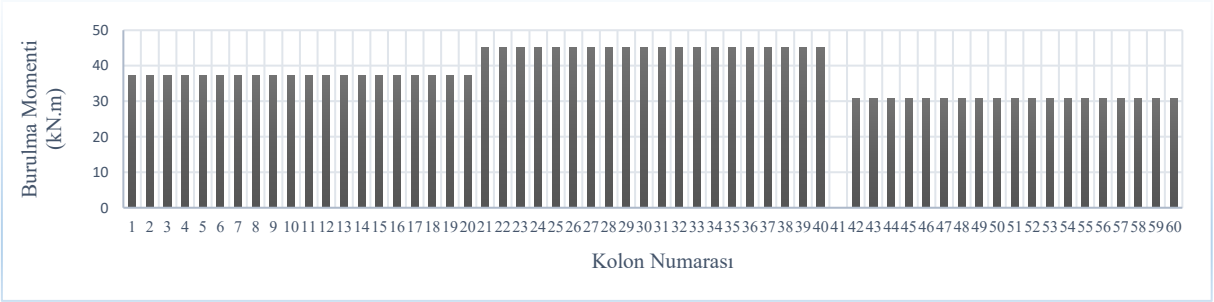
Şekil 4.42: Senaryo A-3'te kolonların Y yönünde maksimum momentleri (kN.m).



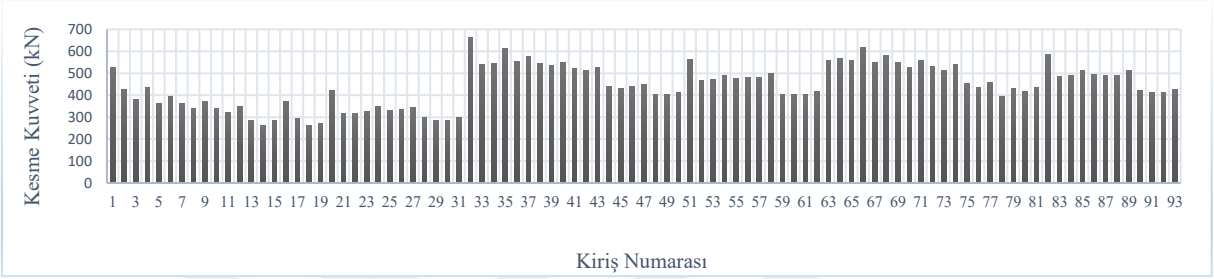
Şekil 4.43: Senaryo A-3'te kolonların X yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).



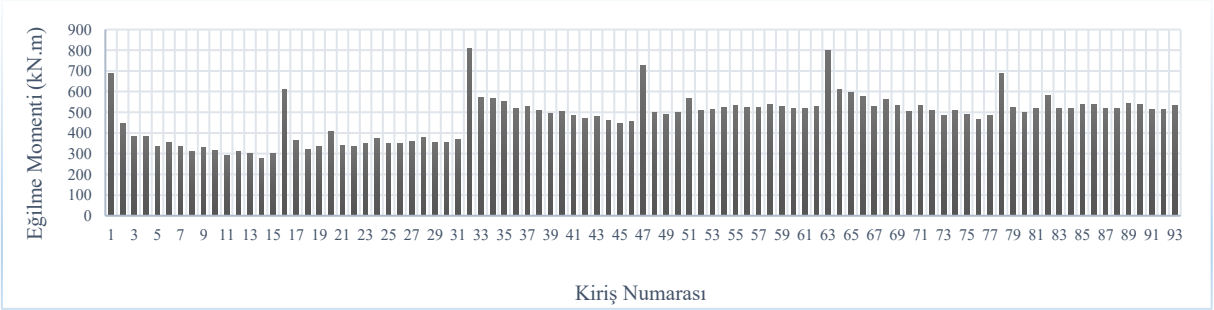
Şekil 4.44: Senaryo A-3'te kolonların Y yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).



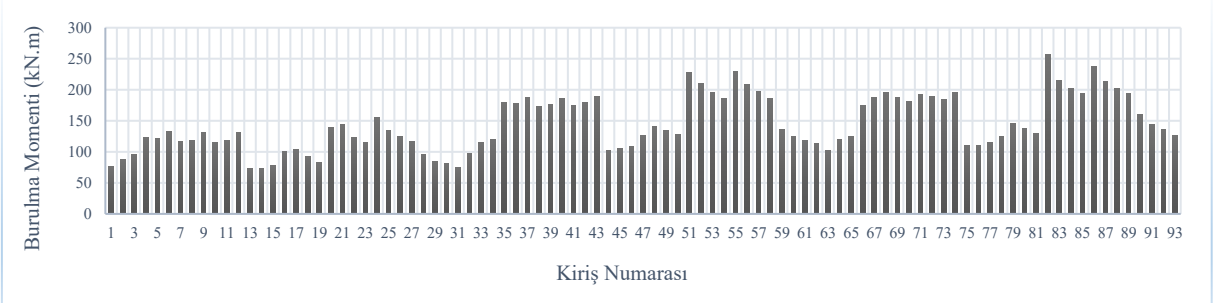
Şekil 4.45: Senaryo A-3'te kolonların maksimum burulma momentleri (kN.m).



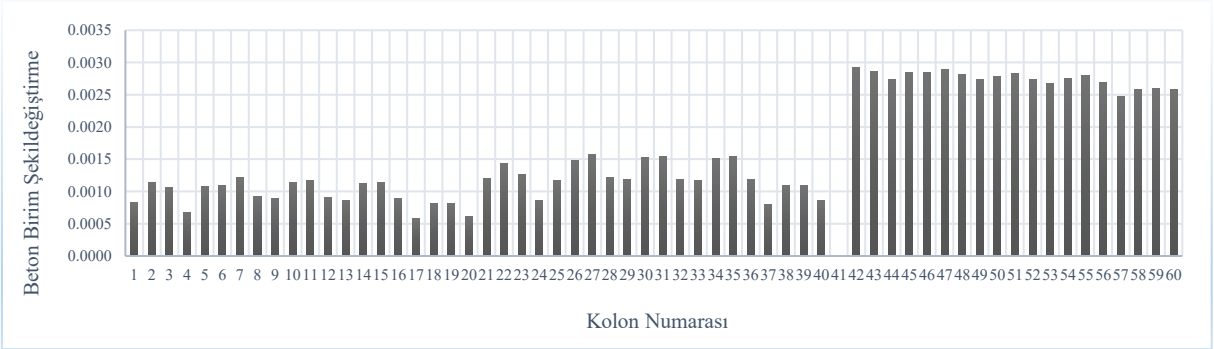
Şekil 4.46: Senaryo A-3'te kirişlerin maksimum kesme kuvvetleri (kN).



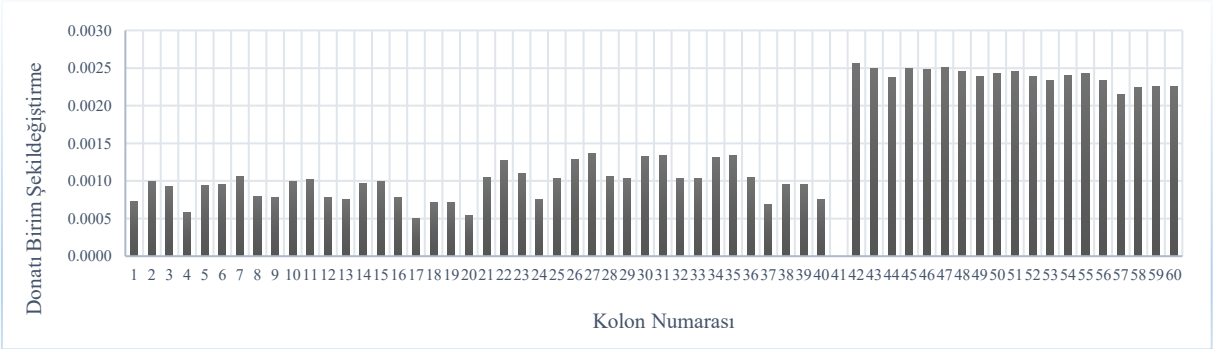
Şekil 4.47: Senaryo A-3'te kirişlerin maksimum eğilme momentleri (kN.m).



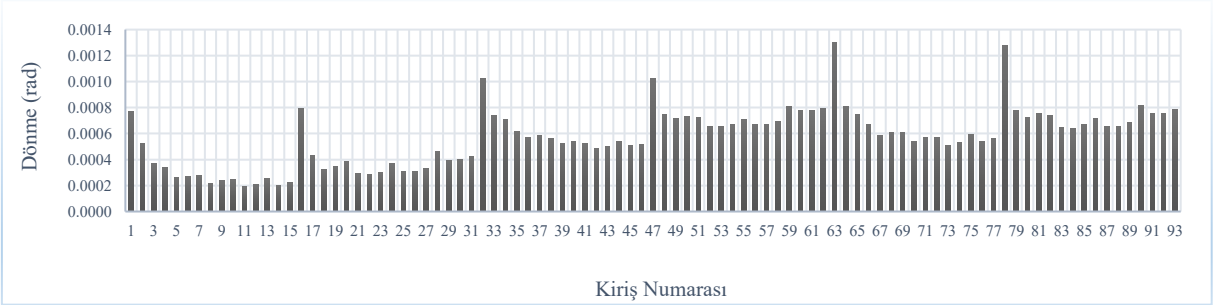
Şekil 4.48: Senaryo A-3'te kirişlerin maksimum burulma momentleri (kN.m).



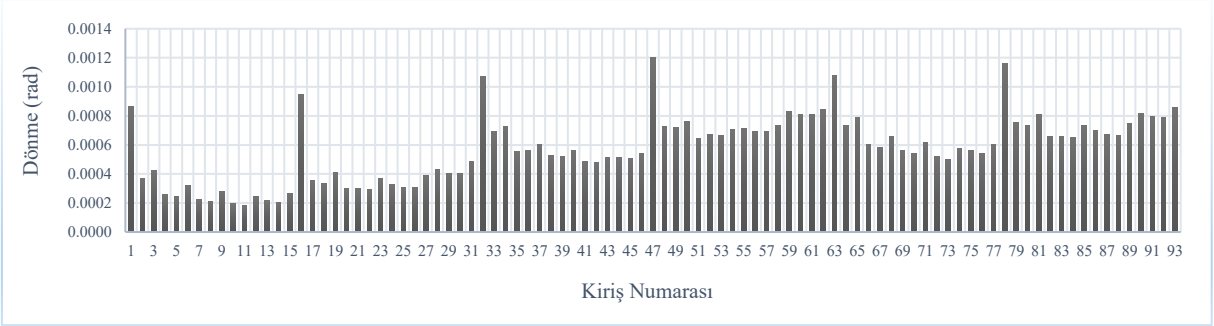
Şekil 4.49: Senaryo A-3'te kolon kesitlerinin betonunda maksimum birim şekildeğiştirme değerleri.



Şekil 4.50: Senaryo A-3'te kolon kesitlerinin donatısında maksimum birim şekildeğiştirme değerleri.



Şekil 4.51: Senaryo A-3'te kiriş kesitlerinin I ucunda maksimum dönme değerleri (rad).



Şekil 4.52: Senaryo A-3'te kiriş kesitlerinin J ucunda maksimum dönme değerleri (rad).

Tablo 4.14: Senaryo A-3'te kirişlerin hasar bölgeleri.

Kat	Kiriş sayısı					
	Sınırlı hasar	Belirgin hasar	İleri hasar	Göçme	Gevrek kırılma	Toplam
3	0	31	0	0	0	31
2	0	31	0	0	0	31
1	0	31	0	0	0	31

Tablo 4.15: Senaryo A-3'te kolonların hasar bölgeleri.

Kat	Kolon sayısı					
	Sınırlı hasar	Belirgin hasar	İleri hasar	Göçme	Gevrek kırılma	Toplam
3	20	0	0	0	0	20
2	20	0	0	0	0	20
1	1	18	0	1	0	20

Tablo 4.16: Senaryo A-3'te yan kolonların iç kuvvetleri ve birim şekildeğiştirmelerinde değişimleri.

Kolon No		P (kN)	M2 (kN.m)	M3 (kN.m)	V2 (kN)	V3 (kN)	T (kN.m)	ε_c	ε_s
42	Kontrol modeli	832	1726	2123	599	734	0.053	0.0024691	0.0021481
	Senaryo A-3	3159	2023	2087	680	907	30.7928	0.0029169	0.0025580
	Değişim (%)	280	17	-2	14	24	58000	18	19
45	Kontrol modeli	1166	1597	2274	720	608	0.053	0.0024924	0.0021713
	Senaryo A-3	2644	1765	2335	760	709	30.7928	0.0028464	0.0024989
	Değişim (%)	127	11	3	6	17	58000	14	15

Tablo 4.17: Senaryo A-3'te yan kirişlerin iç kuvvetleri ve dönme değişimleri.

Kiriş No		V2 (kN)	T (kN.m)	M3 (kN.m)	Dönme; I (rad)	Dönme; J (rad)
63	Kontrol modeli	438	74	523	0.0007076	0.0006616
	Senaryo A-3	558	102	798	0.0013014	0.0010813
	Değişim (%)	27	38	53	84	63
78	Kontrol modeli	344	94	506	0.0008241	0.0008137
	Senaryo A-3	396	124	685	0.0012781	0.0011639
	Değişim (%)	15	32	35	55	43

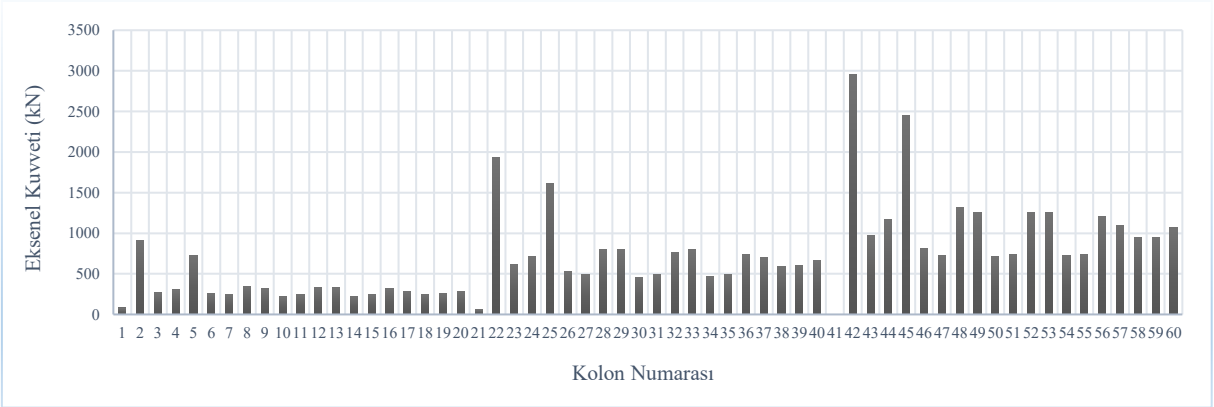
4.1.5. Senaryo A-4 Analiz Sonuçları

İlk katta yer alan tek bir köşe kolon kaybı ve kirişlerin boyuna donatısını 4Ø14 dan 4Ø16'ya çıkaran senaryosu için kolon kaybı **Tablo 4.18**'de gelen iç kuvvetler ve kütle ile simüle edilmiştir. Söz konusu kolonun ortadan kalkma süresi 0.05 saniye olarak ayarlanmıştır.

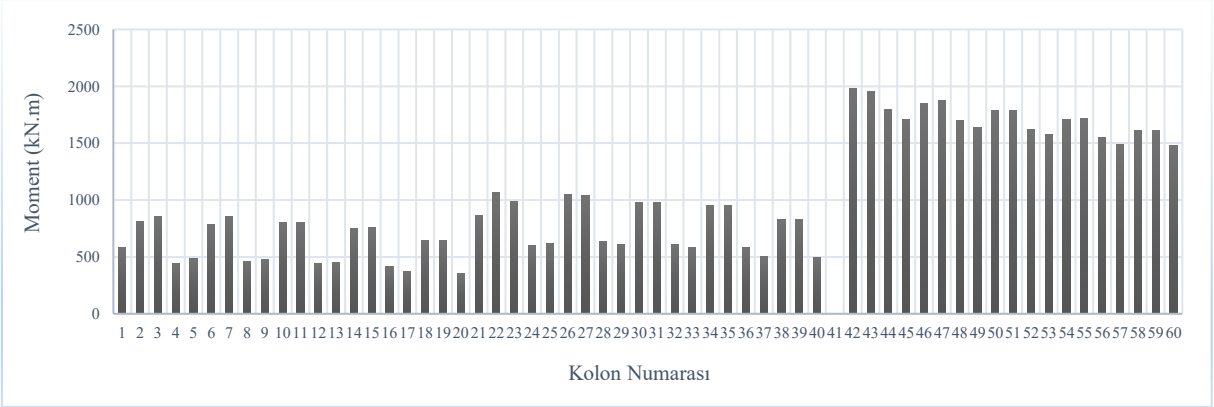
Tablo 4.18: Senaryo A-4'te kolonun sayısal simülasyonu.

P (kN)	M_x (kN.m)	M_y (kN.m)	V_x (kN)	V_y (kN)	Kütle (ton)
1083	1580	2105	589	592	5.65

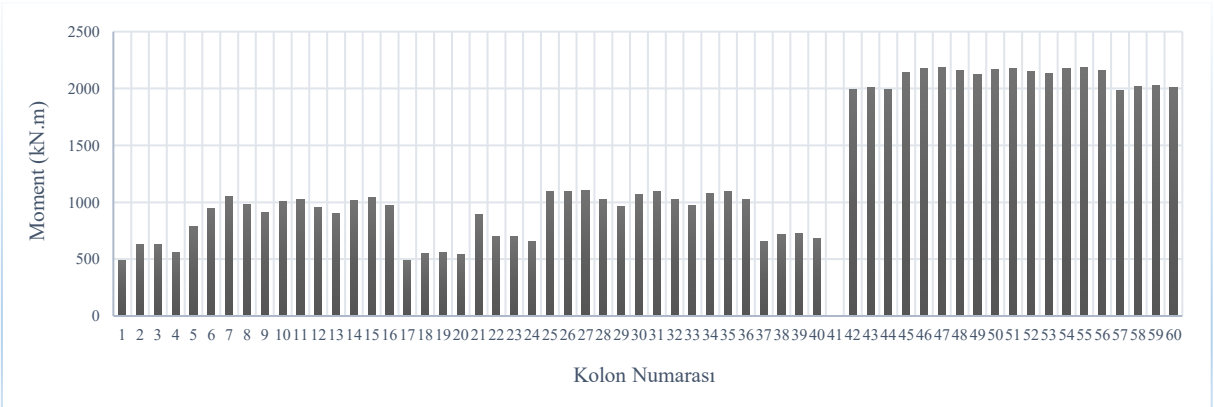
Senaryo A-4'e ait analiz sonuçları **Şekil 4.53** ila **Şekil 4.65**'te sunulmuştur. Söz konusu şekillerde senaryo A-4 kapsamında kaldırılmış olan kolon 41 numarayla gösterilmiştir. Elemanların hasar düzeyleri ise **Tablo 4.19** ve **Tablo 4.20**'de açıklanmıştır. Ayrıca kolon kaldırma senaryosunda kaldırılmış olan kolonun komşu elemanlarının iç küvetleri, birim şekildeğiştirmeleri ve dönmelerinde gerçekleşen değişimler **Tablo 4.21** ve **Tablo 4.22** kapsamında sırasıyla yan kolonlar ve yan kirişler için sunulmuştur.



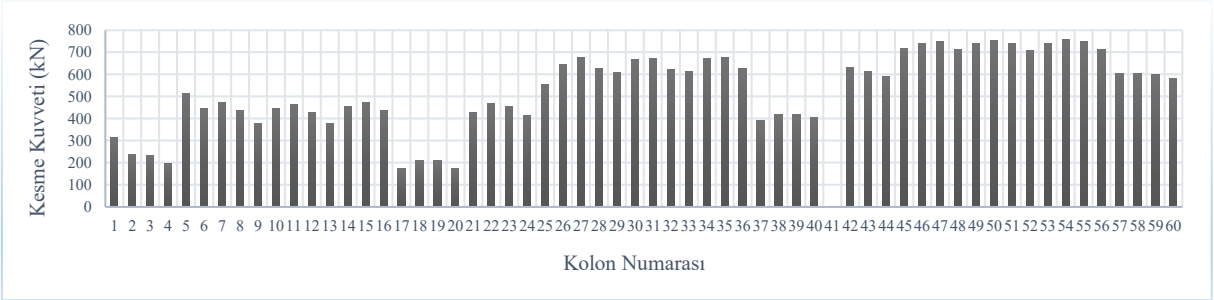
Şekil 4.53: Senaryo A-4'te kolonların maksimum eksenel kuvvetleri (kN).



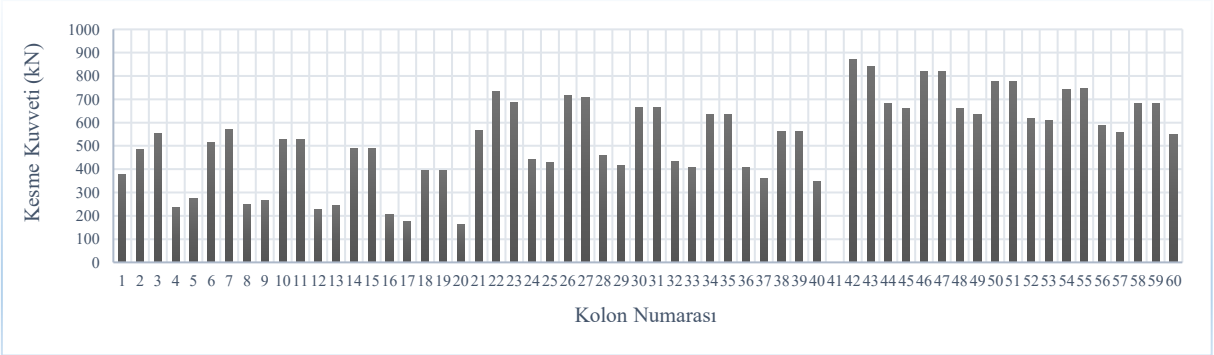
Şekil 4.54: Senaryo A-4'te kolonların X yönünde maksimum momentleri (kN.m).



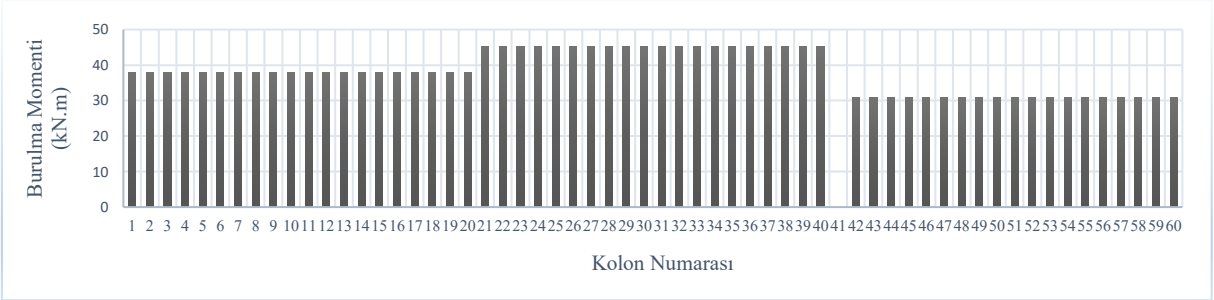
Şekil 4.55: Senaryo A-4'te kolonların Y yönünde maksimum momentleri (kN.m).



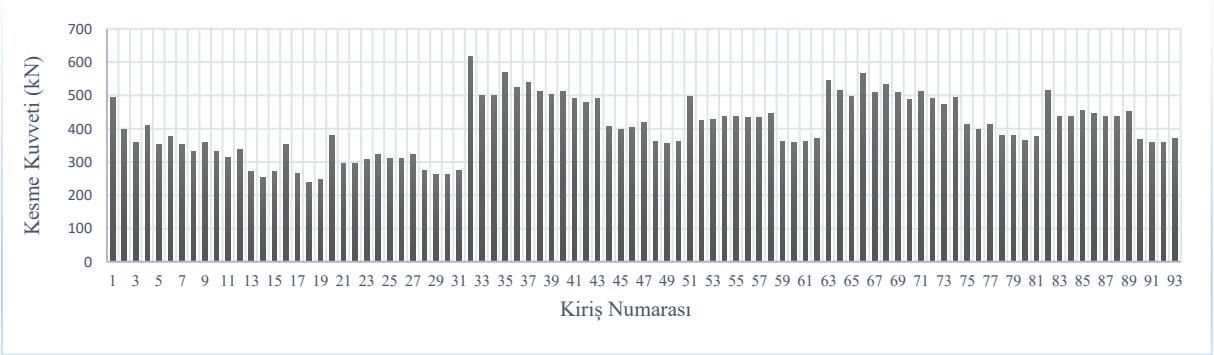
Şekil 4.56: Senaryo A-4'te kolonların X yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).



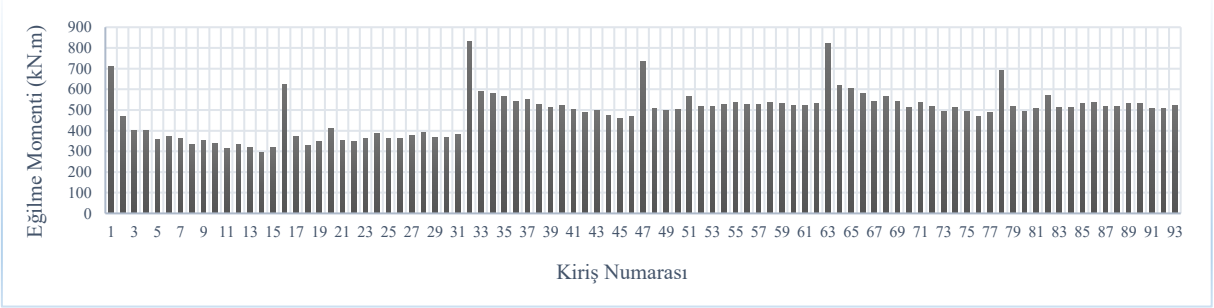
Şekil 4.57: Senaryo A-4'te kolonların Y yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).



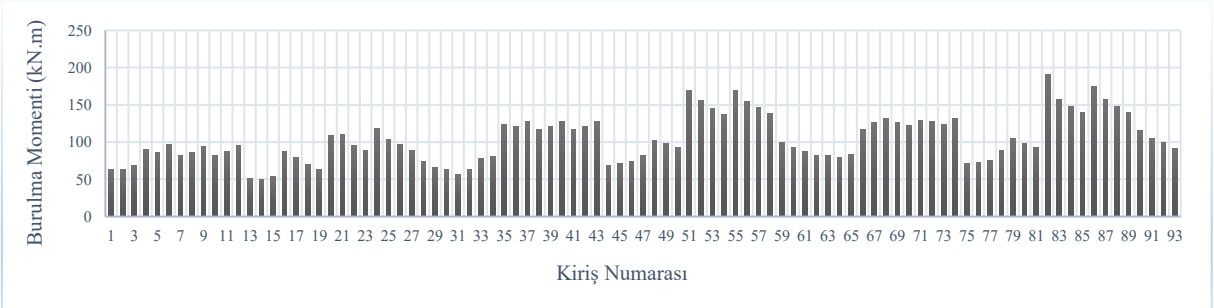
Şekil 4.58: Senaryo A-4'te kolonların maksimum burulma momentleri (kN.m).



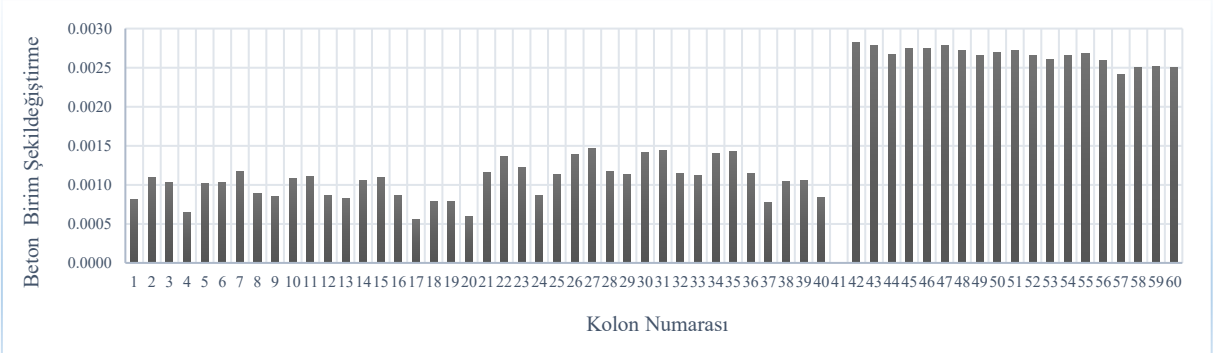
Şekil 4.59: Senaryo A-4'te kirişlerin maksimum kesme kuvvetleri (kN).



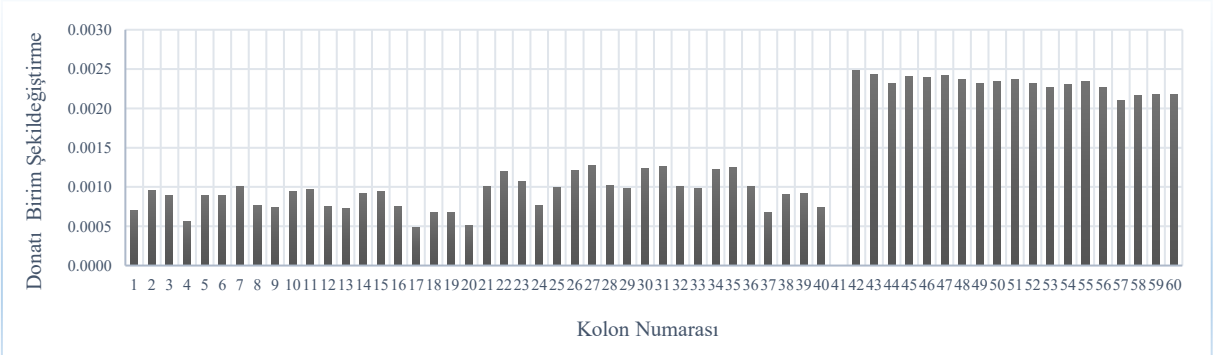
Şekil 4.60: Senaryo A-4'te kirişlerin maksimum eğilme momentleri (kN.m).



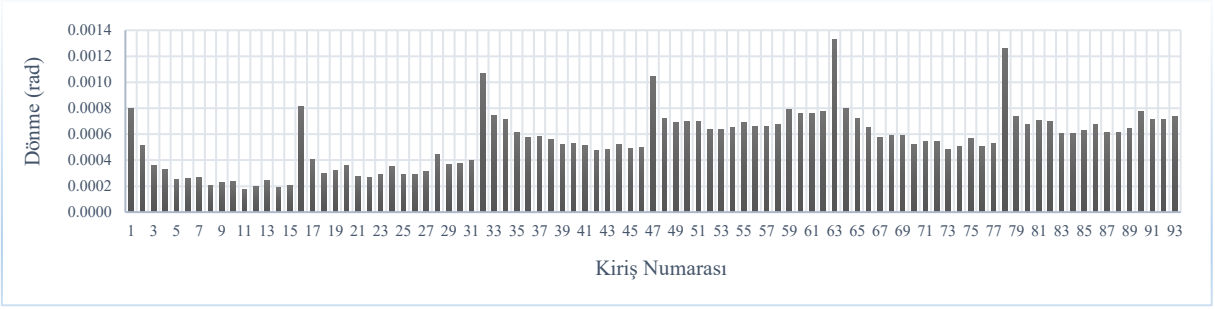
Şekil 4.61: Senaryo A-4'te kirişlerin maksimum burulma momentleri (kN.m).



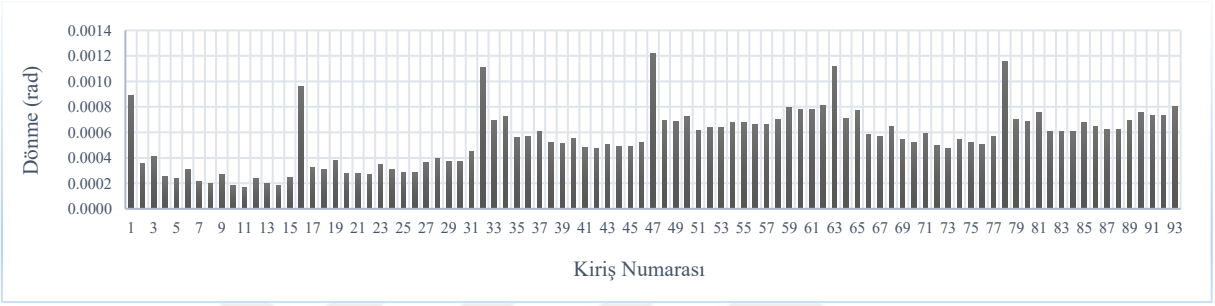
Şekil 4.62: Senaryo A-4'te kolon kesitlerinin betonunda maksimum birim şekildeğiştirme değerleri.



Şekil 4.63: Senaryo A-4'te kolon kesitlerinin donatısında maksimum birim şekildeğiştirme değerleri.



Şekil 4.64: Senaryo A-4'te kiriş kesitlerinin I ucunda maksimum dönme değerleri (rad).



Şekil 4.65: Senaryo A-4'te kiriş kesitlerinin J ucunda maksimum dönme değerleri (rad).

Tablo 4.19: Senaryo A-4'te kirişlerin hasar bölgeleri.

Kat	Kiriş sayısı					
	Sınırlı hasar	Belirgin hasar	İleri hasar	Göçme	Gevrek kırılma	Toplam
3	0	31	0	0	0	31
2	0	31	0	0	0	31
1	0	31	0	0	0	31

Tablo 4.20: Senaryo A-4'te kolonların hasar bölgeleri.

Kat	Kolon sayısı					
	Sınırlı hasar	Belirgin hasar	İleri hasar	Göçme	Gevrek kırılma	Toplam
3	20	0	0	0	0	20
2	20	0	0	0	0	20
1	2	17	0	1	0	20

Tablo 4.21: Senaryo A-4'te yan kolonların iç kuvvetleri ve birim şekildeğiştirmelerinde değişimleri.

Kolon No		P (kN)	M2 (kN.m)	M3 (kN.m)	V2 (kN)	V3 (kN)	T (kN.m)	ε_c	ε_s
42	Kontrol modeli	832	1726	2123	599	734	0.053	0.0024691	0.0021481
	Senaryo A-4	2951	1984	1994	633	870	30.7738	0.0028264	0.0024773
	Değişim (%)	255	15	-6	6	19	57964	16	15
45	Kontrol modeli	1166	1597	2274	720	608	0.053	0.0024924	0.0021713
	Senaryo A-4	2452	1709	2141	719	662	30.7738	0.0027413	0.0024033
	Değişim (%)	110	7	-6	-0.14	9	57964	10	11

Tablo 4.22: Senaryo A-4'te yan kirişlerin iç kuvvetleri ve dönme değişimleri.

Kiriş No		V2 (kN)	T (kN.m)	M3 (kN.m)	Dönme; I (rad)	Dönme; J (rad)
63	Kontrol modeli	438	74	523	0.0007076	0.0006616
	Senaryo A-4	544	82	819	0.0013274	0.0011191
	Değişim (%)	24	11	57	88	69
78	Kontrol modeli	344	94	506	0.0008241	0.0008137
	Senaryo A-4	378	88	692	0.0012566	0.0011579
	Değişim (%)	10	-6	37	53	42

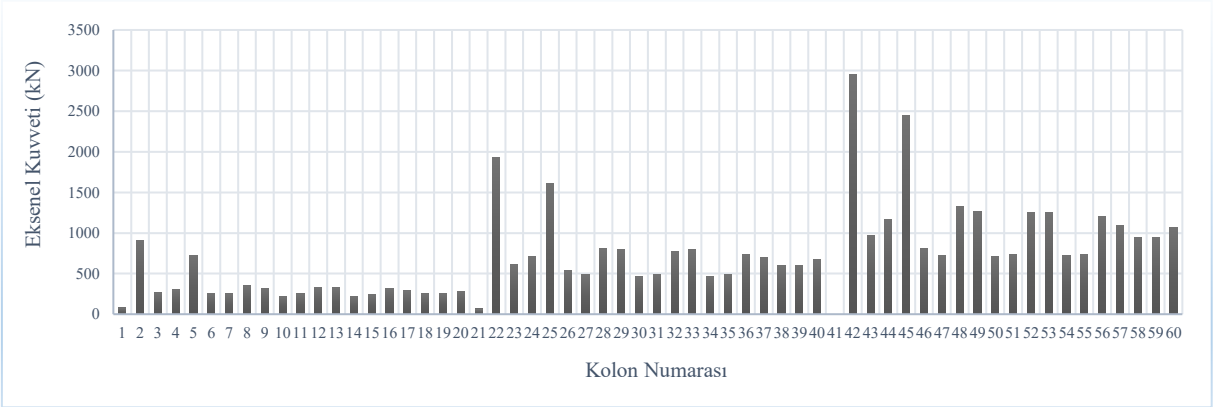
4.1.6. Senaryo A-5 Analiz Sonuçları

İlk katta yer alan tek bir köşe kolon kaybı ve kirişlerin boyuna donatısını 4Ø14 dan 4Ø18'e çıkaran senaryosu için kolon kaybı **Tablo 4.23**'te gelen iç kuvvetler ve kütle ile simüle edilmiştir. Söz konusu kolonun ortadan kalkma süresi 0.05 saniye olarak ayarlanmıştır.

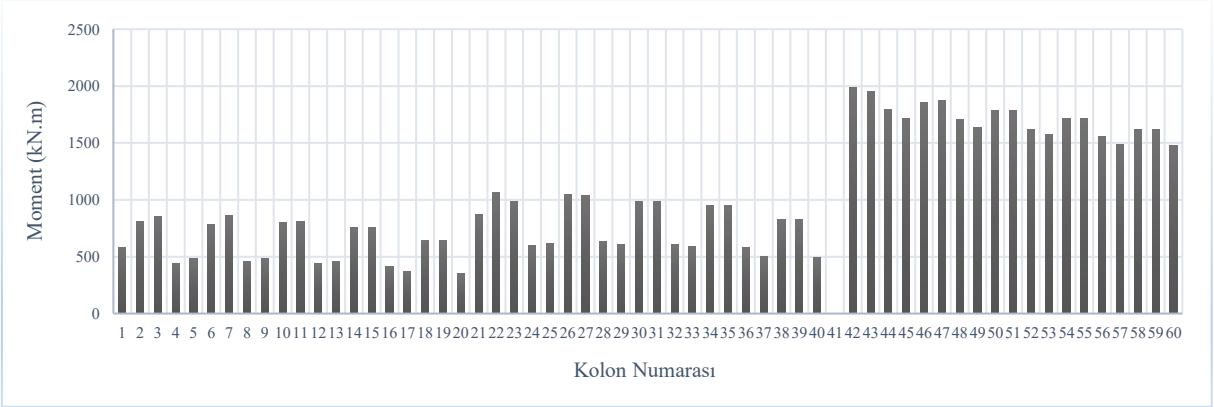
Tablo 4.23: Senaryo A-5'te kolonun sayısal simülasyonu.

P (kN)	M_x (kN.m)	M_y (kN.m)	V_x (kN)	V_y (kN)	Kütle (ton)
1084	1580	2104	590	592	5.65

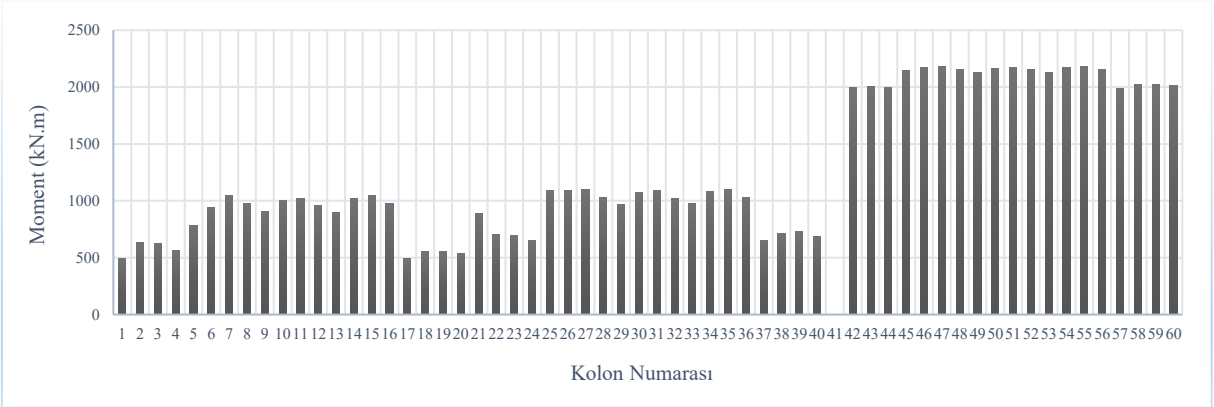
Senaryo A-5'e ait analiz sonuçları **Şekil 4.66** ila **Şekil 4.78**'de sunulmuştur. Söz konusu şekillerde senaryo A-5 kapsamında kaldırılmış olan kolon 41 numarayla gösterilmiştir. Elemanların hasar düzeyleri ise **Tablo 4.24** ve **Tablo 4.25**'te açıklanmıştır. Ayrıca kolon kaldırma senaryosunda kaldırılmış olan kolonun komşu elemanlarının iç küvetleri, birim şekildeğiştirmeleri ve dönmelerinde gerçekleşen değişimler **Tablo 4.26** ve **Tablo 4.27** kapsamında sırasıyla yan kolonlar ve yan kirişler için sunulmuştur.



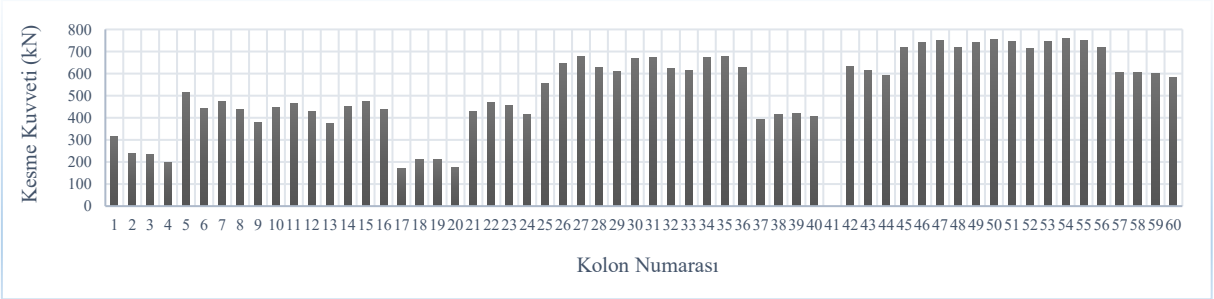
Şekil 4.66: Senaryo A-5'te kolonların maksimum eksenel kuvvetleri (kN).



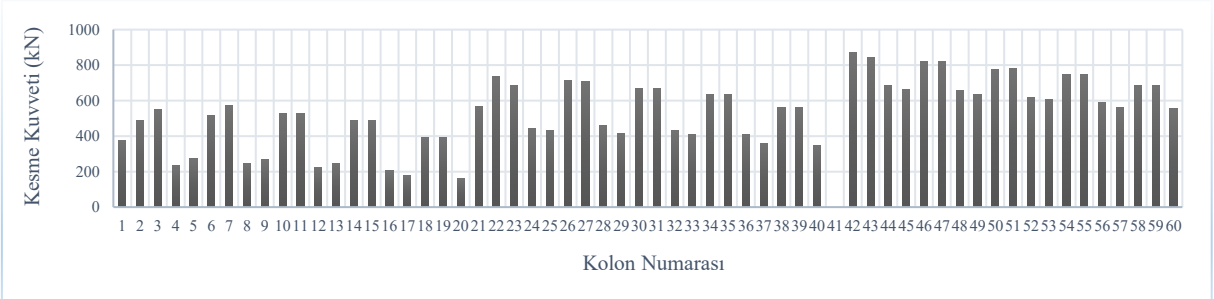
Şekil 4.67: Senaryo A-5'te kolonların X yönünde maksimum momentleri (kN.m).



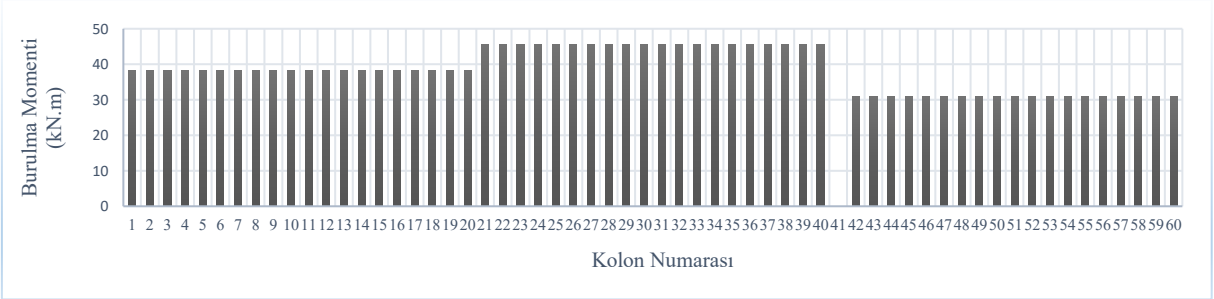
Şekil 4.68: Senaryo A-5'te kolonların Y yönünde maksimum momentleri (kN.m).



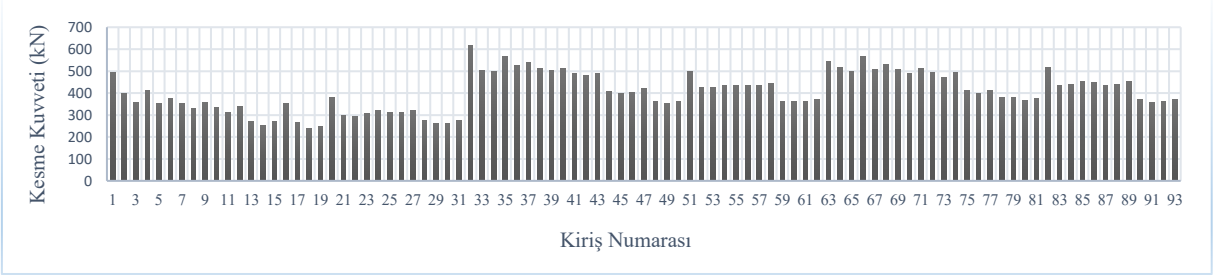
Şekil 4.69: Senaryo A-5'te kolonların X yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).



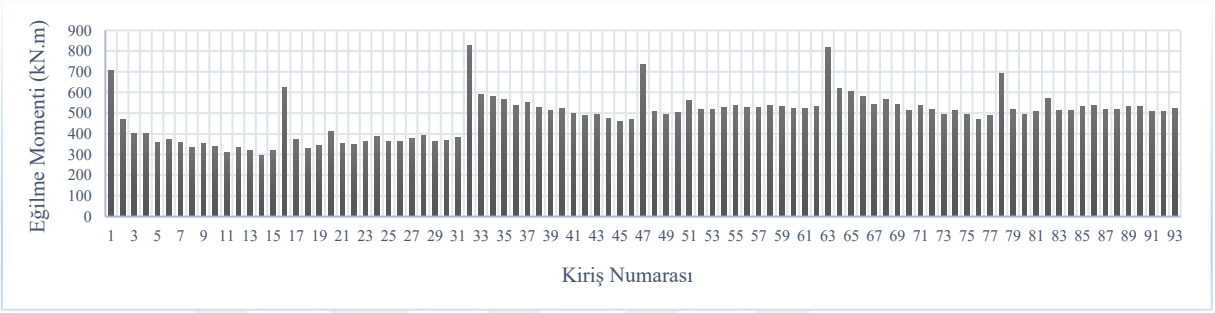
Şekil 4.70: Senaryo A-5'te kolonların Y yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).



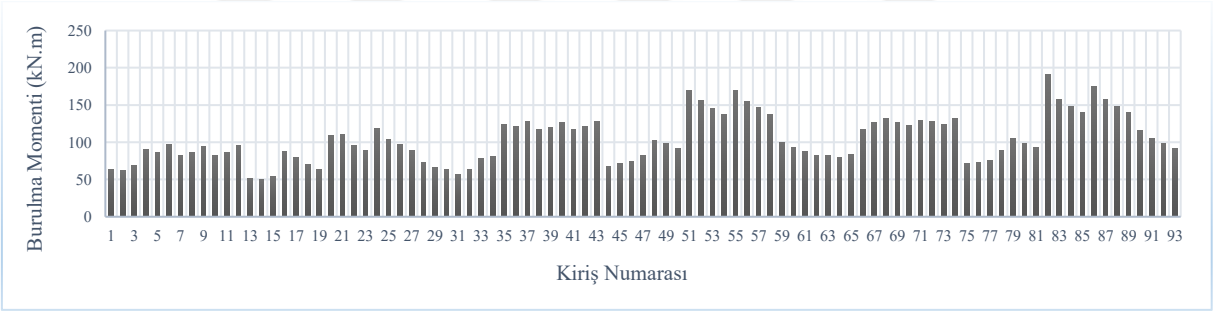
Şekil 4.71: Senaryo A-5'te kolonların maksimum burulma momentleri (kN.m).



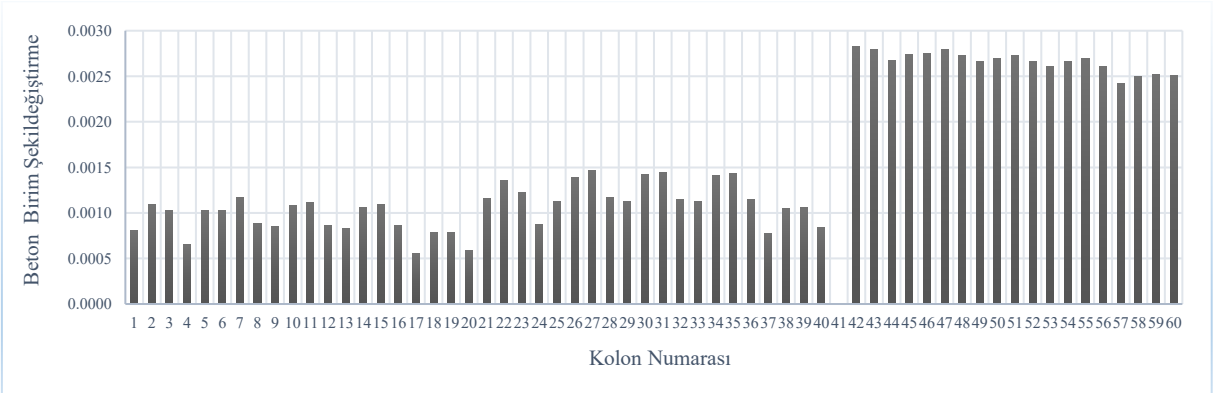
Şekil 4.72: Senaryo A-5'te kirişlerin maksimum kesme kuvvetleri (kN).



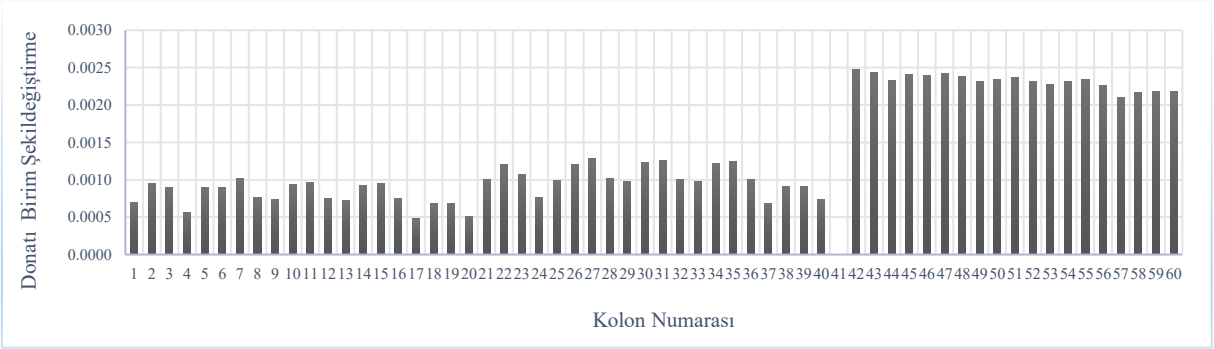
Şekil 4.73: Senaryo A-5'te kirişlerin maksimum eğilme momentleri (kN.m).



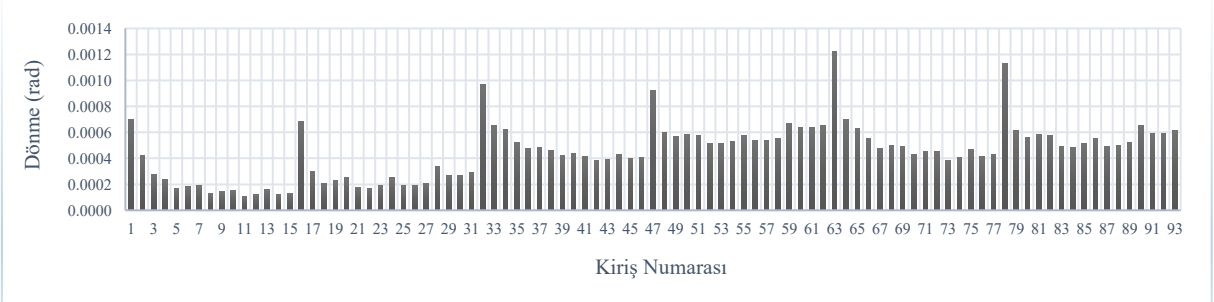
Şekil 4.74: Senaryo A-5'te kirişlerin maksimum burulma momentleri (kN.m).



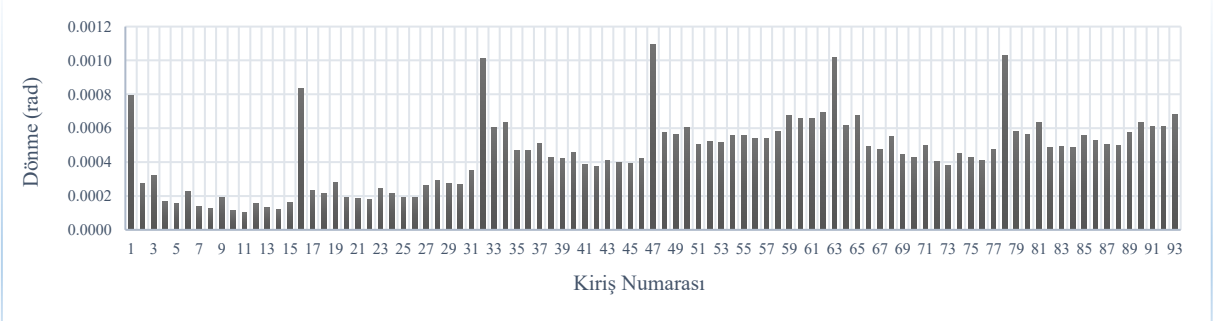
Şekil 4.75: Senaryo A-5'te kolon kesitlerinin betonunda maksimum birim şekildeğiştirme değerleri.



Şekil 4.76: Senaryo A-5'te kolon kesitlerinin donatısında maksimum birim şekildeğiştirme değerleri.



Şekil 4.77: Senaryo A-5'te kiriş kesitlerinin I ucunda maksimum dönme değerleri (rad).



Şekil 4.78: Senaryo A-5'te kiriş kesitlerinin J ucunda maksimum dönme değerleri (rad).

Tablo 4.24: Senaryo A-5'te kirişlerin hasar bölgeleri.

Kat	Kiriş sayısı					
	Sınırlı hasar	Belirgin hasar	İleri hasar	Göçme	Gevrek kırılma	Toplam
3	0	31	0	0	0	31
2	0	31	0	0	0	31
1	0	31	0	0	0	31

Tablo 4.25: Senaryo A-5'te kolonların hasar bölgeleri.

Kat	Kolon sayısı					
	Sınırlı hasar	Belirgin hasar	İleri hasar	Göçme	Gevrek kırılma	Toplam
3	20	0	0	0	0	20
2	20	0	0	0	0	20
1	1	18	0	1	0	20

Tablo 4.26: Senaryo A-5'te yan kolonların iç kuvvetleri ve birim şekildeğiştirmelerinde değişimleri.

Kolon No		P (kN)	M2 (kN.m)	M3 (kN.m)	V2 (kN)	V3 (kN)	T (kN.m)	ε_c	ε_s
42	Kontrol modeli	832	1726	2123	599	734	0.053	0.0024691	0.0021481
	Senaryo A-5	2950	1986	1995	634	871	30.9342	0.0028280	0.0024787
	Değişim (%)	255	15	-6	6	19	58266	15	15
45	Kontrol modeli	1166	1597	2274	720	608	0.053	0.0024924	0.0021713
	Senaryo A-5	2452	1711	2142	720	663	30.9342	0.0027444	0.0024059
	Değişim (%)	110	7	-6	0	9	58266	11	11

Tablo 4.27: Senaryo A-5'te yan kirişlerin iç kuvvetleri ve dönme değişimleri.

Kiriş No		V2 (kN)	T (kN.m)	M3 (kN.m)	Dönme; I (rad)	Dönme; J (rad)
63	Kontrol modeli	438	74	523	0.0007076	0.0006616
	Senaryo A-5	544	82	819	0.0012251	0.0010160
	Değişim (%)	24	11	57	73	54
78	Kontrol modeli	344	94	506	0.0008241	0.0008137

Tablo 4.27 (devam): Senaryo A-5'te yan kirişlerin iç kuvvetleri ve dönme değişimleri.

Senaryo A-5	378	88	692	0.0011297	0.0010289
Değişim (%)	10	-6	37	37	27

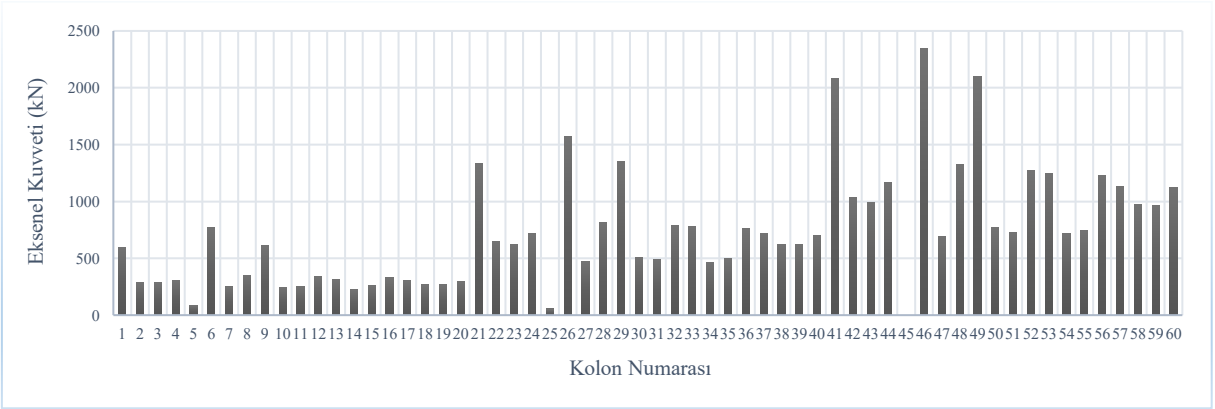
4.1.7. Senaryo A-6 Analiz Sonuçları

İlk katta yer alan tek bir kenar orta kolon kaybı senaryosu için kolon kaybı **Tablo 4.28**'de gelen iç kuvvetler ve kütle ile simüle edilmiştir. Söz konusu kolonun ortadan kalkma süresi 0.05 saniye olarak ayarlanmıştır.

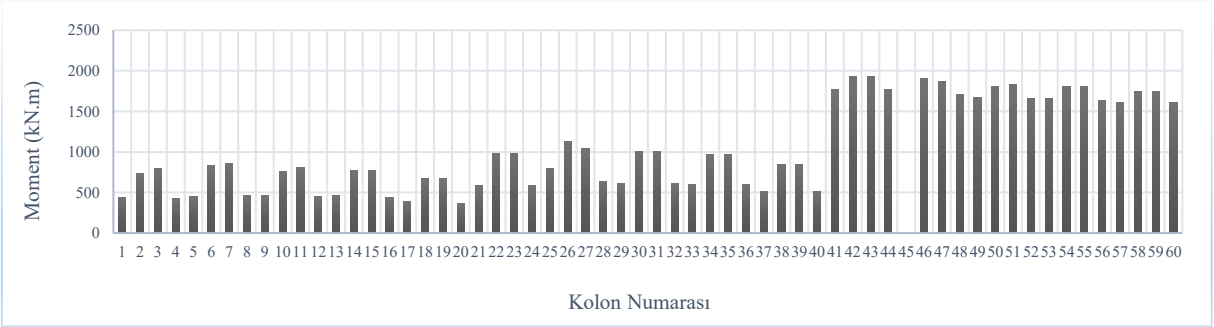
Tablo 4.28: Senaryo A-6'da kolonun sayısal simülasyonu.

P (kN)	M_x (kN.m)	M_y (kN.m)	V_x (kN)	V_y (kN)	Kütle (ton)
1166	1597	2274	720	608	8.59

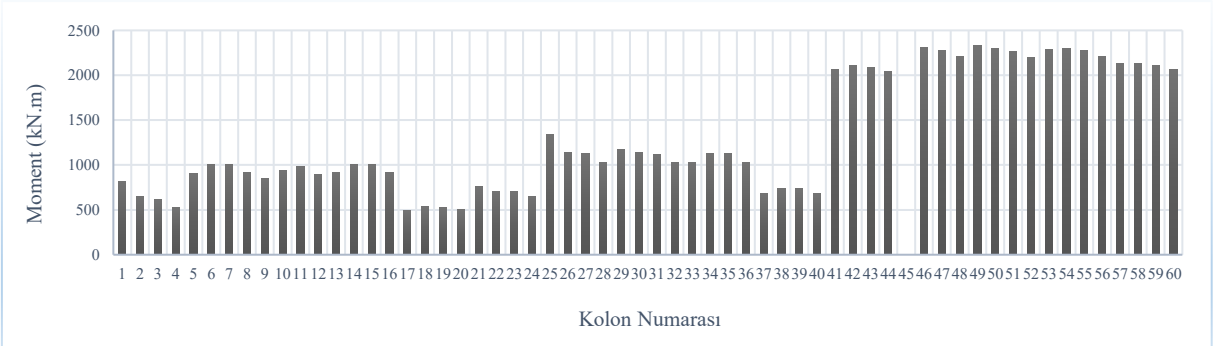
Senaryo A-6'ye ait analiz sonuçları **Şekil 4.79** ila **Şekil 4.91**'de sunulmuştur. Söz konusu şekillerde senaryo A-6 kapsamında kaldırılmış olan kolon 45 numarayla gösterilmiştir. Elemanların hasar düzeyleri ise **Tablo 4.29** ve **Tablo 4.30**'da açıklanmıştır. Ayrıca kolon kaldırma senaryosunda kaldırılmış olan kolonun komşu elemanlarının iç küvetleri, birim şekildeğiştirmeleri ve dönmelerinde gerçekleşen değişimler **Tablo 4.31** ve **Tablo 4.32** kapsamında sırasıyla yan kolonlar ve yan kirişler için sunulmuştur.



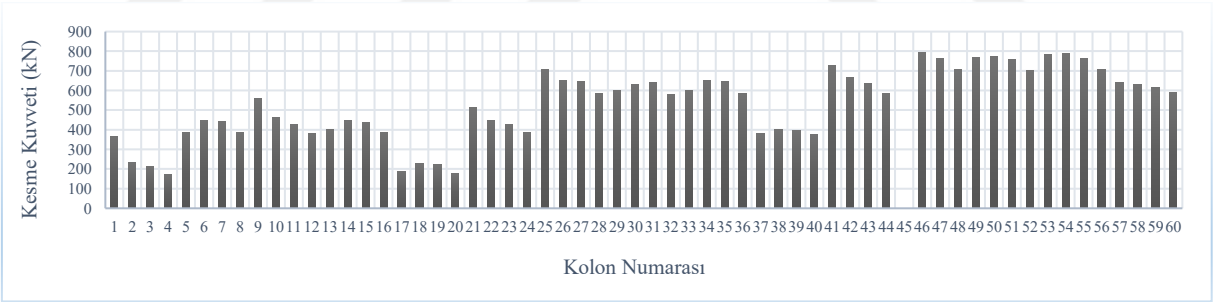
Şekil 4.79: Senaryo A-6'da kolonların maksimum eksenel kuvvetleri (kN).



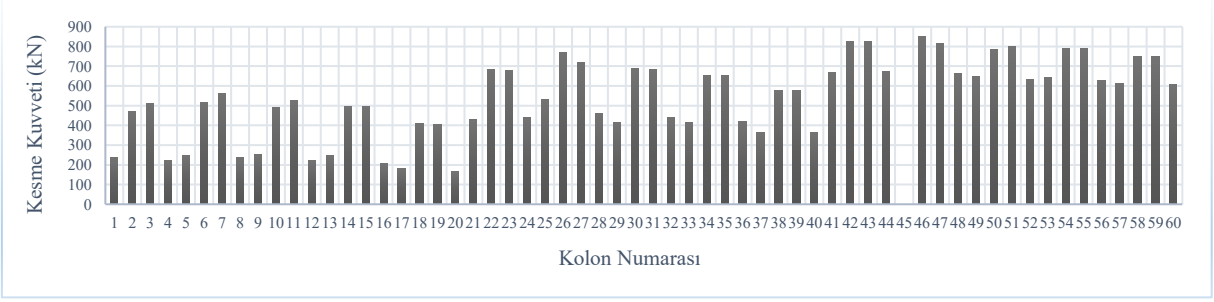
Şekil 4.80: Senaryo A-6'da kolonların X yönünde maksimum momentleri (kN.m).



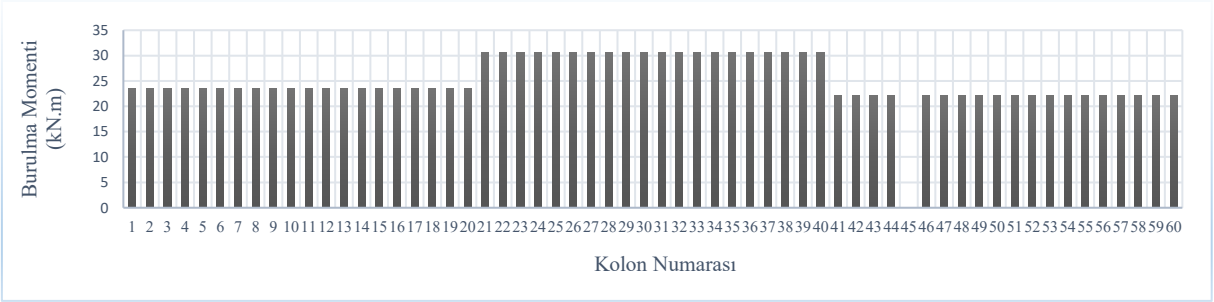
Şekil 4.81: Senaryo A-6'da kolonların Y yönünde maksimum momentleri (kN.m).



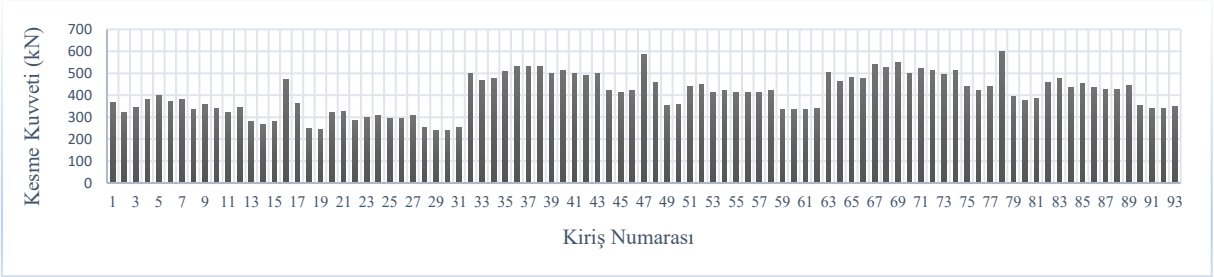
Şekil 4.82: Senaryo A-6'da kolonların X yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).



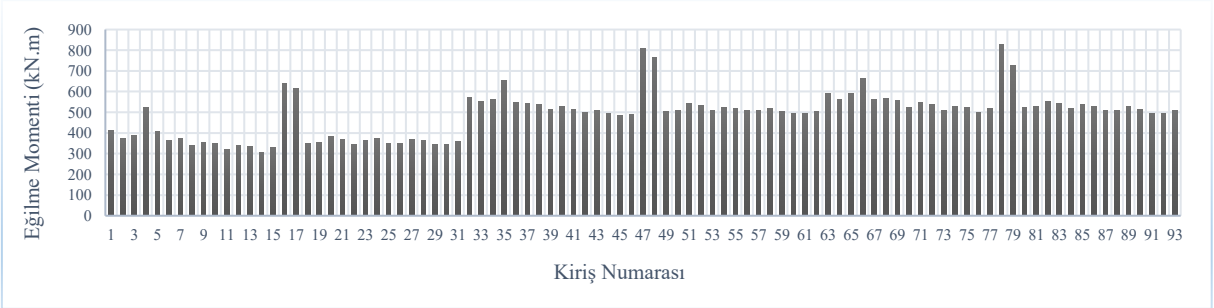
Şekil 4.83: Senaryo A-6'da kolonların Y yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).



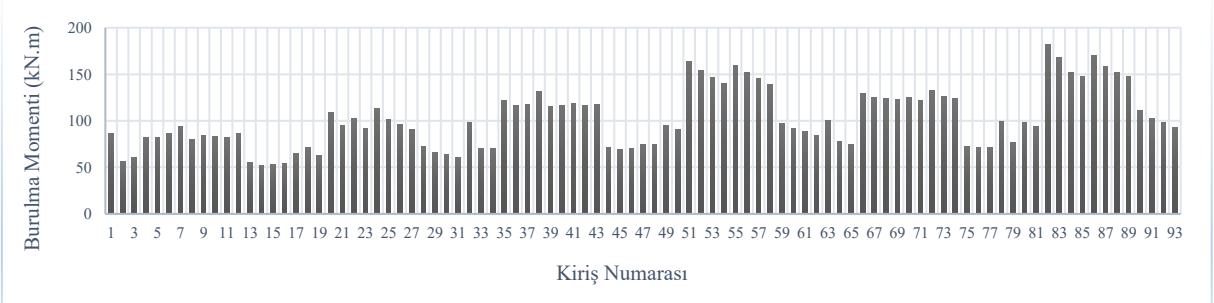
Şekil 4.84: Senaryo A-6'da kolonların maksimum burulma momentleri (kN.m).



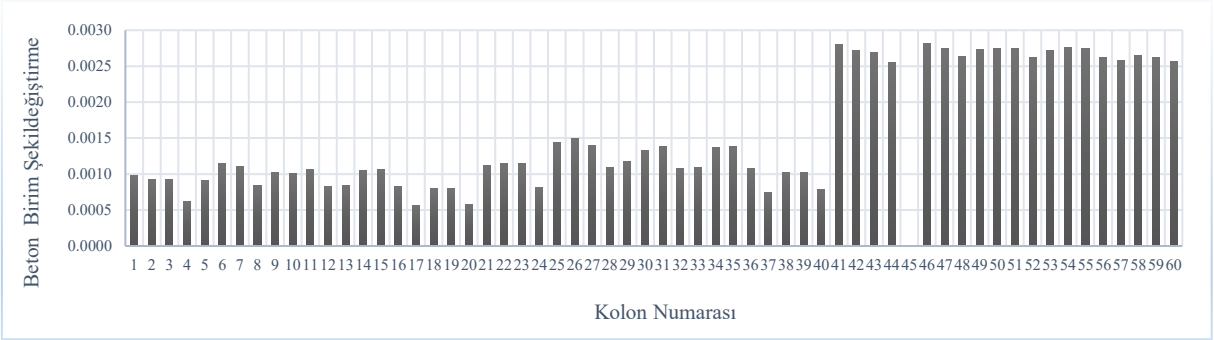
Şekil 4.85: Senaryo A-6'da kirişlerin maksimum kesme kuvvetleri (kN).



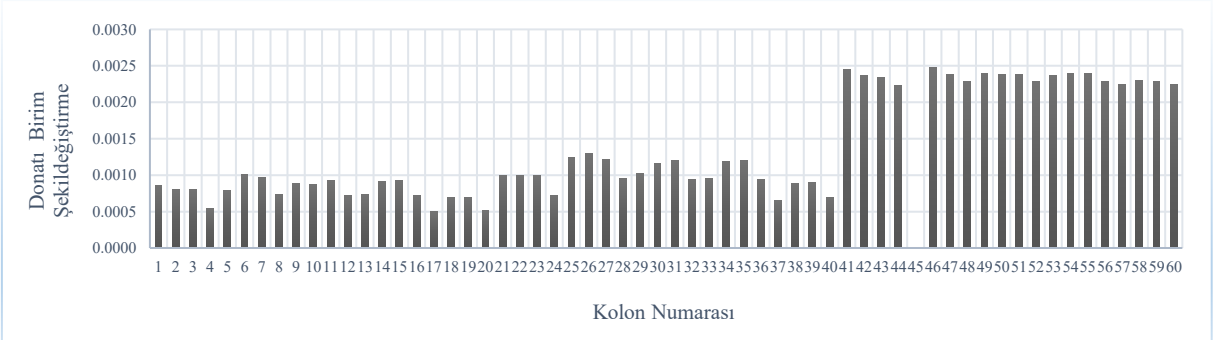
Şekil 4.86: Senaryo A-6'da kirişlerin maksimum eğilme momentleri (kN.m).



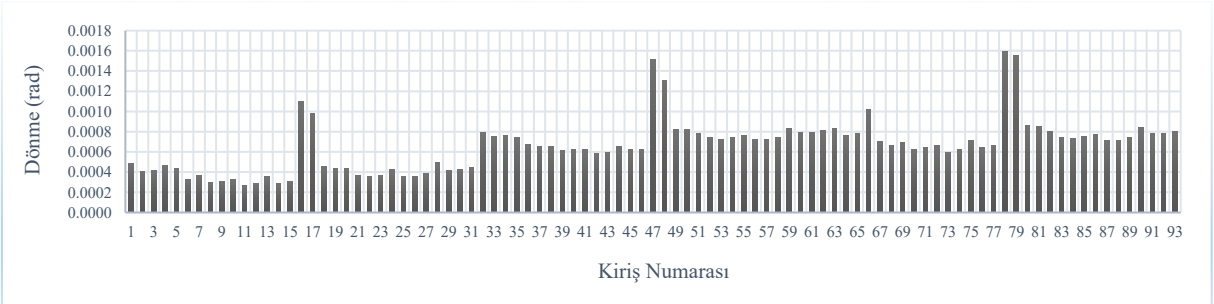
Şekil 4.87: Senaryo A-6'da kirişlerin maksimum burulma momentleri (kN.m).



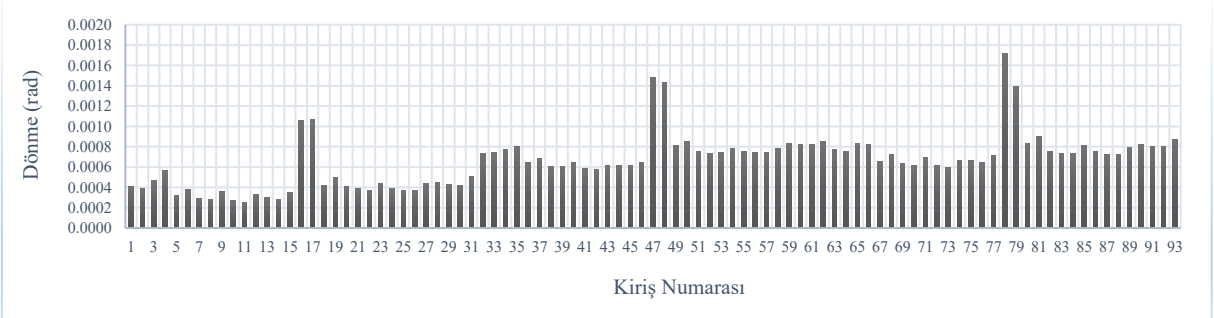
Şekil 4.88: Senaryo A-6'da kolon kesitlerinin betonunda maksimum birim şekildeğiştirme değerleri.



Şekil 4.89: Senaryo A-6'da kolon kesitlerinin donatısında maksimum birim şekildeğiştirme değerleri.



Şekil 4.90: Senaryo A-6'da kiriş kesitlerinin I ucunda maksimum dönme değerleri (rad).



Şekil 4.91: Senaryo A-6'da kiriş kesitlerinin J ucunda maksimum dönme değerleri (rad).

Tablo 4.29: Senaryo A-6'da kirişlerin hasar bölgeleri.

Kat	Kiriş sayısı					
	Sınırlı hasar	Belirgin hasar	İleri hasar	Göçme	Gevrek kırılma	Toplam
3	0	31	0	0	0	31
2	0	31	0	0	0	31
1	0	31	0	0	0	31

Tablo 4.30: Senaryo A-6'da kolonların hasar bölgeleri.

Kat	Kolon sayısı					
	Sınırlı hasar	Belirgin hasar	İleri hasar	Göçme	Gevrek kırılma	Toplam
3	20	0	0	0	0	20
2	20	0	0	0	0	20
1	0	19	0	1	0	20

Tablo 4.31: Senaryo A-6'de yan kolonların iç kuvvetleri ve birim şekildeğiştirmelerinde değişimleri.

Kolon No		P (kN)	M2 (kN.m)	M3 (kN.m)	V2 (kN)	V3 (kN)	T (kN.m)	ε_c	ε_s
41	Kontrol modeli	1083	1581	2109	589	592	0.053	0.0024206	0.0021106
	Senaryo A-6	2084	1767	2064	728	666	22.225	0.0028059	0.0024556
	Değişim (%)	92	12	-2	24	13	41834	16	16
46	Kontrol modeli	730	1765	2316	752	772	0.053	0.0025649	0.0022294
	Senaryo A-6	2346	1906	2307	796	852	22.225	0.0028224	0.0024704
	Değişim (%)	221	8	-0.4	6	10	41834	10	11
49	Kontrol modeli	1168	1598	2269	715	609	0.053	0.0024909	0.0021701

Tablo 4.31 (devam): Senaryo A-6'de yan kolonların iç kuvvetleri ve birim şekildeğiştirmelerinde değişimleri.

	Senaryo A-6	2096	1669	2330	769	647	22.225	0.0027389	0.0023977
	Değişim (%)	80	4	3	8	6	41834	10	11

Tablo 4.32: Senaryo A-6'de yan kirişlerin iç kuvvetleri ve dönme değişimleri.

Kiriş No		V2 (kN)	T (kN.m)	M3 (kN.m)	Dönme; I (rad)	Dönme; J (rad)
66	Kontrol modeli	504	121	526	0.0006339	0.0005967
	Senaryo A-6	478	129	665	0.0010193	0.0008264
	Değişim (%)	-5	7	26	61	39
78	Kontrol modeli	344	94	506	0.0008241	0.0008137
	Senaryo A-6	601	99	828	0.0015890	0.0017213
	Değişim (%)	75	5	64	93	112
79	Kontrol modeli	335	91	489	0.0007639	0.0007914
	Senaryo A-6	394	76	725	0.0015524	0.0013899
	Değişim (%)	18	-17	48	103	76

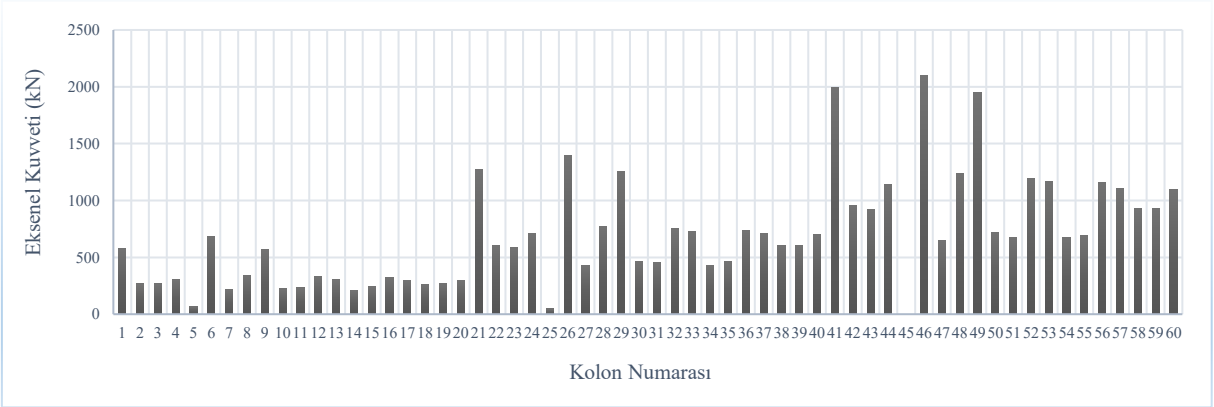
4.1.8. Senaryo A-7 Analiz Sonuçları

İlk katta yer alan tek bir kenar orta kolon kaybı ve döşeme kalınlığının 12 cm'ye düşürüldüğü senaryosu için kolon kaybı **Tablo 4.33**'te gelen iç kuvvetler ve kütle ile simüle edilmiştir. Söz konusu kolonun ortadan kalkma süresi 0.05 saniye olarak ayarlanmıştır.

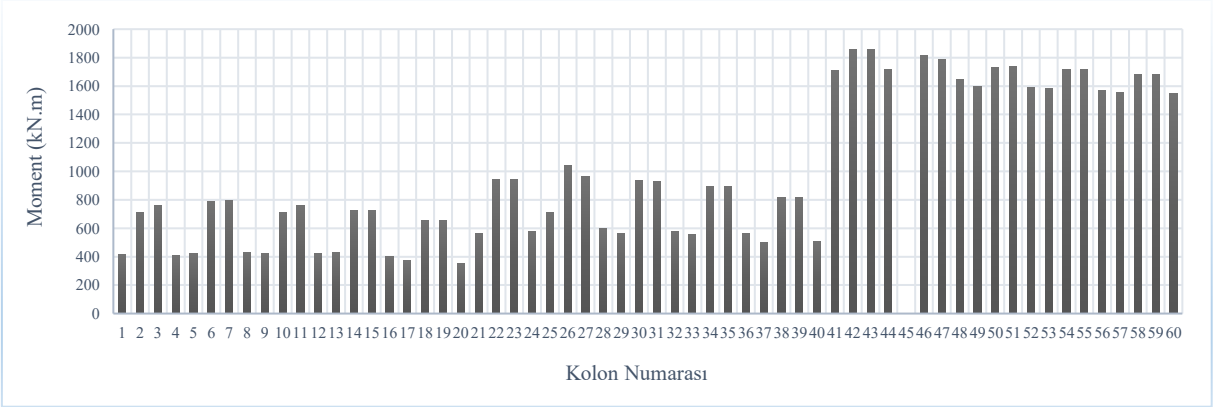
Tablo 4.33: Senaryo A-7'de kolonun sayısal simülasyonu.

P (kN)	M_x (kN.m)	M_y (kN.m)	V_x (kN)	V_y (kN)	Kütle (ton)
1057	1538	2186	675	567	7.82

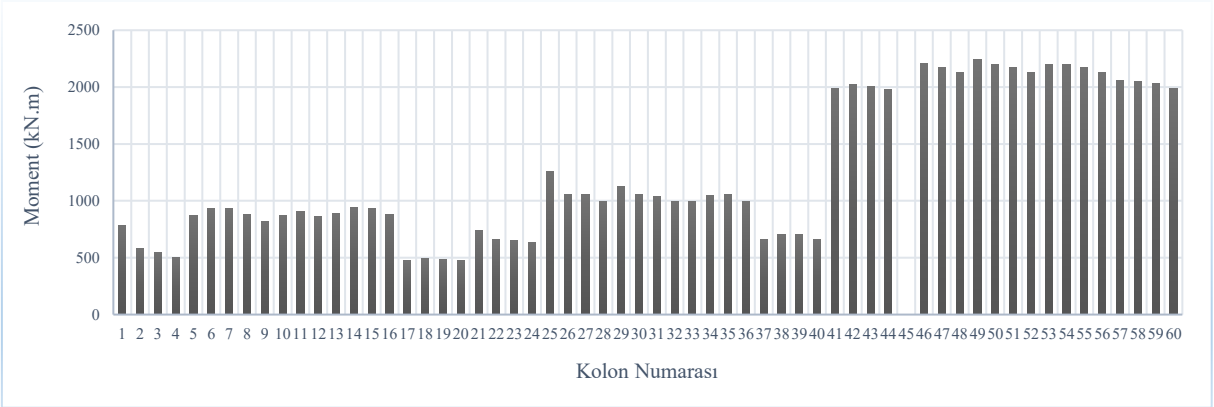
Senaryo A-7'e ait analiz sonuçları **Şekil 4.92** ila **Şekil 4.104**'te sunulmuştur. Söz konusu şekillerde senaryo A-7 kapsamında kaldırılmış olan kolon 45 numarayla gösterilmiştir. Elemanların hasar düzeyleri ise **Tablo 4.34** ve **Tablo 4.35**'te açıklanmıştır. Ayrıca kolon kaldırma senaryosunda kaldırılmış olan kolonun komşu elemanlarının iç küvetleri, birim şekildeğiştirmeleri ve dönmelerinde gerçekleşen değişimler **Tablo 4.36** ve **Tablo 4.37** kapsamında sırasıyla yan kolonlar ve yan kirişler için sunulmuştur.



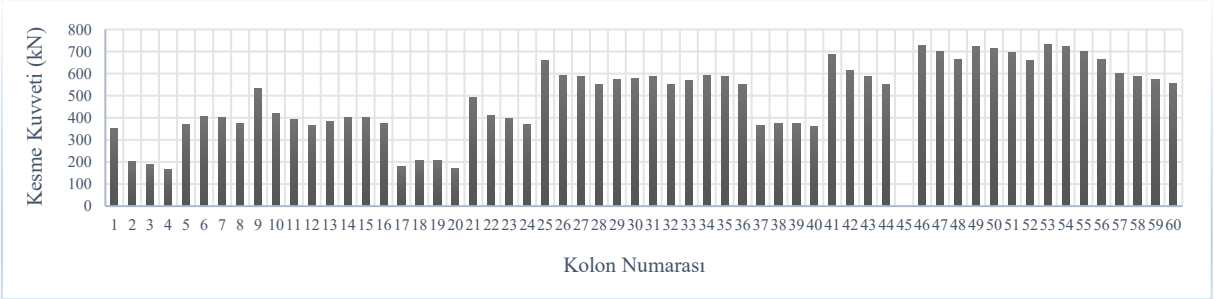
Şekil 4.92: Senaryo A-7'de kolonların maksimum eksenel kuvvetleri (kN).



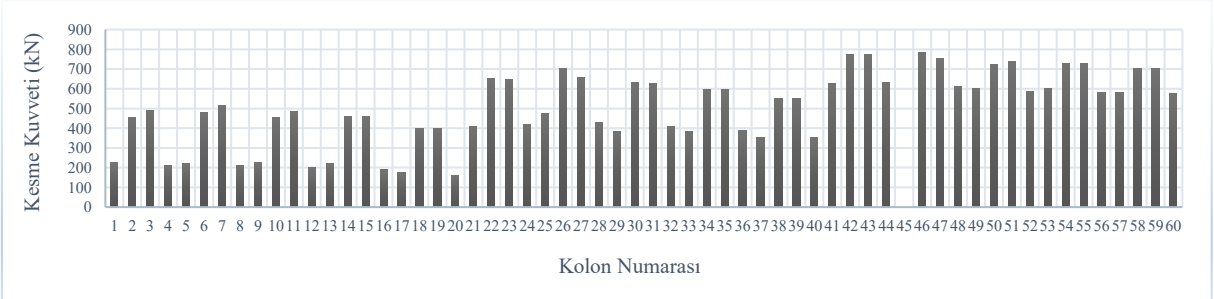
Şekil 4.93: Senaryo A-7'de kolonların X yönünde maksimum momentleri (kN.m).



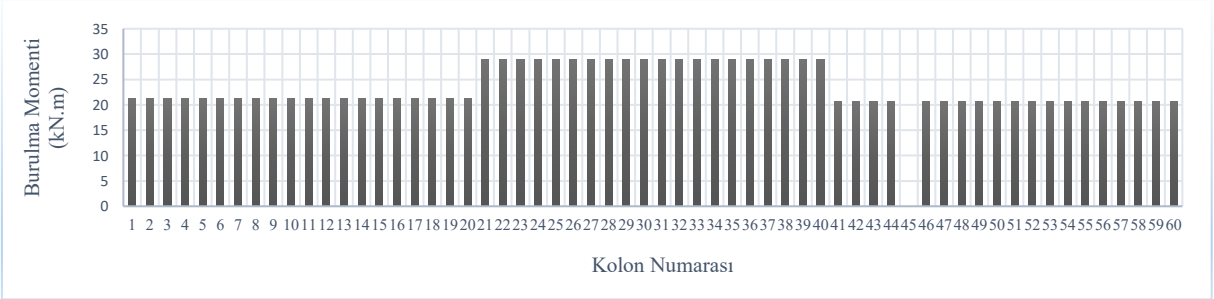
Şekil 4.94: Senaryo A-7'de kolonların Y yönünde maksimum momentleri (kN.m).



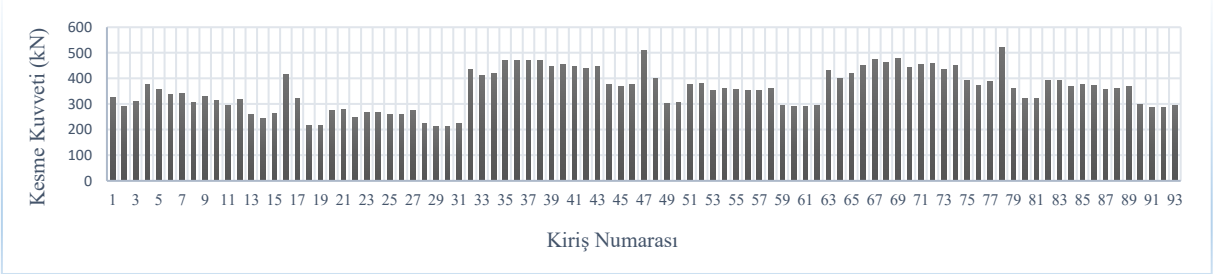
Şekil 4.95: Senaryo A-7'de kolonların X yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).



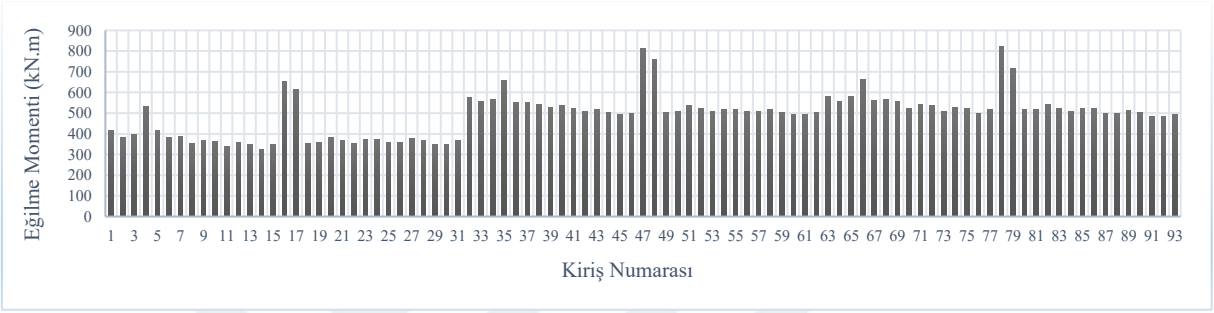
Şekil 4.96: Senaryo A-7'de kolonların Y yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).



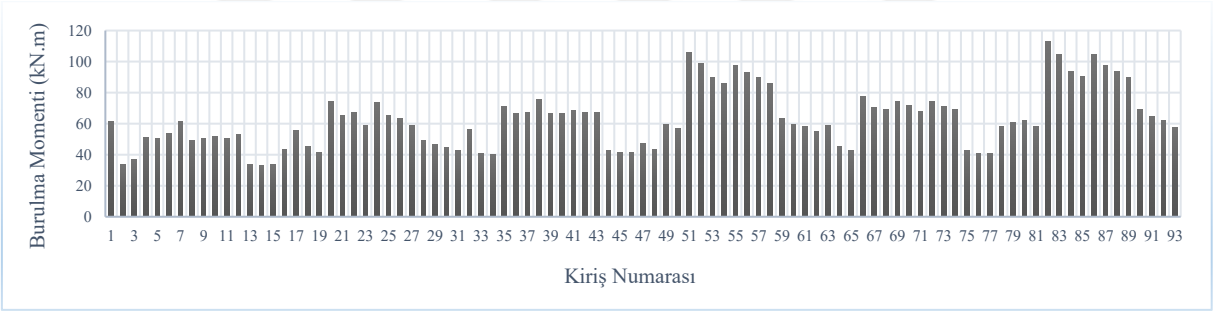
Şekil 4.97: Senaryo A-7'de kolonların maksimum burulma momentleri (kN.m).



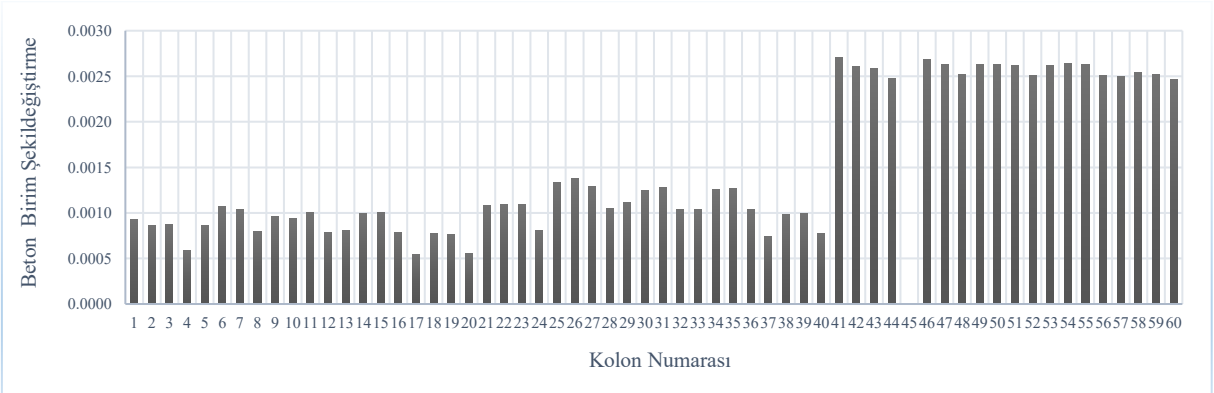
Şekil 4.98: Senaryo A-7'de kirişlerin maksimum kesme kuvvetleri (kN).



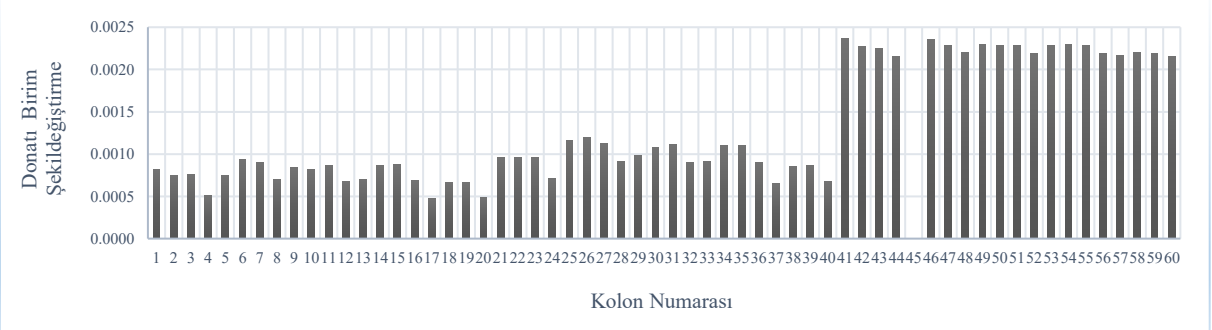
Şekil 4.99: Senaryo A-7'de kirişlerin maksimum eğilme momentleri (kN.m).



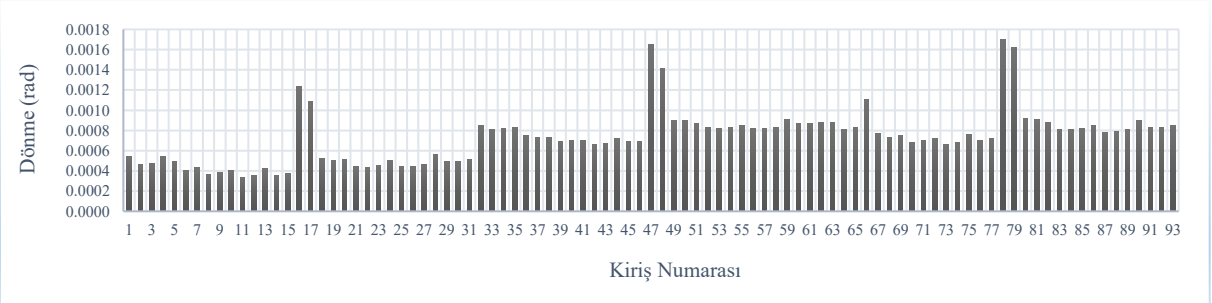
Şekil 4.100: Senaryo A-7'de kirişlerin maksimum burulma momentleri (kN.m).



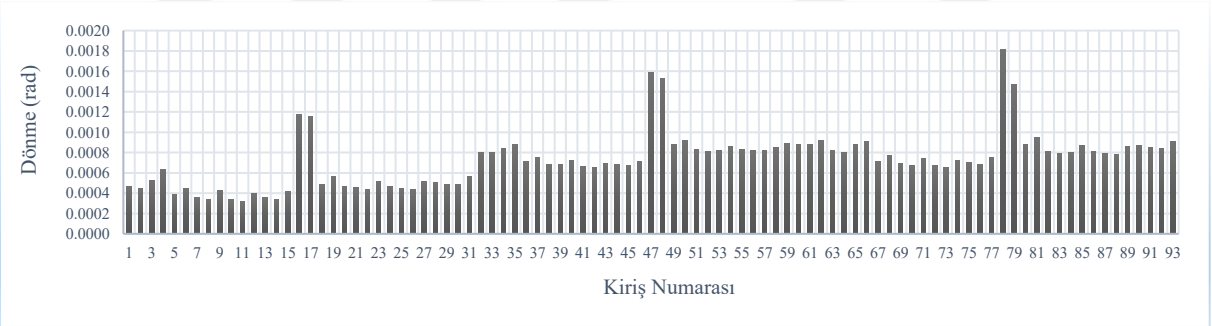
Şekil 4.101: Senaryo A-7'de kolon kesitlerinin betonunda maksimum birim şekildeğiştirme değerleri.



Şekil 4.102: Senaryo A-7'de kolon kesitlerinin donatısında maksimum birim şekildeğiştirme değerleri.



Şekil 4.103: Senaryo A-7'de kiriş kesitlerinin I ucunda maksimum dönme değerleri (rad).



Şekil 4.104: Senaryo A-7'de kiriş kesitlerinin J ucunda maksimum dönme değerleri (rad).

Tablo 4.34: Senaryo A-7'de kirişlerin hasar bölgeleri.

Kat	Kiriş sayısı					
	Sınırlı hasar	Belirgin hasar	İleri hasar	Göçme	Gevrek kırılma	Toplam
3	0	31	0	0	0	31
2	0	31	0	0	0	31
1	0	31	0	0	0	31

Tablo 4.35: Senaryo A-7'de kolonların hasar bölgeleri.

Kat	Kolon sayısı					
	Sınırlı hasar	Belirgin hasar	İleri hasar	Göçme	Gevrek kırılma	Toplam
3	20	0	0	0	0	20
2	20	0	0	0	0	20
1	3	16	0	1	0	20

Tablo 4.36: Senaryo A7'de yan kolonların iç kuvvetleri ve birim şekildeğiştirmelerinde değişimleri.

Kolon No		P (kN)	M2 (kN.m)	M3 (kN.m)	V2 (kN)	V3 (kN)	T (kN.m)	ε_c	ε_s
41	Kontrol modeli	1083	1581	2109	589	592	0.053	0.0024206	0.0021106
	Senaryo A-7	1990	1707	1991	688	626	20.6526	0.0027021	0.0023644
	Değişim (%)	84	8	-6	17	6	38867	12	12
46	Kontrol modeli	730	1765	2316	752	772	0.053	0.0025649	0.0022294
	Senaryo A-7	2098	1817	2205	728	783	20.6526	0.0026893	0.0023527
	Değişim (%)	187	3	-5	-3	1	38867	5	6
49	Kontrol modeli	1168	1598	2269	715	609	0.053	0.0024909	0.0021701
	Senaryo A-7	1947	1599	2240	724	599	20.6526	0.0026281	0.0023001
	Değişim (%)	67	0.06	-1	1	-2	38867	6	6

Tablo 4.37: Senaryo A-7'de yan kirişlerin iç kuvvetleri ve dönme değişimleri.

Kiriş No		V2 (kN)	T (kN.m)	M3 (kN.m)	Dönme; I (rad)	Dönme; J (rad)
66	Kontrol modeli	504	121	526	0.0006339	0.0005967

Tablo 4.37 (devam): Senaryo A-7'de yan kirişlerin iç kuvvetleri ve dönme değişimleri.

	Senaryo A-7	451	78	663	0.0011023	0.0009101
	Değişim (%)	-11	-36	26	74	53
78	Kontrol modeli	344	94	506	0.0008241	0.0008137
	Senaryo A-7	519	58	822	0.0017037	0.0018147
	Değişim (%)	51	-38	63	107	123
79	Kontrol modeli	335	91	489	0.0007639	0.0007914
	Senaryo A-7	361	61	717	0.0016209	0.0014713
	Değişim (%)	8	-33	47	112	86

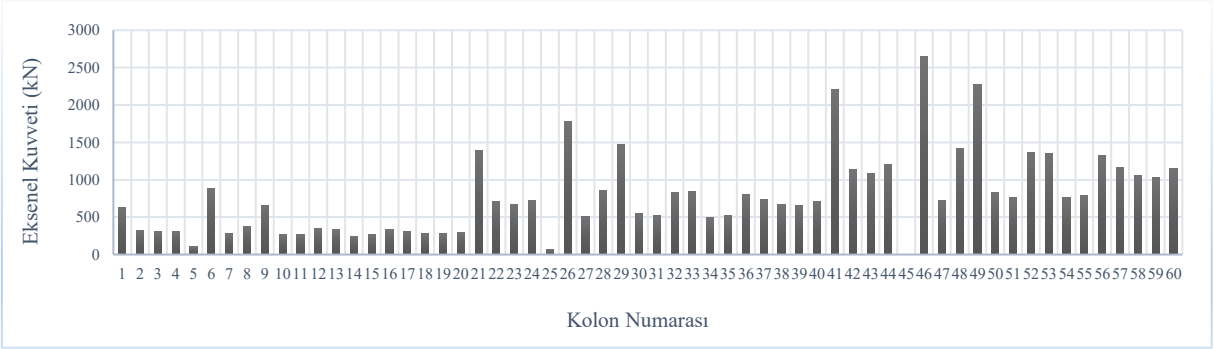
4.1.9. Senaryo A-8 Analiz Sonuçları

İlk katta yer alan tek bir kenar orta kolon kaybı ve döşeme kalınlığının 18 cm'ye artırıldığı senaryosu için kolon kaybı **Tablo 4.38**'de gelen iç kuvvetler ve kütle ile simüle edilmiştir. Söz konusu kolonun ortadan kalkma süresi 0.05 saniye olarak ayarlanmıştır.

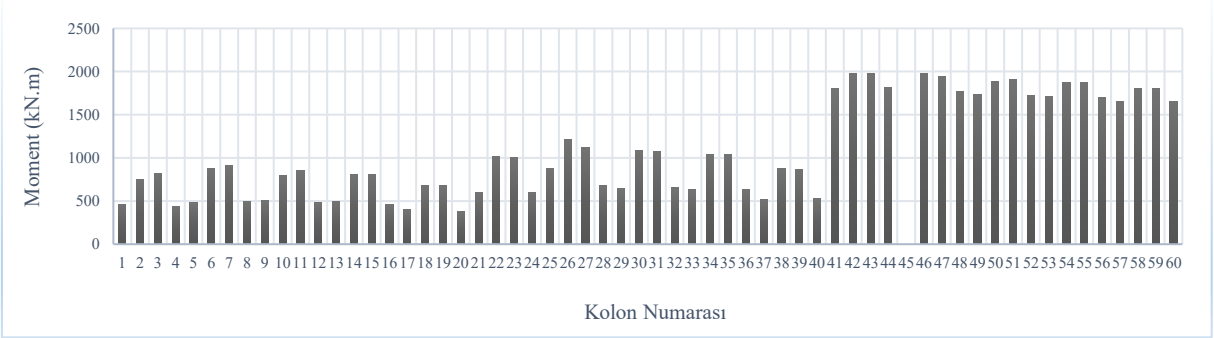
Tablo 4.38: Senaryo A-8'de kolonun sayısal simülasyonu.

P (kN)	M_x (kN.m)	M_y (kN.m)	V_x (kN)	V_y (kN)	Kütle (ton)
1304	1653	2340	765	652	9.35

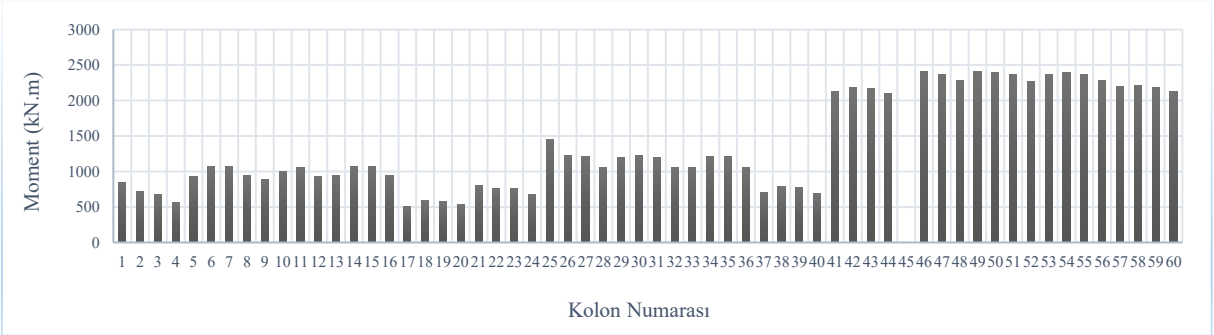
Senaryo A-8'e ait analiz sonuçları **Şekil 4.105** ila **Şekil 4.117**'de sunulmuştur. Söz konusu şekillerde senaryo A-8 kapsamında kaldırılmış olan kolon 45 numarayla gösterilmiştir. Elemanların hasar düzeyleri ise **Tablo 4.39** ve **Tablo 4.40**'ta açıklanmıştır. Ayrıca kolon kaldırma senaryosunda kaldırılmış olan kolonun komşu elemanlarının iç küvetleri, birim şekildeğiştirmeleri ve dönmelerinde gerçekleşen değişimler **Tablo 4.41** ve **Tablo 4.42** kapsamında sırasıyla yan kolonlar ve yan kirişler için sunulmuştur.



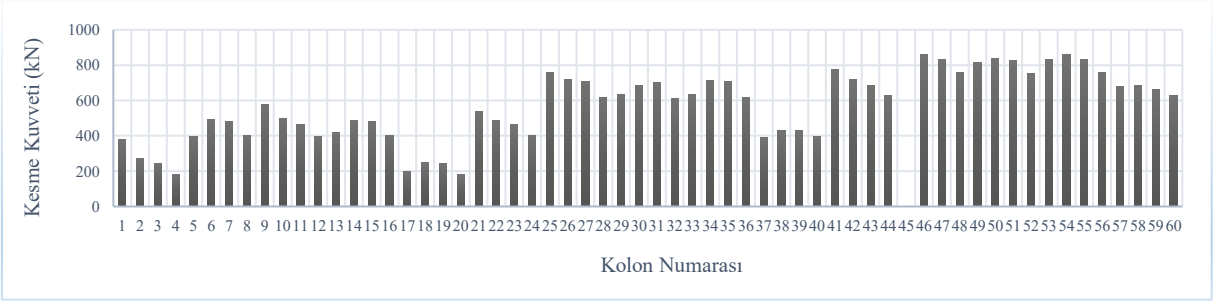
Şekil 4.105: Senaryo A-8'de kolonların maksimum eksenel kuvvetleri (kN).



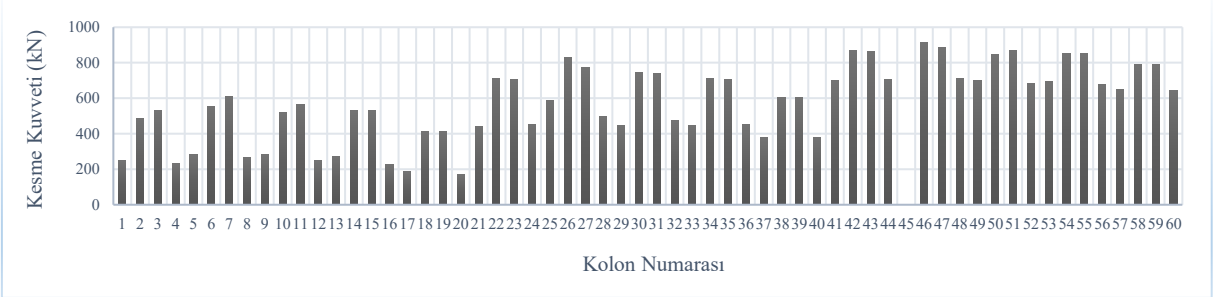
Şekil 4.106: Senaryo A-8'de kolonların X yönünde maksimum momentleri (kN.m).



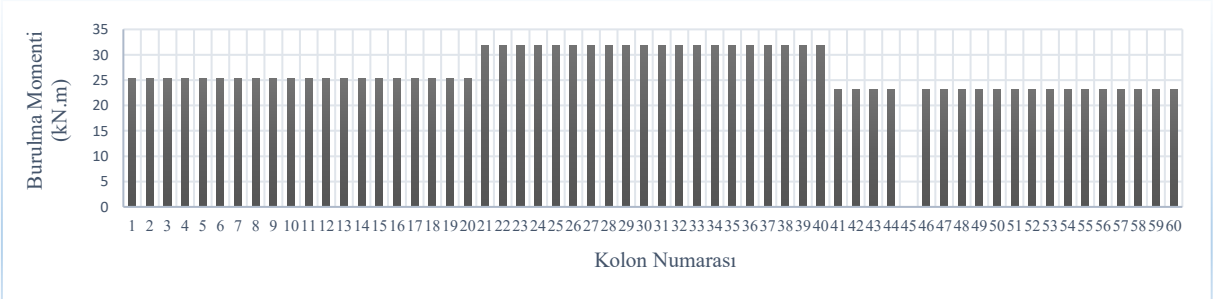
Şekil 4.107: Senaryo A-8'de kolonların Y yönünde maksimum momentleri (kN.m).



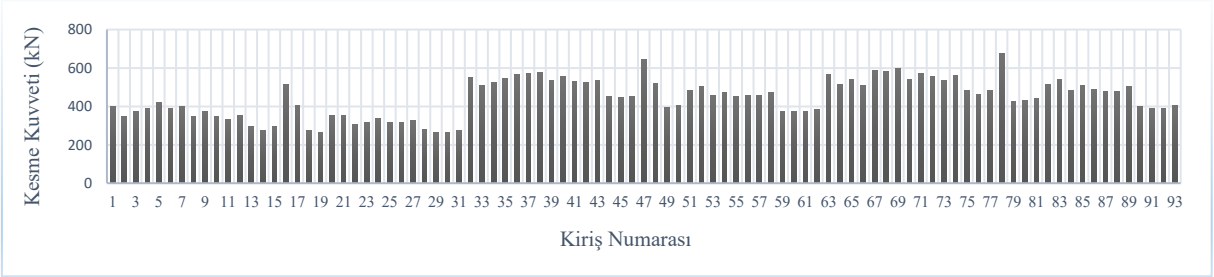
Şekil 4.108: Senaryo A-8'de kolonların X yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).



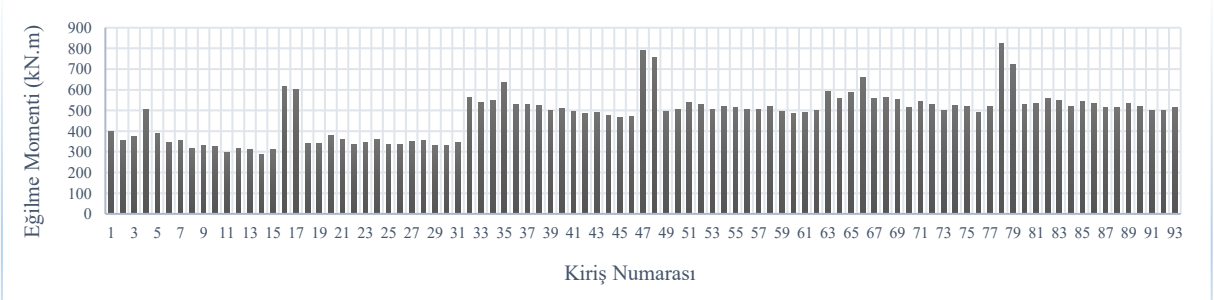
Şekil 4.109: Senaryo A-8'de kolonların Y yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).



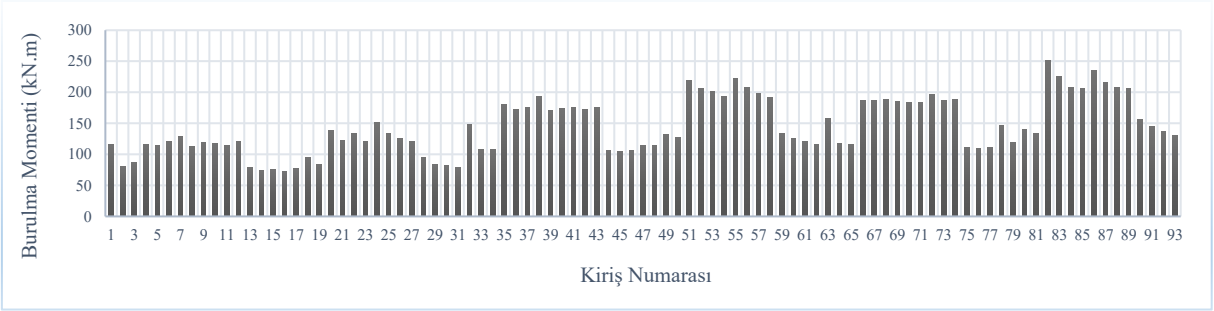
Şekil 4.110: Senaryo A-8'de kolonların maksimum burulma momentleri (kN.m).



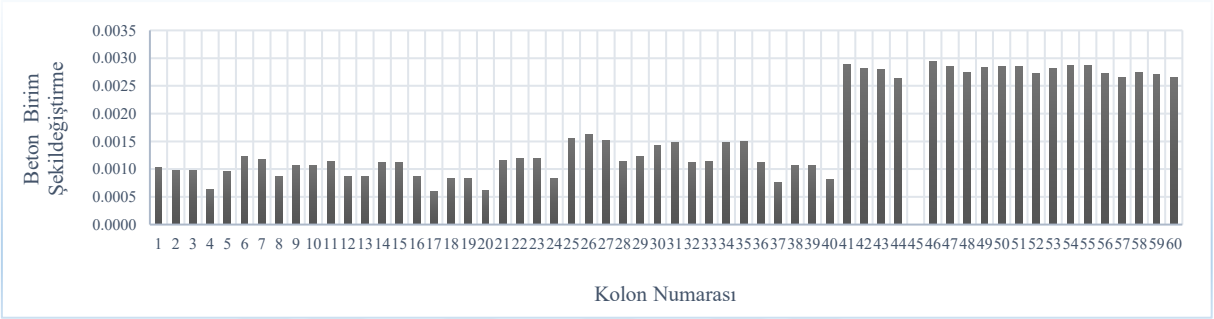
Şekil 4.111: Senaryo A-8'de kirişlerin maksimum kesme kuvvetleri (kN).



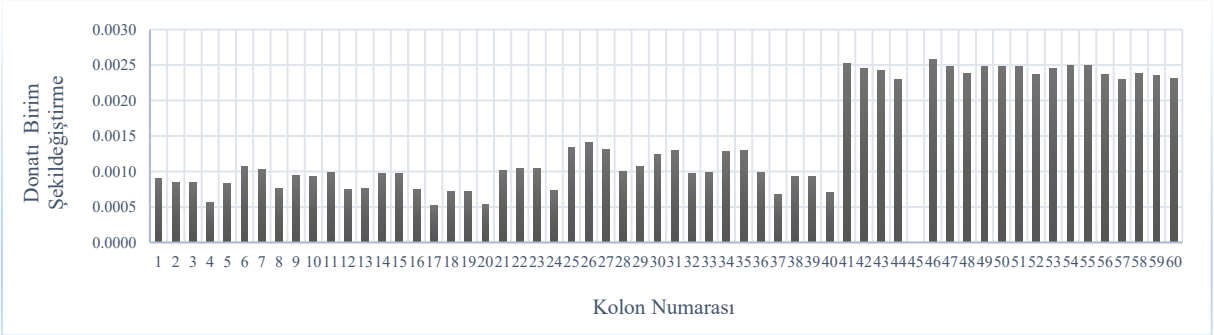
Şekil 4.112: Senaryo A-8'de kirişlerin maksimum eğilme momentleri (kN.m).



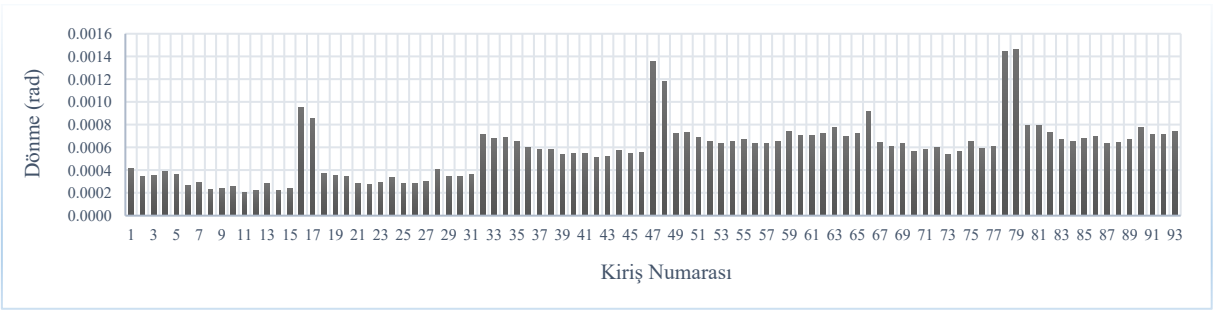
Şekil 4.113: Senaryo A-8'de kirişlerin maksimum burulma momentleri (kN.m).



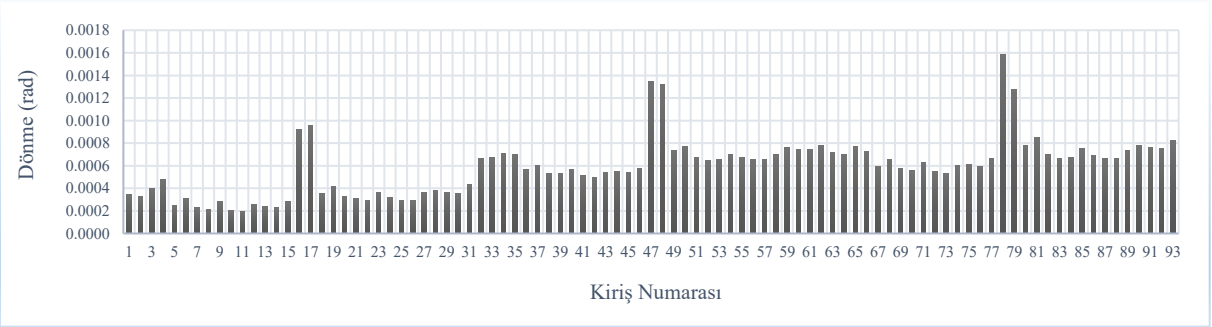
Şekil 4.114: Senaryo A-8'de kolon kesitlerinin betonunda maksimum birim şekildeğiştirme değerleri.



Şekil 4.115: Senaryo A-8'de kolon kesitlerinin donatısında maksimum birim şekildeğiştirme değerleri.



Şekil 4.116: Senaryo A-8'de kiriş kesitlerinin I ucunda maksimum dönme değerleri (rad).



Şekil 4.117: Senaryo A-8'de kiriş kesitlerinin J ucunda maksimum dönme değerleri (rad).

Tablo 4.39: Senaryo A-8'de kirişlerin hasar bölgeleri.

Kat	Kiriş sayısı					
	Sınırlı hasar	Belirgin hasar	İleri hasar	Göçme	Gevrek kırılma	Toplam
3	0	31	0	0	0	31
2	0	31	0	0	0	31
1	0	31	0	0	0	31

Tablo 4.40: Senaryo A-8'de kolonların hasar bölgeleri.

Kat	Kolon sayısı					
	Sınırlı hasar	Belirgin hasar	İleri hasar	Göçme	Gevrek kırılma	Toplam
3	20	0	0	0	0	20
2	20	0	0	0	0	20
1	0	19	0	1	0	20

Tablo 4.41: Senaryo A-8'de yan kolonların iç kuvvetleri ve birim şekildeğiştirmelerinde değişimleri.

Kolon No		P (kN)	M2 (kN.m)	M3 (kN.m)	V2 (kN)	V3 (kN)	T (kN.m)	ε_c	ε_s
41	Kontrol modeli	1083	1581	2109	589	592	0.053	0.0024206	0.0021106
	Senaryo A-8	2205	1805	2123	773	698	23.2245	0.0028816	0.0025234

Tablo 4.41 (devam): Senaryo A-8'de yan kolonların iç kuvvetleri ve birim şekildeğiştirmelerinde değişimleri.

	Değişim (%)	104	14	0.7	31	18	43720	19	20
46	Kontrol modeli	730	1765	2316	752	772	0.053	0.0025649	0.0022294
	Senaryo A-8	2652	1976	2411	863	915	23.2245	0.0029374	0.0025719
	Değişim (%)	263	12	4	15	19	43720	15	15
49	Kontrol modeli	1168	1598	2269	715	609	0.053	0.0024909	0.0021701
	Senaryo A-8	2272	1737	2413	817	698	23.2245	0.0028354	0.0024830
	Değişim (%)	95	9	6	14	15	43720	14	14

Tablo 4.42: Senaryo A-8'de yan kirişlerin iç kuvvetleri ve dönme değişimleri.

Kiriş No		V2 (kN)	T (kN.m)	M3 (kN.m)	Dönme; I (rad)	Dönme; J (rad)
66	Kontrol modeli	504	121	526	0.0006339	0.0005967
	Senaryo A-8	508	186	657	0.0009187	0.0007304
	Değişim (%)	0.8	54	25	45	22
78	Kontrol modeli	344	94	506	0.0008241	0.0008137
	Senaryo A-8	675	146	824	0.0014424	0.0015881
	Değişim (%)	96	55	63	75	95
79	Kontrol modeli	335	91	489	0.0007639	0.0007914
	Senaryo A-8	427	119	720	0.0014599	0.0012787
	Değişim (%)	28	31	47	91	62

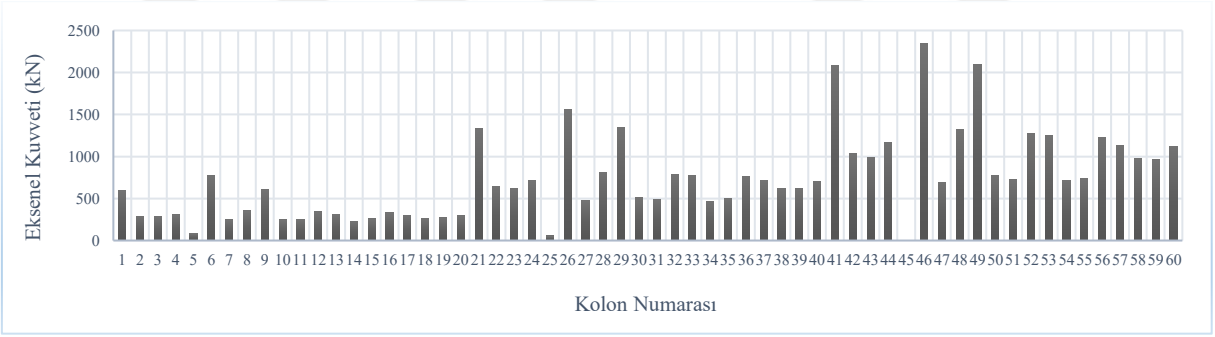
4.1.10. Senaryo A-9 Analiz Sonuçları

İlk katta yer alan tek bir kenar orta kolon kaybı ve kirişlerin boyuna donatısını 4Ø14 dan 4Ø16'ya çıkaran senaryosu için kolon kaybı **Tablo 4.43**'te gelen iç kuvvetler ve kütle ile simüle edilmiştir. Söz konusu kolonun ortadan kalkma süresi 0.05 saniye olarak ayarlanmıştır.

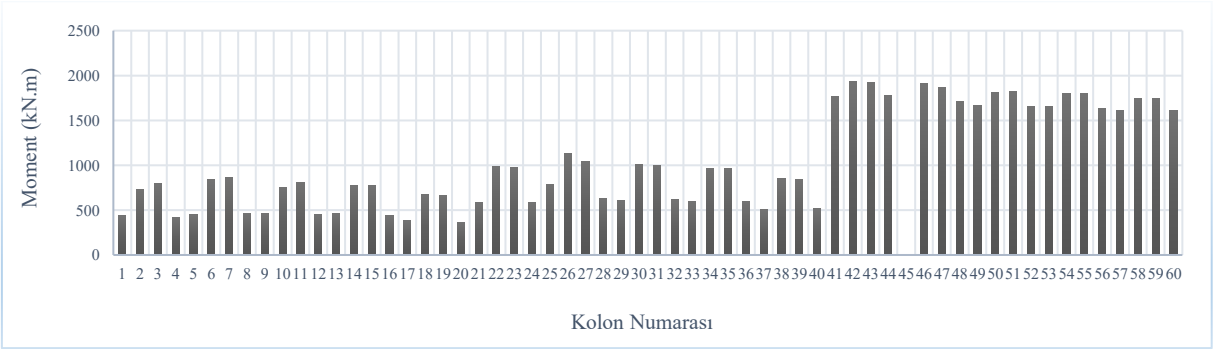
Tablo 4.43: Senaryo A-9'da kolonun sayısal simülasyonu.

P (kN)	M_x (kN.m)	M_y (kN.m)	V_x (kN)	V_y (kN)	Kütle (ton)
1166	1597	2270	720	608	8.59

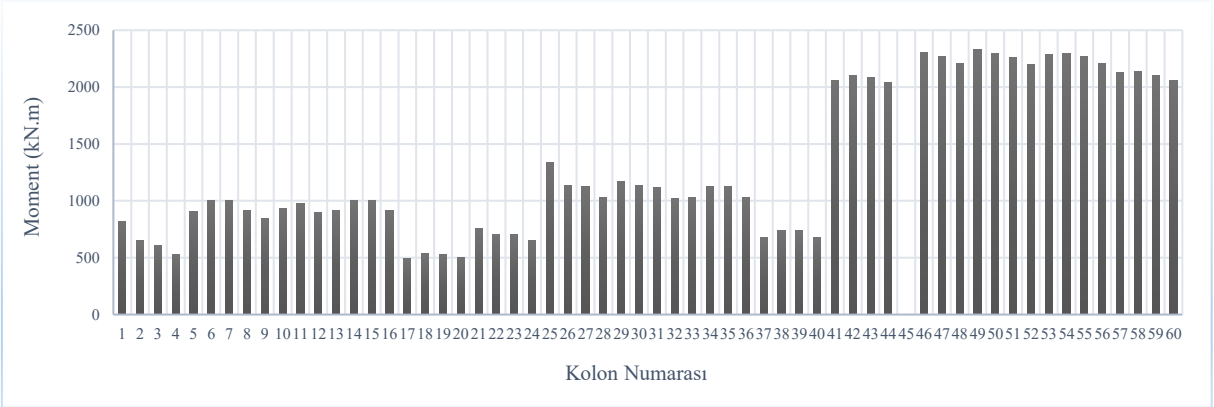
Senaryo A-9'a ait analiz sonuçları **Şekil 4.118** ila **Şekil 4.130**'da sunulmuştur. Söz konusu şekillerde senaryo A-9 kapsamında kaldırılmış olan kolon 45 numarayla gösterilmiştir. Elemanların hasar düzeyleri ise **Tablo 4.44** ve **Tablo 4.45**'te açıklanmıştır. Ayrıca kolon kaldırma senaryosunda kaldırılmış olan kolonun komşu elemanlarının iç küvetleri, birim şekildeğiştirmeleri ve dönmelerinde gerçekleşen değişimler **Tablo 4.46** ve **Tablo 4.47** kapsamında sırasıyla yan kolonlar ve yan kirişler için sunulmuştur.



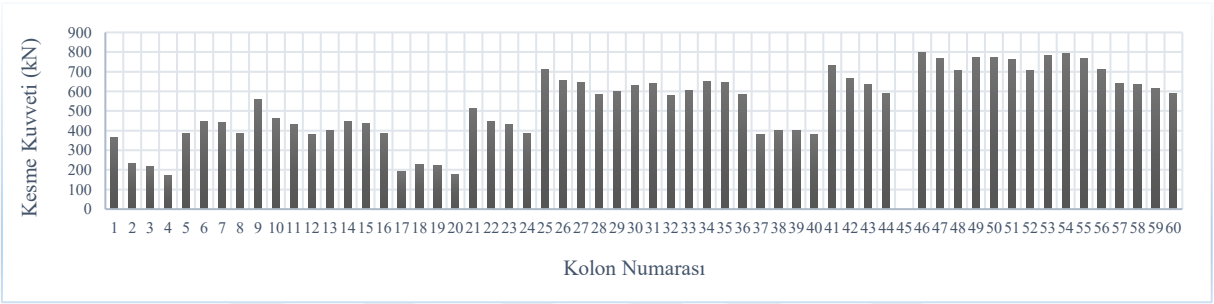
Şekil 4.118: Senaryo A-9'da kolonların maksimum eksenel kuvvetleri (kN).



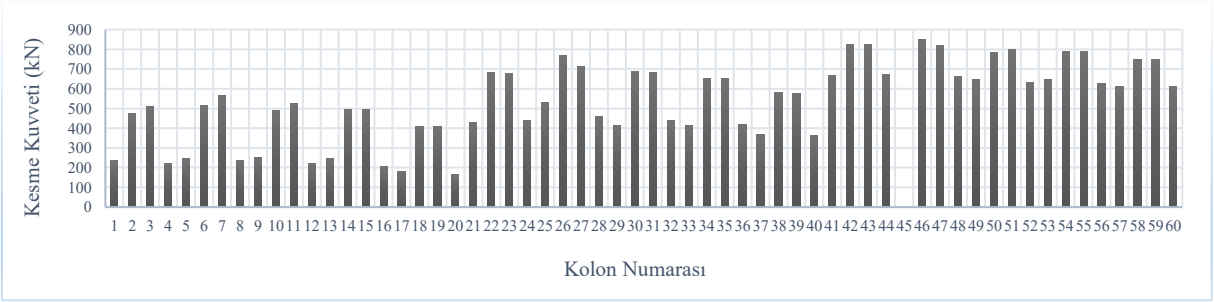
Şekil 4.119: Senaryo A-9'da kolonların X yönünde maksimum momentleri (kN.m).



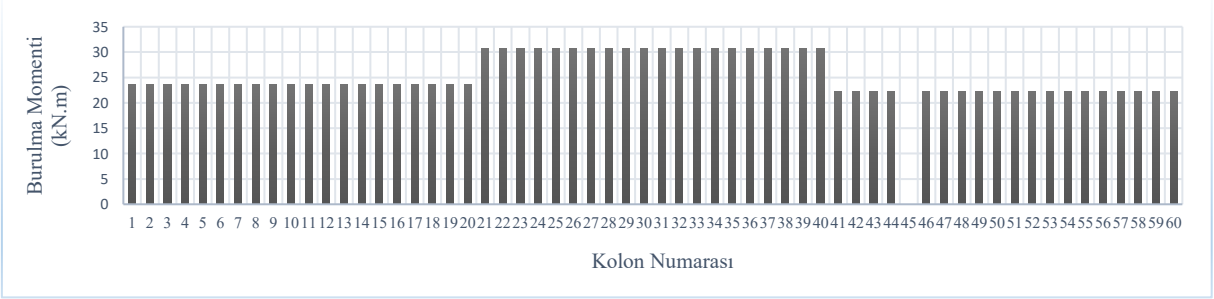
Şekil 4.120: Senaryo A-9'da kolonların Y yönünde maksimum momentleri (kN.m).



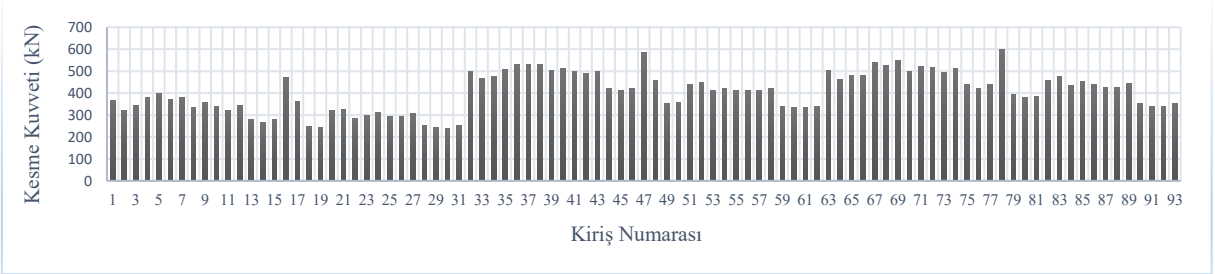
Şekil 4.121: Senaryo A-9'da kolonların X yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).



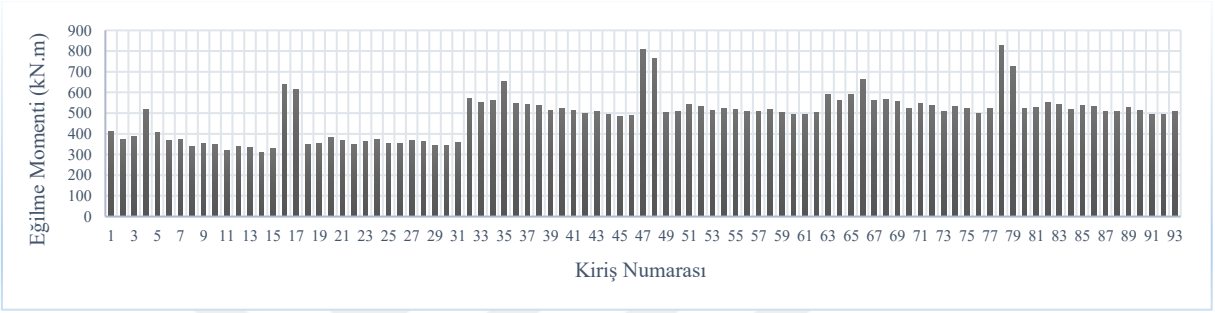
Şekil 4.122: Senaryo A-9'da kolonların Y yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).



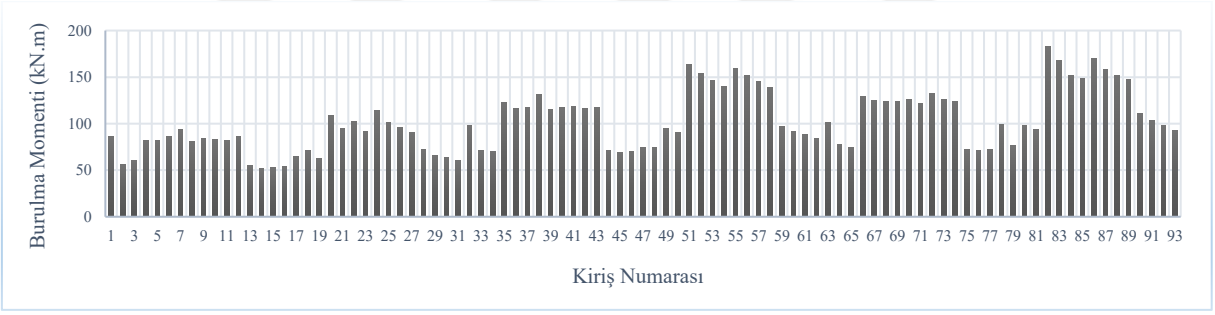
Şekil 4.123: Senaryo A-9'da kolonların maksimum burulma momentleri (kN.m).



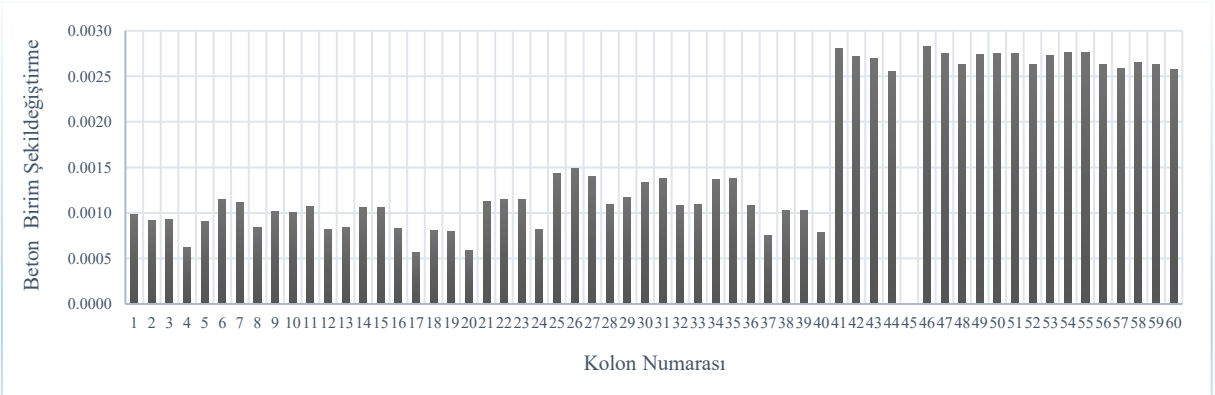
Şekil 4.124: Senaryo A-9'da kirişlerin maksimum kesme kuvvetleri (kN).



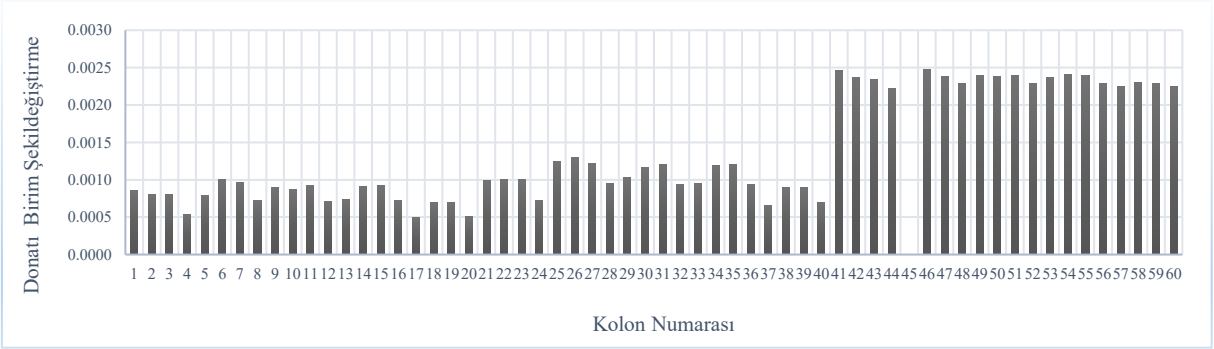
Şekil 4.125: Senaryo A-9'da kirişlerin maksimum eğilme momentleri (kN.m).



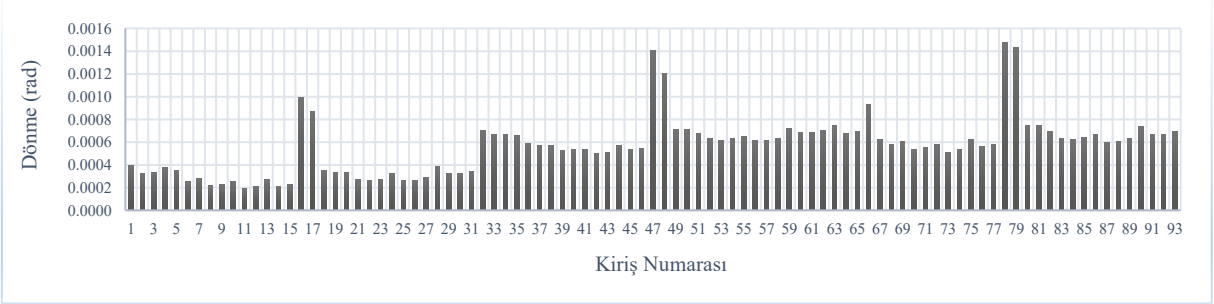
Şekil 4.126: Senaryo A-9'da kirişlerin maksimum burulma momentleri (kN.m).



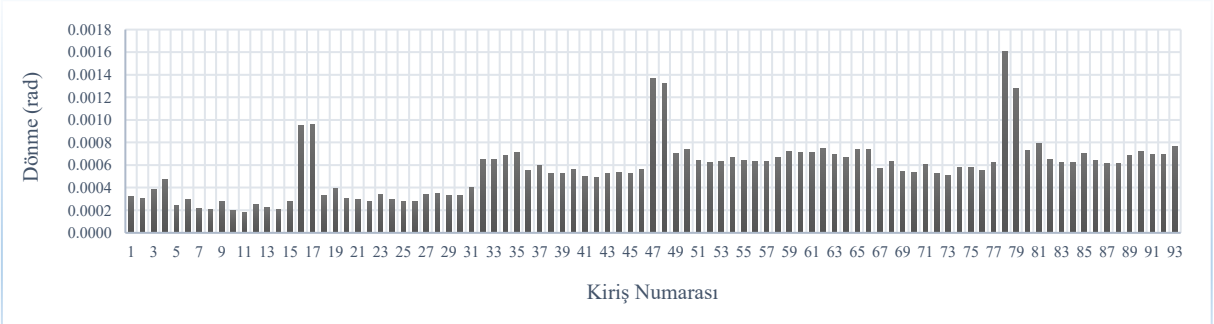
Şekil 4.127: Senaryo A-9'da kolon kesitlerinin betonunda maksimum birim şekildeğiştirme değerleri.



Şekil 4.128: Senaryo A-9'da kolon kesitlerinin donatısında maksimum birim şekildeğiştirme değerleri.



Şekil 4.129: Senaryo A-9'da kiriş kesitlerinin I ucunda maksimum dönme değerleri (rad).



Şekil 4.130: Senaryo A-9'da kiriş kesitlerinin J ucunda maksimum dönme değerleri (rad).

Tablo 4.44: Senaryo A-9'da kirişlerin hasar bölgeleri.

Kat	Kiriş sayısı					
	Sınırlı hasar	Belirgin hasar	İleri hasar	Göçme	Gevrek kırılma	Toplam
3	0	31	0	0	0	31
2	0	31	0	0	0	31
1	0	31	0	0	0	31

Tablo 4.45: Senaryo A-9'da kolonların hasar bölgeleri.

Kat	Kolon sayısı					
	Sınırlı hasar	Belirgin hasar	İleri hasar	Göçme	Gevrek kırılma	Toplam
3	20	0	0	0	0	20
2	20	0	0	0	0	20
1	0	19	0	1	0	20

Tablo 4.46: Senaryo A-9'de yan kolonların iç kuvvetleri ve birim şekildeğiştirmelerinde değişimleri.

Kolon No		P (kN)	M2 (kN.m)	M3 (kN.m)	V2 (kN)	V3 (kN)	T (kN.m)	ε_c	ε_s
41	Kontrol modeli	1083	1581	2109	589	592	0.053	0.0024206	0.0021106
	Senaryo A-9	2083	1767	2062	729	667	22.2349	0.0028071	0.0024566
	Değişim (%)	92	12	-2	24	13	41853	16	16
46	Kontrol modeli	730	1765	2316	752	772	0.053	0.0025649	0.0022294
	Senaryo A-9	2341	1906	2304	797	852	22.2349	0.0028251	0.0024727
	Değişim (%)	221	8	-0.5	6	10	41853	10	11
49	Kontrol modeli	1168	1598	2269	715	609	0.053	0.0024909	0.0021701
	Senaryo A-9	2093	1670	2327	770	647	22.2349	0.0027429	0.0024013
	Değişim (%)	79	5	3	8	6	41853	10	11

Tablo 4.47: Senaryo A-9'de yan kirişlerin iç kuvvetleri ve dönme değişimleri.

Kiriş No		V2 (kN)	T (kN.m)	M3 (kN.m)	Dönme; I (rad)	Dönme; J (rad)
66	Kontrol modeli	504	121	526	0.0006339	0.0005967

Tablo 4.47 (devam): Senaryo A-9'de yan kirişlerin iç kuvvetleri ve dönme değişimleri.

	Senaryo A-9	478	129	665	0.0009271	0.0007340
	Değişim (%)	-5	7	26	46	23
78	Kontrol modeli	344	94	506	0.0008241	0.0008137
	Senaryo A-9	601	99	828	0.0014721	0.0016047
	Değişim (%)	75	1	64	79	97
79	Kontrol modeli	335	91	489	0.0007639	0.0007914
	Senaryo A-9	394	76	725	0.0014360	0.0012747
	Değişim (%)	18	-17	48	87	61

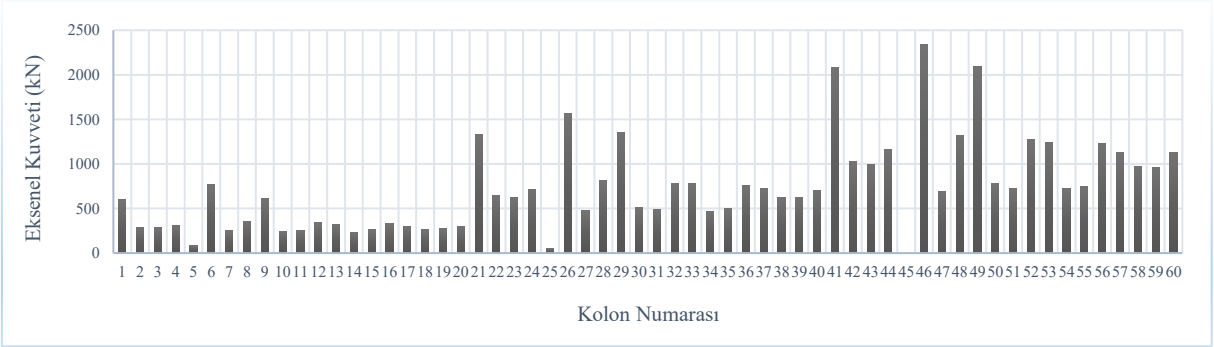
4.1.11. Senaryo A-10 Analiz Sonuçları

İlk katta yer alan tek bir kenar orta kolon kaybı ve kirişlerin boyuna donatısını 4Ø14 dan 4Ø18'e çıkaran senaryosu için kolon kaybı **Tablo 4.48**'de gelen iç kuvvetler ve kütle ile simüle edilmiştir. Söz konusu kolonun ortadan kalkma süresi 0.05 saniye olarak ayarlanmıştır.

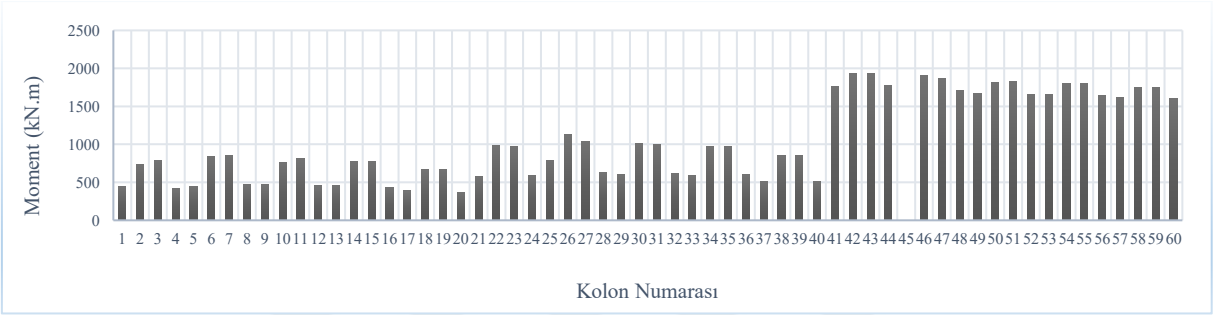
Tablo 4.48: Senaryo A-10'da kolonun sayısal simülasyonu.

P (kN)	M_x (kN.m)	M_y (kN.m)	V_x (kN)	V_y (kN)	Kütle (ton)
1167	1597	2269	721	608	8.59

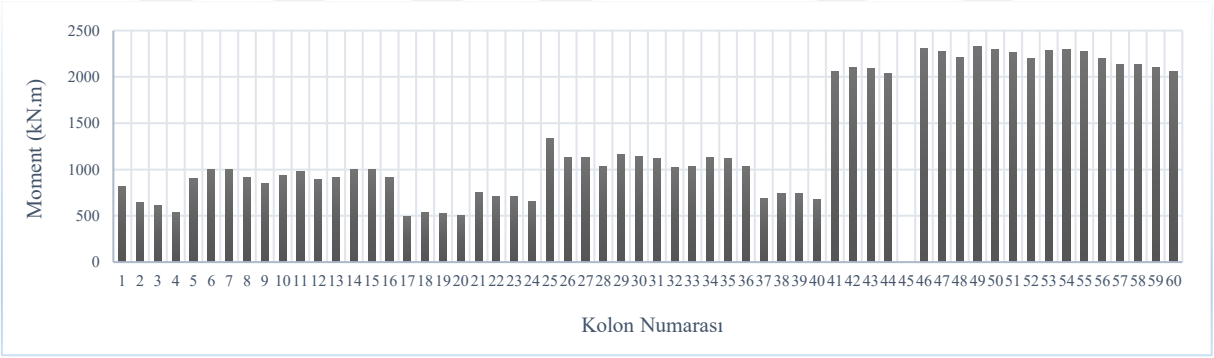
Senaryo A-10'a ait analiz sonuçları **Şekil 4.131** ila **Şekil 4.143**'te sunulmuştur. Söz konusu şekillerde senaryo A-10 kapsamında kaldırılmış olan kolon 45 numarayla gösterilmiştir. Elemanların hasar düzeyleri ise **Tablo 4.49** ve **Tablo 4.50**'de açıklanmıştır. Ayrıca kolon kaldırma senaryosunda kaldırılmış olan kolonun komşu elemanlarının iç küvetleri, birim şekildeğiştirmeleri ve dönmelerinde gerçekleşen değişimler **Tablo 4.51** ve **Tablo 4.52** kapsamında sırasıyla yan kolonlar ve yan kirişler için sunulmuştur.



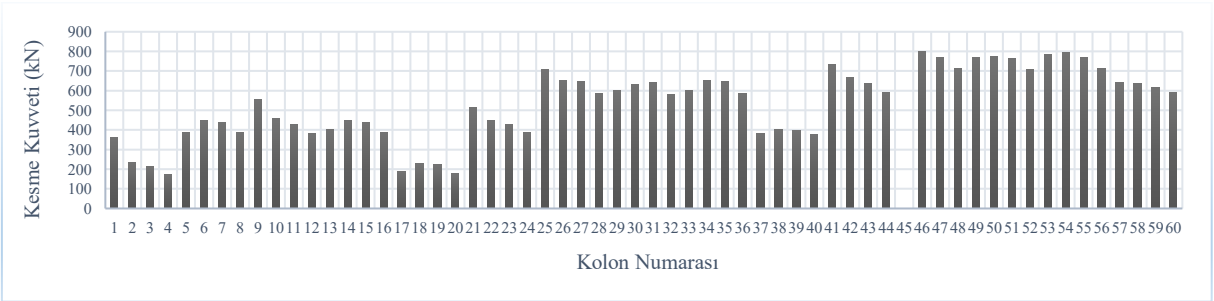
Şekil 4.131: Senaryo A-10'da kolonların maksimum eksenel kuvvetleri (kN).



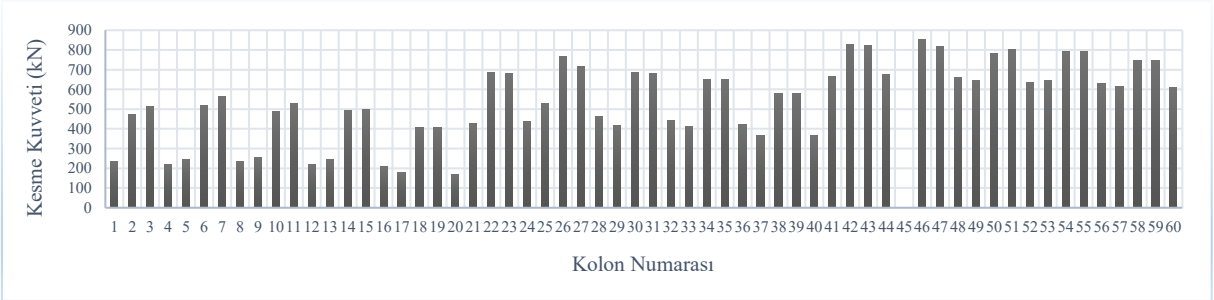
Şekil 4.132: Senaryo A-10'da kolonların X yönünde maksimum momentleri (kN.m).



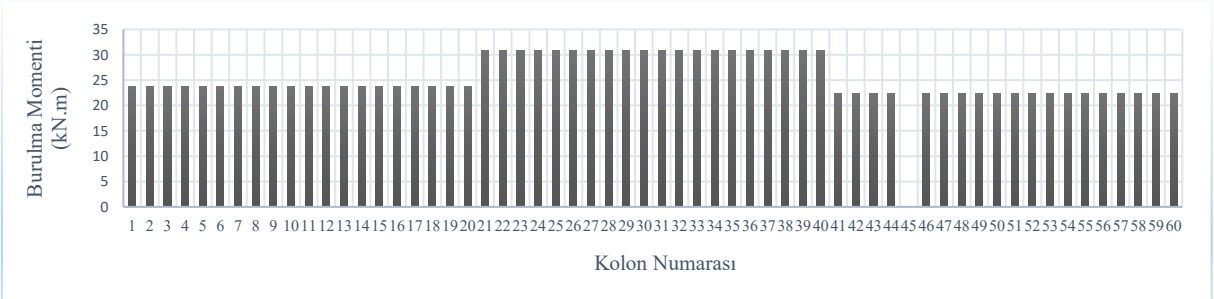
Şekil 4.133: Senaryo A-10'da kolonların Y yönünde maksimum momentleri (kN.m).



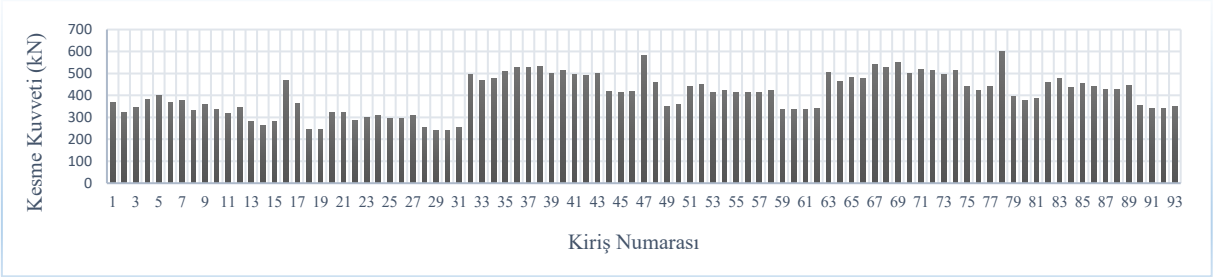
Şekil 4.134: Senaryo A-10'da kolonların X yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).



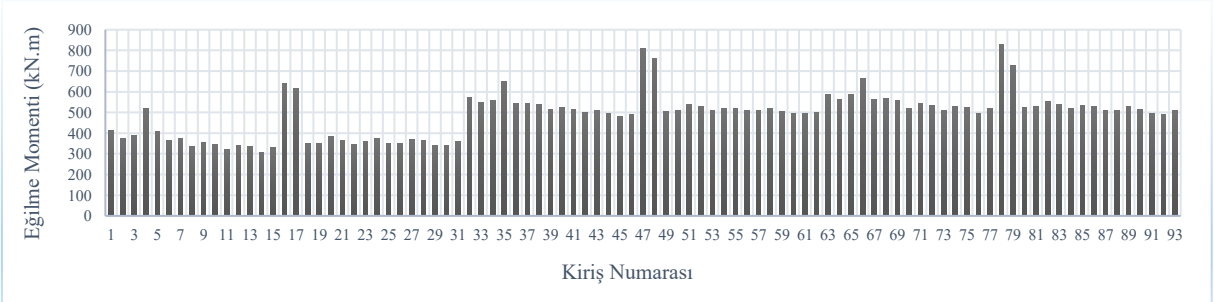
Şekil 4.135: Senaryo A-10'da kolonların Y yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).



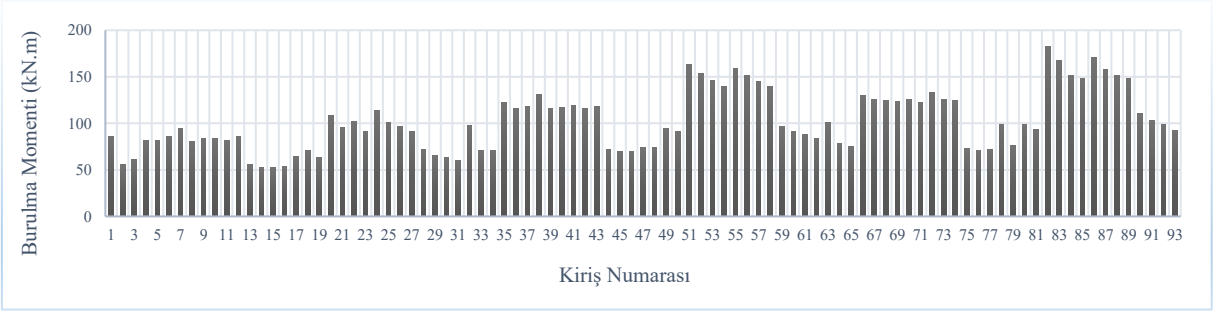
Şekil 4.136: Senaryo A-10'da kolonların maksimum burulma momentleri (kN.m).



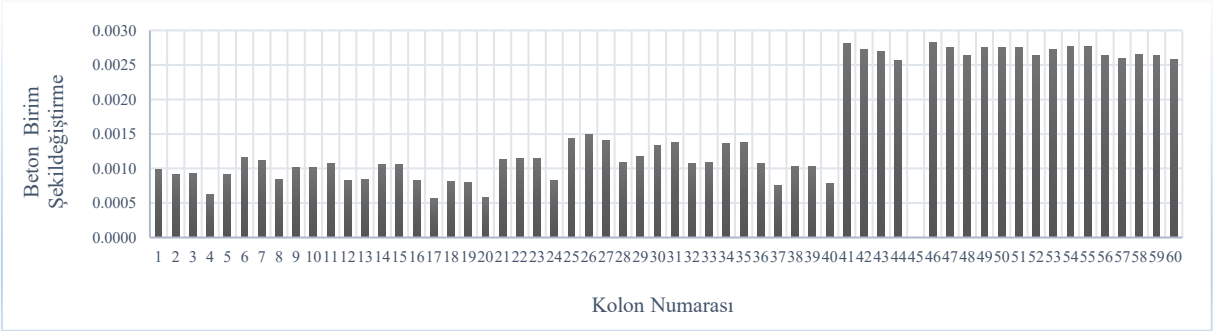
Şekil 4.137: Senaryo A-10'da kirişlerin maksimum kesme kuvvetleri (kN).



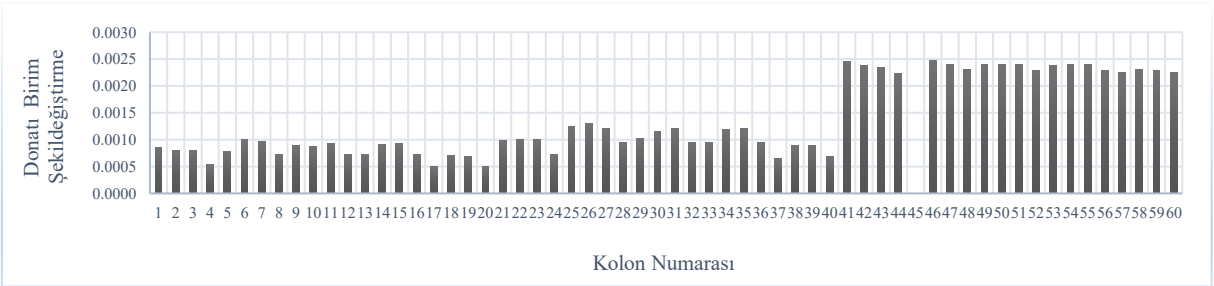
Şekil 4.138: Senaryo A-10'da kirişlerin maksimum eğilme momentleri (kN.m).



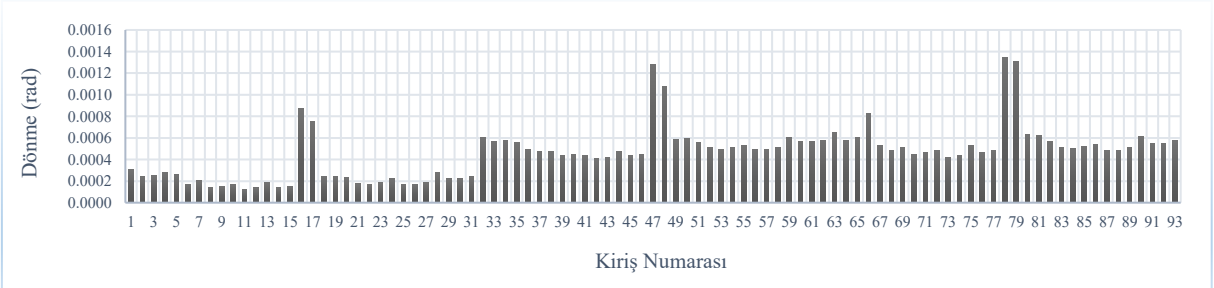
Şekil 4.139: Senaryo A-10'da kirişlerin maksimum burulma momentleri (kN.m).



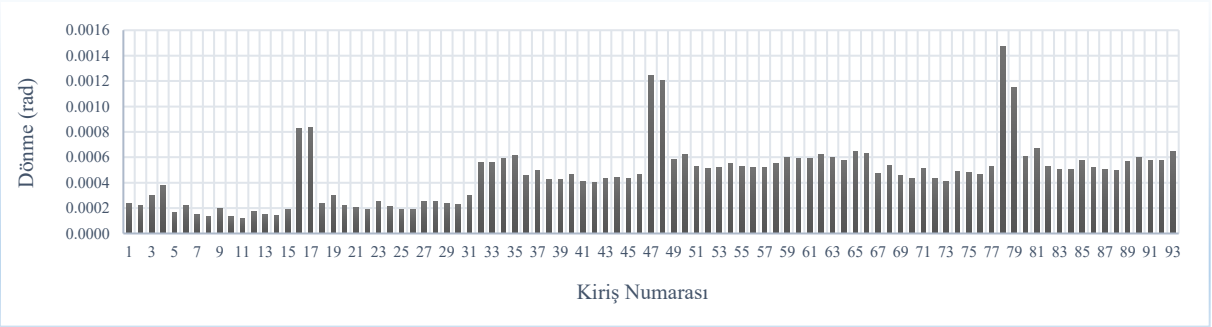
Şekil 4.140: Senaryo A-10'da kolon kesitlerinin betonunda maksimum birim şekildeğiştirme değerleri.



Şekil 4.141: Senaryo A-10'da kolon kesitlerinin donatısında maksimum birim şekildeğiştirme değerleri.



Şekil 4.142: Senaryo A-10'da kiriş kesitlerinin I ucunda maksimum dönme değerleri (rad).



Şekil 4.143: Senaryo A-10'da kiriş kesitlerinin J ucunda maksimum dönme değerleri (rad).

Tablo 4.49: Senaryo A-10'da kirişlerin hasar bölgeleri.

Kat	Kiriş sayısı					
	Sınırlı hasar	Belirgin hasar	İleri hasar	Göçme	Gevrek kırılma	Toplam
3	0	31	0	0	0	31
2	0	31	0	0	0	31
1	0	31	0	0	0	31

Tablo 4.50: Senaryo A-10'da kolonların hasar bölgeleri.

Kat	Kolon sayısı					
	Sınırlı hasar	Belirgin hasar	İleri hasar	Göçme	Gevrek kırılma	Toplam
3	20	0	0	0	0	20
2	20	0	0	0	0	20
1	0	19	0	1	0	20

Tablo 4.51: Senaryo A-10'de yan kolonların iç kuvvetleri ve birim şekildeğiştirmelerinde değişimleri.

Kolon No		P (kN)	M2 (kN.m)	M3 (kN.m)	V2 (kN)	V3 (kN)	T (kN.m)	ε_c	ε_s
41	Kontrol modeli	1083	1581	2109	589	592	0.053	0.0024206	0.0021106
	Senaryo A-10	2083	1767	2061	731	667	22.2912	0.0028116	0.0024603

Tablo 4.51 (devam): Senaryo A-10'de yan kolonların iç kuvvetleri ve birim şekildeğiştirmelerinde değişimleri.

	Değişim (%)	92	12	-2	24	13	41959	16	17
46	Kontrol modeli	730	1765	2316	752	772	0.053	0.0025649	0.0022294
	Senaryo A-10	2337	1907	2303	799	853	22.2912	0.0028300	0.0024769
	Değişim (%)	220	8	0.04	6	11	41959	10	11
49	Kontrol modeli	1168	1598	2269	715	609	0.053	0.0024909	0.0021701
	Senaryo A-10	2091	1671	2326	771	648	22.2912	0.0027476	0.0024050
	Değişim (%)	79	5	3	8	6	41959	10	11

Tablo 4.52: Senaryo A-10'de yan kirişlerin iç kuvvetleri ve dönme değişimleri.

Kiriş No		V2 (kN)	T (kN.m)	M3 (kN.m)	Dönme; I (rad)	Dönme; J (rad)
66	Kontrol modeli	504	121	526	0.0006339	0.0005967
	Senaryo A-10	478	129	664	0.0008243	0.0006323
	Değişim (%)	-5	7	26	30	6
78	Kontrol modeli	344	94	506	0.0008241	0.0008137
	Senaryo A-10	601	99	828	0.0013447	0.0014759
	Değişim (%)	75	5	64	63	81
79	Kontrol modeli	335	91	489	0.0007639	0.0007914
	Senaryo A-10	394	76	725	0.0013073	0.0011476
	Değişim (%)	18	17	48	71	45

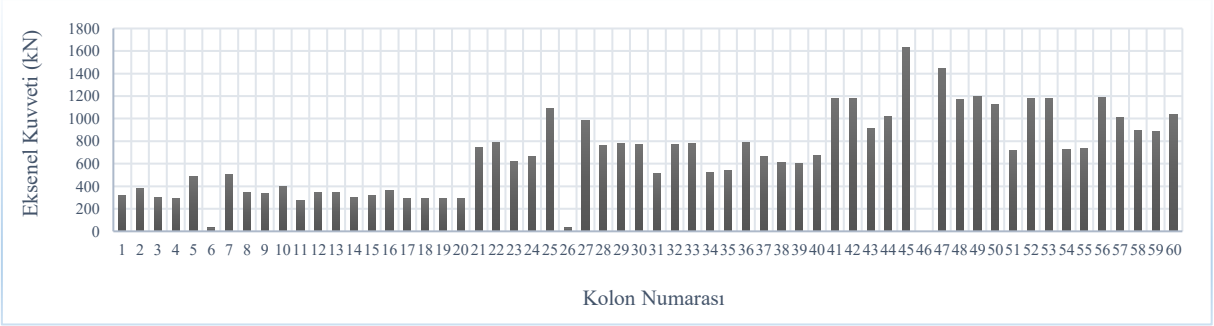
4.1.12. Senaryo A-11 Analiz Sonuçları

İlk katta yer alan tek bir iç kolon kaybı senaryosu için kolon kaybı **Tablo 4.53**'te gelen iç kuvvetler ve kütle ile simüle edilmiştir. Söz konusu kolonun ortadan kalkma süresi 0.05 saniye olarak ayarlanmıştır.

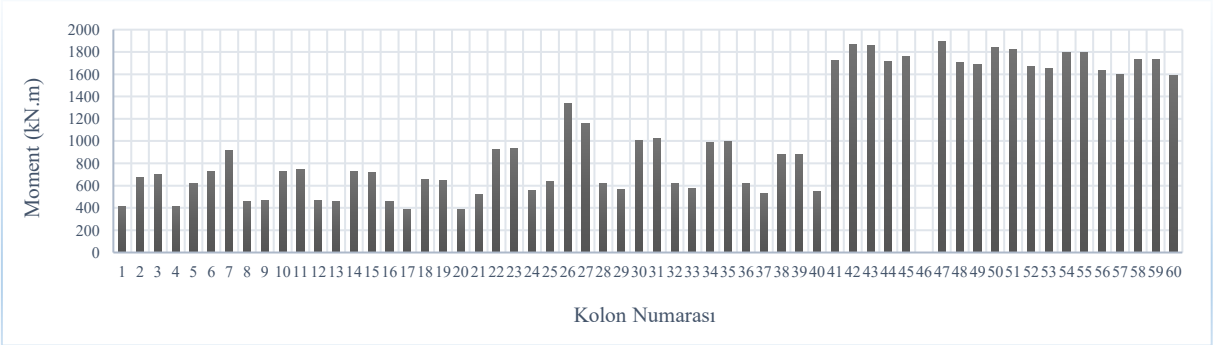
Tablo 4.53: Senaryo A-11'de kolonun sayısal simülasyonu.

P (kN)	M_x (kN.m)	M_y (kN.m)	V_x (kN)	V_y (kN)	Kütle (ton)
730	1765	2316	752	772	13.23

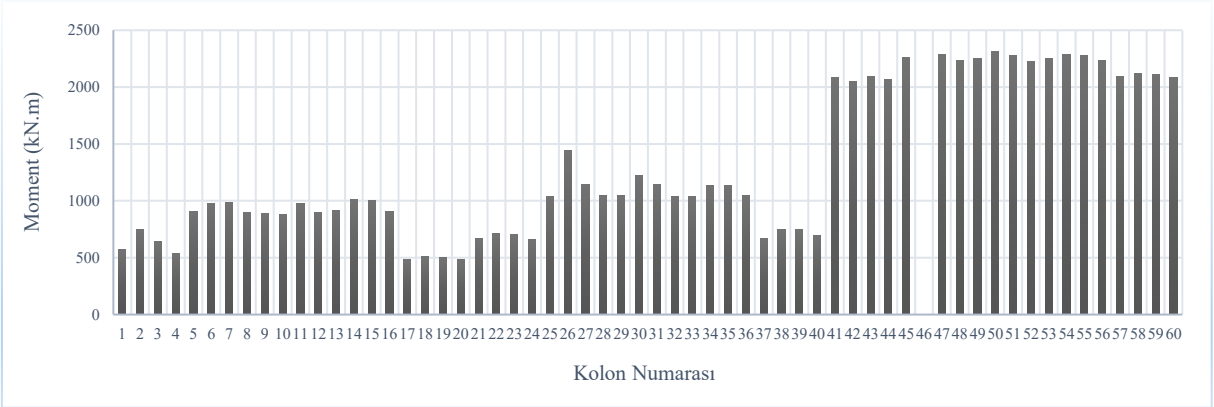
Senaryo A-11'e ait analiz sonuçları **Şekil 4.144** ila **Şekil 4.156**'da sunulmuştur. Söz konusu şekillerde senaryo A-11 kapsamında kaldırılmış olan kolon 46 numarayla gösterilmiştir. Elemanların hasar düzeyleri ise **Tablo 4.54** ve **Tablo 4.55**'te açıklanmıştır. Ayrıca kolon kaldırma senaryosunda kaldırılmış olan kolonun komşu elemanlarının iç küvetleri, birim şekildeğiştirmeleri ve dönmelerinde gerçekleşen değişimler **Tablo 4.56** ve **Tablo 4.57** kapsamında sırasıyla yan kolonlar ve yan kirişler için sunulmuştur.



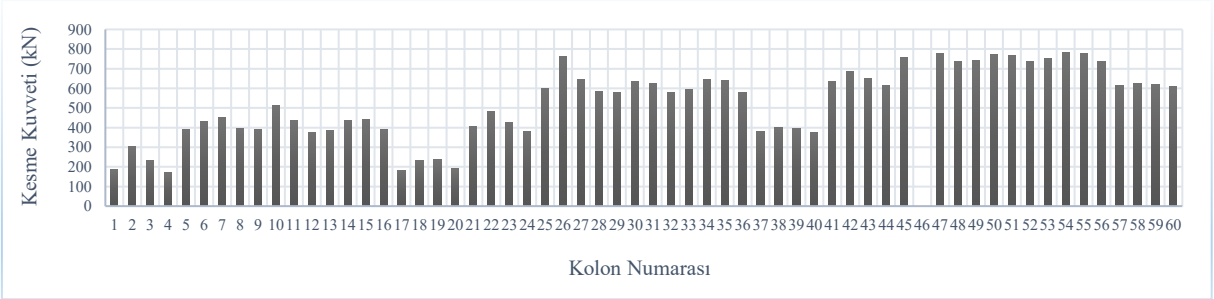
Şekil 4.144: Senaryo A-11'de kolonların maksimum eksenel kuvvetleri (kN).



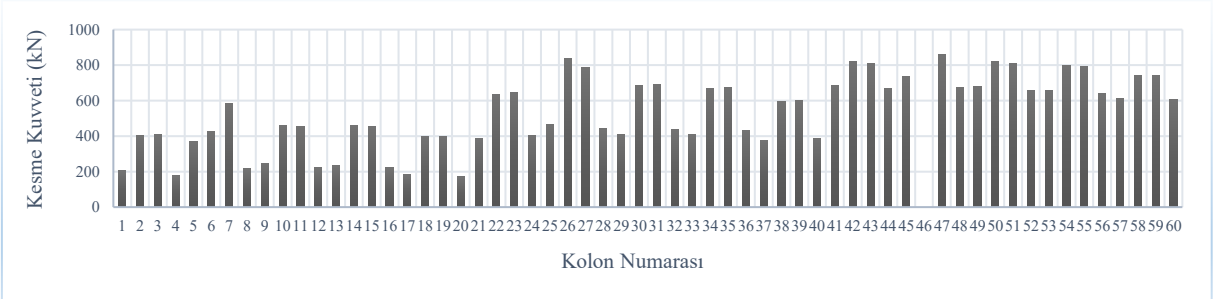
Şekil 4.145: Senaryo A-11'de kolonların X yönünde maksimum momentleri (kN.m).



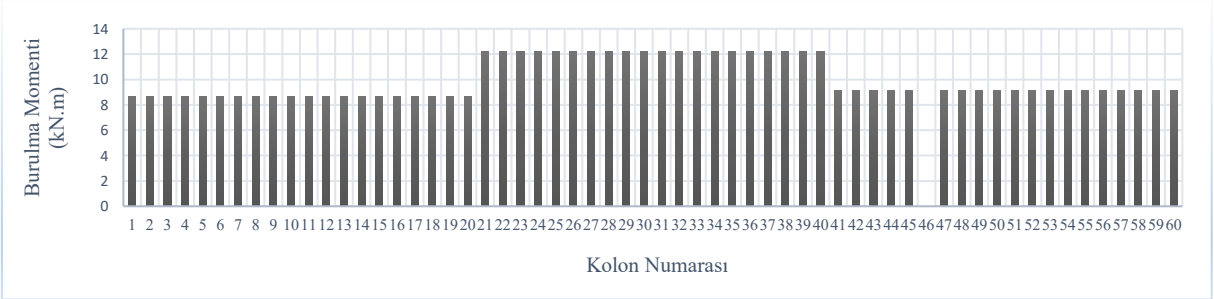
Şekil 4.146: Senaryo A-11'de kolonların Y yönünde maksimum momentleri (kN.m).



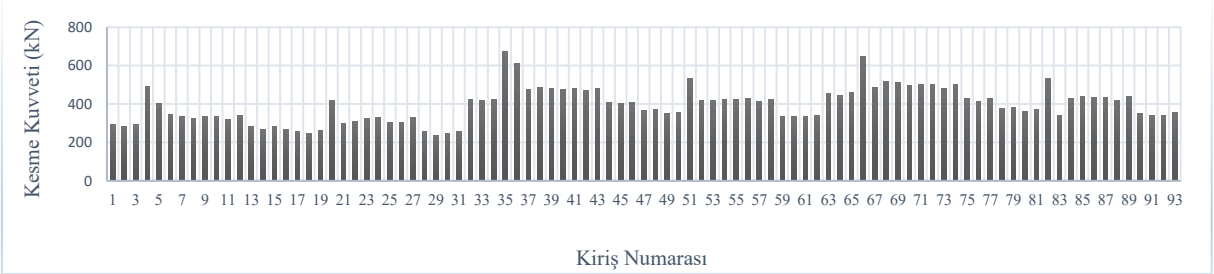
Şekil 4.147: Senaryo A-11'de kolonların X yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).



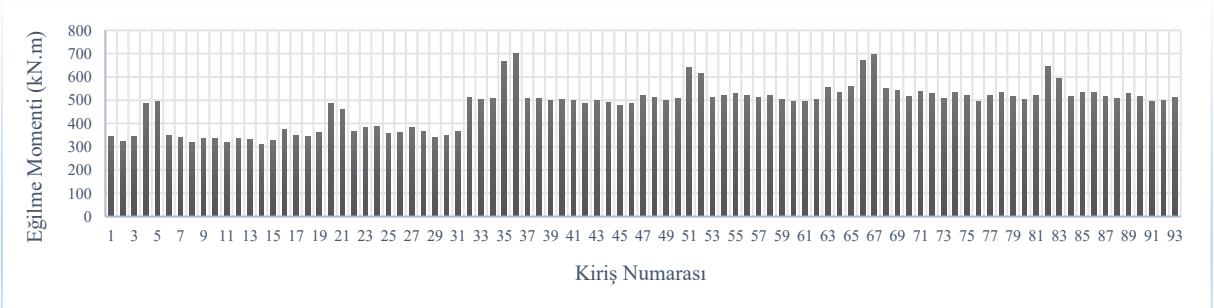
Şekil 4.148: Senaryo A-11'de kolonların Y yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).



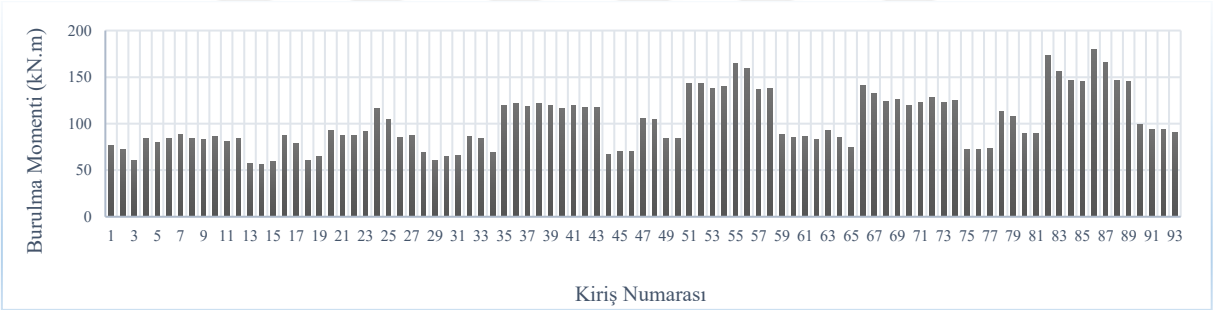
Şekil 4.149: Senaryo A-11'de kolonların maksimum burulma momentleri (kN.m).



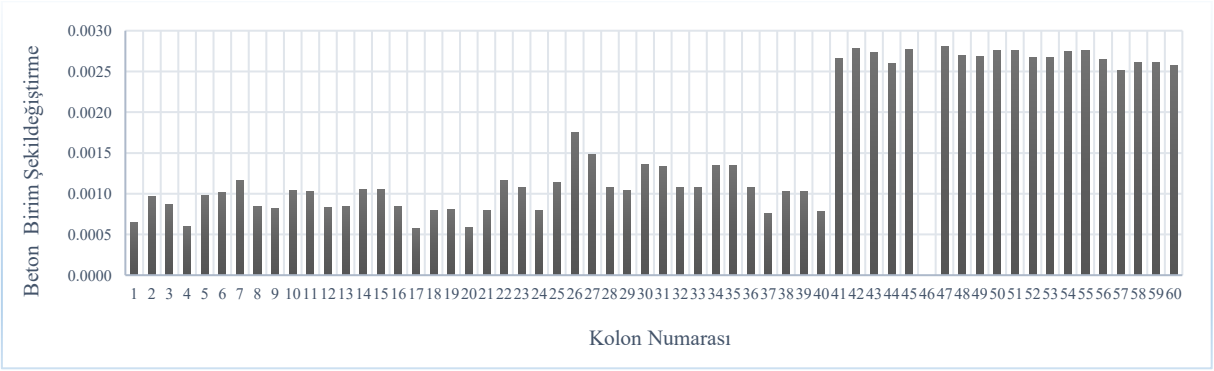
Şekil 4.150: Senaryo A-11'de kirişlerin maksimum kesme kuvvetleri (kN).



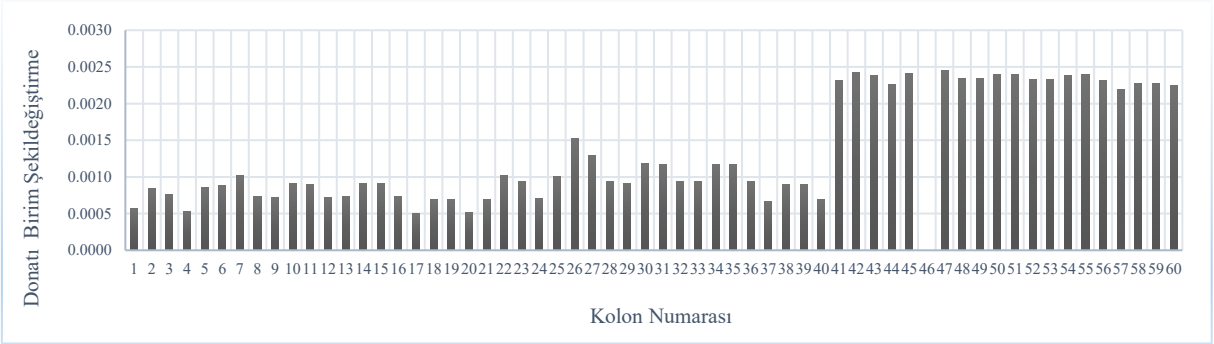
Şekil 4.151: Senaryo A-11'de kirişlerin maksimum eğilme momentleri (kN.m).



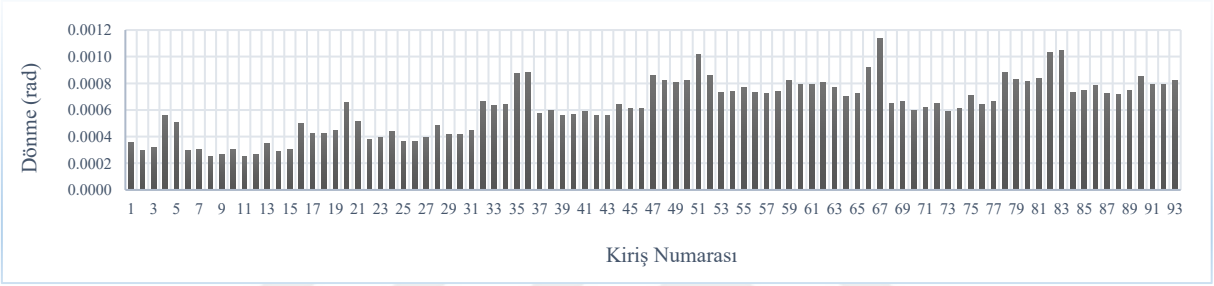
Şekil 4.152: Senaryo A-11'de kirişlerin maksimum burulma momentleri (kN.m).



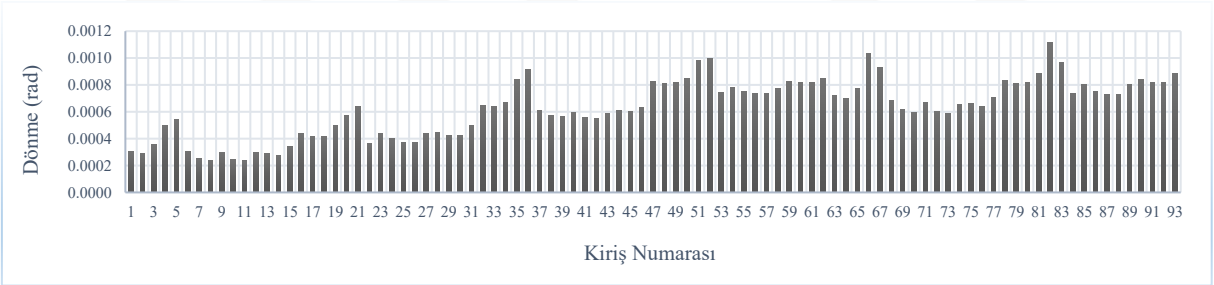
Şekil 4.153: Senaryo A-11'de kolon kesitlerinin betonunda maksimum birim şekildeğiştirme değerleri.



Şekil 4.154: Senaryo A-11'de kolon kesitlerinin donatısında maksimum birim şekildeğiştirme değerleri.



Şekil 4.155: Senaryo A-11'de kiriş kesitlerinin I ucunda maksimum dönme değerleri (rad).



Şekil 4.156: Senaryo A-11'de kiriş kesitlerinin J ucunda maksimum dönme değerleri (rad).

Tablo 4.54: Senaryo A-11'de kirişlerin hasar bölgeleri.

Kat	Kiriş sayısı					
	Sınırlı hasar	Belirgin hasar	İleri hasar	Göçme	Gevrek kırılma	Toplam
3	0	31	0	0	0	31
2	0	31	0	0	0	31
1	0	31	0	0	0	31

Tablo 4.55: Senaryo A-11'de kolonların hasar bölgeleri.

Kat	Kolon sayısı					
	Sınırlı hasar	Belirgin hasar	İleri hasar	Göçme	Gevrek kırılma	Toplam
3	20	0	0	0	0	20
2	20	0	0	0	0	20
1	0	19	0	1	0	20

Tablo 4.56: Senaryo A-11'de yan kolonların iç kuvvetleri ve birim şekildeğiştirmelerinde değişimleri.

Kolon No		P (kN)	M2 (kN.m)	M3 (kN.m)	V2 (kN)	V3 (kN)	T (kN.m)	ε_c	ε_s
42	Kontrol modeli	832	1726	2123	599	734	0.053	0.0024691	0.0021481
	Senaryo A-11	1174	1865	2048	685	819	9.1661	0.0027866	0.0024289
	Değişim (%)	41	8	-4	14	12	17195	13	13
45	Kontrol modeli	1166	1597	2274	720	608	0.053	0.0024924	0.0021713
	Senaryo A-11	1628	1763	2259	756	734	9.1661	0.0027660	0.0024149
	Değişim (%)	40	10	-0.7	5	21	17195	11	11
47	Kontrol modeli	733	1764	2317	752	771	0.053	0.0025663	0.0022306
	Senaryo A-11	1445	1890	2290	778	857	9.1661	0.0028119	0.0024499
	Değişim (%)	97	7	-1	4	11	17195	10	10
50	Kontrol modeli	728	1766	2309	746	773	0.053	0.0025619	0.0022266
	Senaryo A-11	1125	1836	2312	770	819	9.1661	0.0027566	0.0023989
	Değişim (%)	55	4	0.1	3	6	17195	8	8

Tablo 4.57: Senaryo A-11'de yan kirişlerin iç kuvvetleri ve dönme değişimleri.

Kiriş No		V2 (kN)	T (kN.m)	M3 (kN.m)	Dönme; I (rad)	Dönme; J (rad)
66	Kontrol modeli	504	121	526	0.0006339	0.0005967
	Senaryo A-11	645	141	669	0.0009210	0.0010346
	Değişim (%)	23	17	27	45	73
67	Kontrol modeli	481	117	504	0.0005689	0.0005753
	Senaryo A-11	487	132	697	0.0011401	0.0009277
	Değişim (%)	1	13	38	100	60
82	Kontrol modeli	410	148	518	0.0007341	0.0007529
	Senaryo A-11	535	173	644	0.0010341	0.0011169
	Değişim (%)	31	17	24	41	48
83	Kontrol modeli	399	143	502	0.0006736	0.0007283
	Senaryo A-11	342	157	595	0.0010451	0.0009693
	Değişim (%)	-14	10	19	55	33

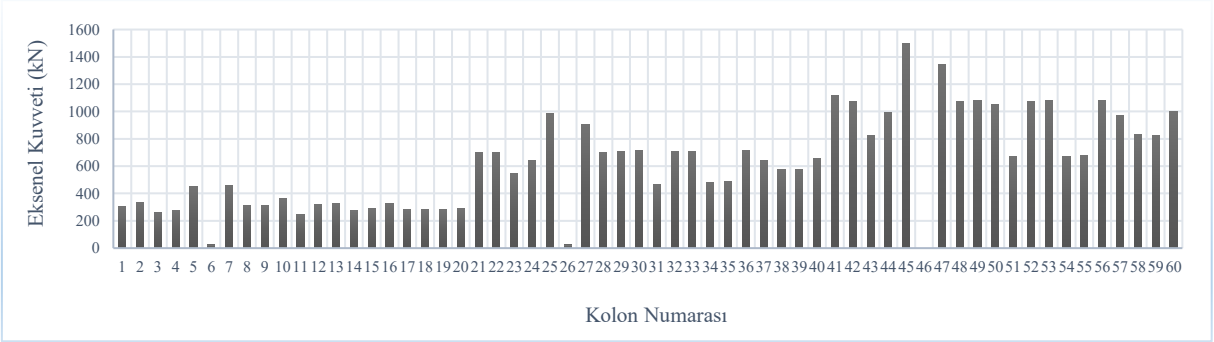
4.1.13. Senaryo A-12 Analiz Sonuçları

İlk katta yer alan tek bir iç kolon kaybı ve döşeme kalınlığının 12 cm'ye düşürüldüğü senaryosu için kolon kaybı **Tablo 4.58**'de gelen iç kuvvetler ve kütle ile simüle edilmiştir. Söz konusu kolonun ortadan kalkma süresi 0.05 saniye olarak ayarlanmıştır.

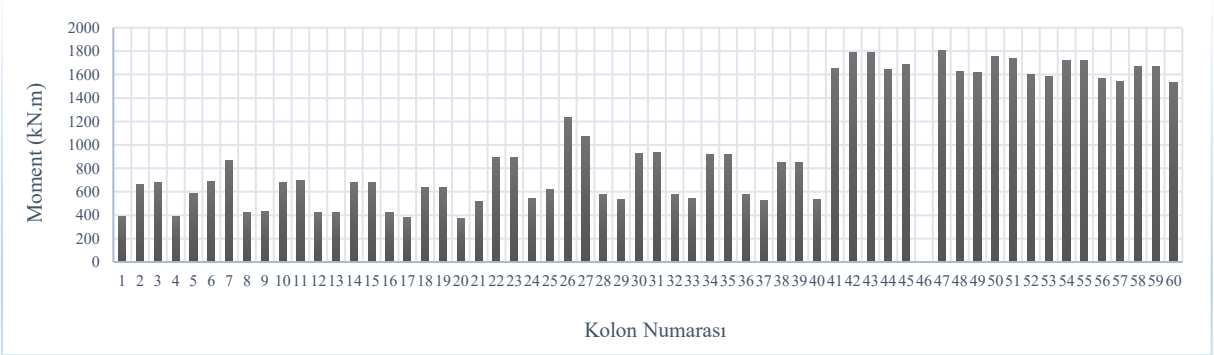
Tablo 4.58: Senaryo A-12'de kolonun sayısal simülasyonu.

P (kN)	M_x (kN.m)	M_y (kN.m)	V_x (kN)	V_y (kN)	Kütle (ton)
677	1688	2208	693	714	11.7

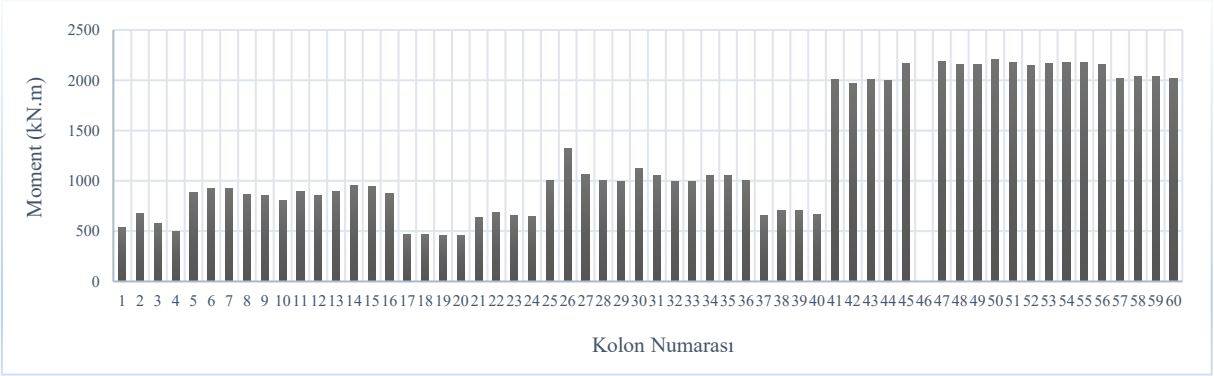
Senaryo A-12‘e ait analiz sonuçları **Şekil 4.157** ila **Şekil 4.169**’da sunulmuştur. Söz konusu şekillerde senaryo A-12 kapsamında kaldırılmış olan kolon 46 numarayla gösterilmiştir. Elemanların hasar düzeyleri ise **Tablo 4.59** ve **Tablo 4.60**’ta açıklanmıştır. Ayrıca kolon kaldırma senaryosunda kaldırılmış olan kolonun komşu elemanlarının iç küvetleri, birim şekildeğiştirmeleri ve dönmelerinde gerçekleşen değişimler **Tablo 4.61** ve **Tablo 4.62** kapsamında sırasıyla yan kolonlar ve yan kirişler için sunulmuştur.



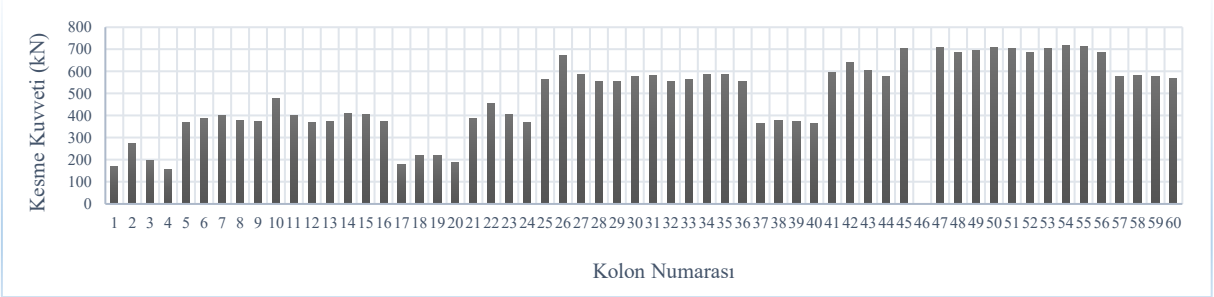
Şekil 4.157: Senaryo A-12’de kolonların maksimum eksenel kuvvetleri (kN).



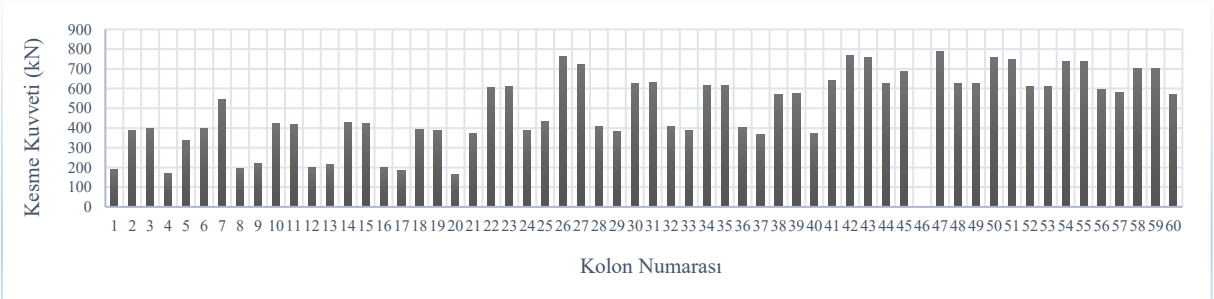
Şekil 4.158: Senaryo A-12’de kolonların X yönünde maksimum momentleri (kN.m).



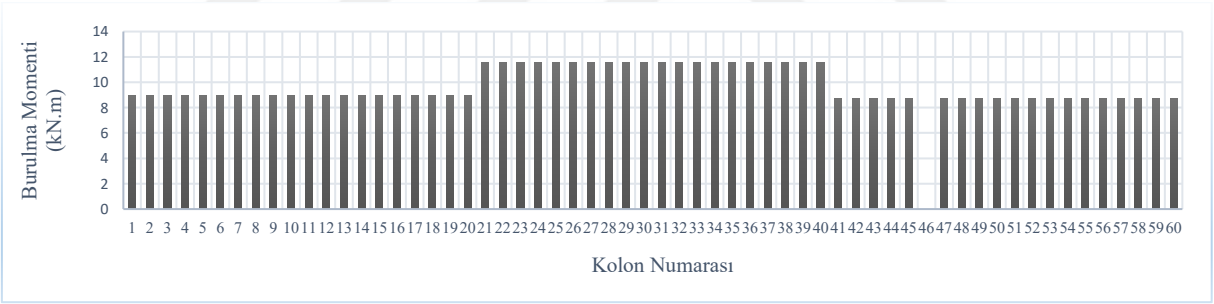
Şekil 4.159: Senaryo A-12’de kolonların Y yönünde maksimum momentleri (kN.m).



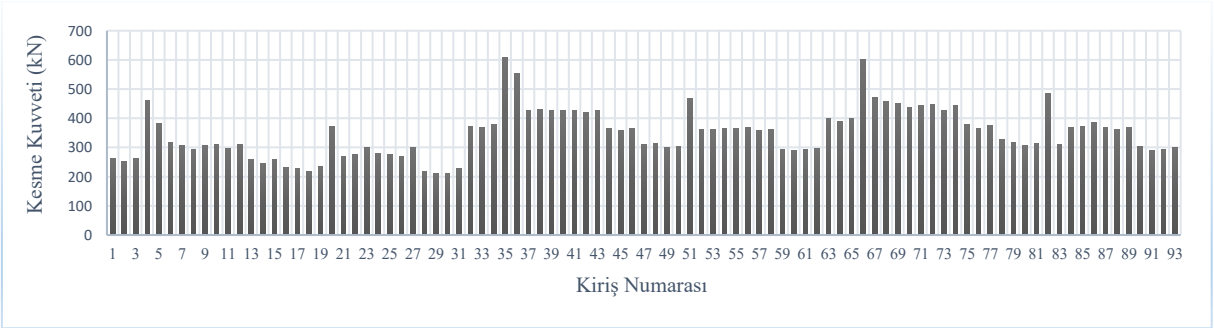
Şekil 4.160: Senaryo A-12'de kolonların X yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).



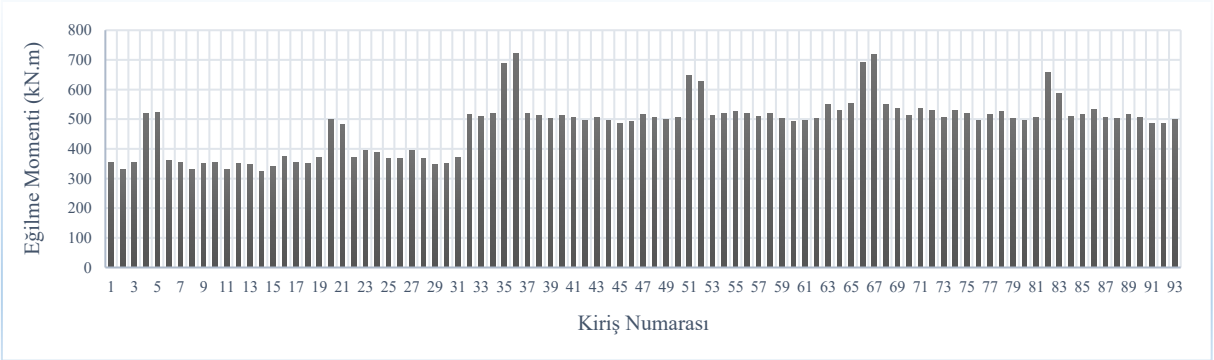
Şekil 4.161: Senaryo A-12'de kolonların Y yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).



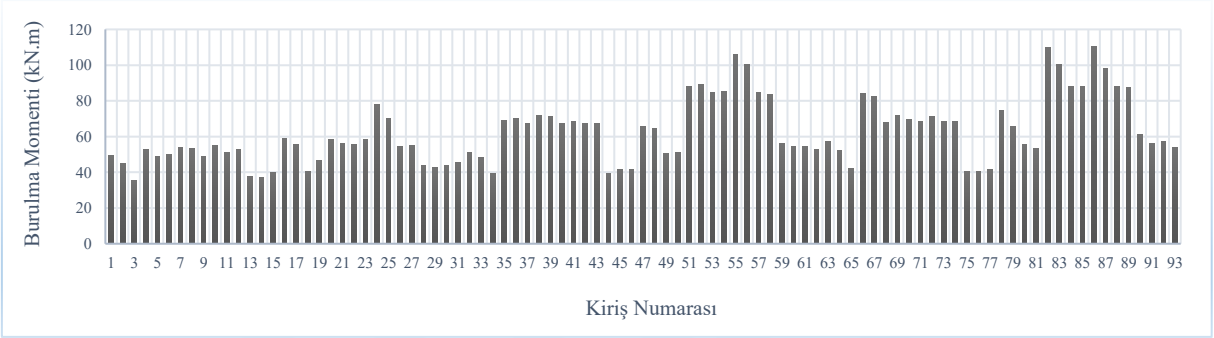
Şekil 4.162: Senaryo A-12'de kolonların maksimum burulma momentleri (kN.m).



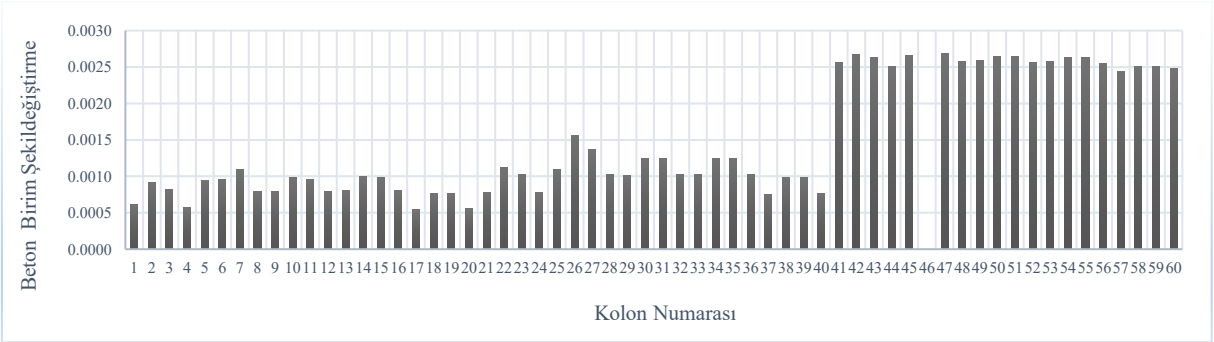
Şekil 4.163: Senaryo A-12'de kirişlerin maksimum kesme kuvvetleri (kN).



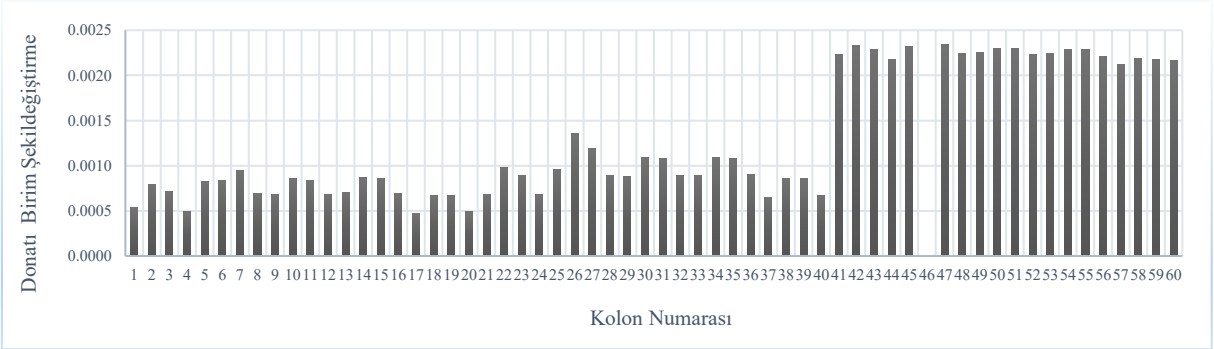
Şekil 4.164: Senaryo A-12'de kirişlerin maksimum eğilme momentleri (kN.m).



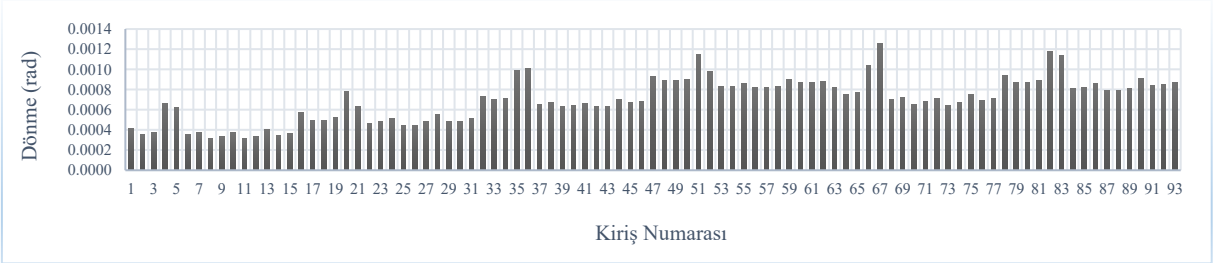
Şekil 4.165: Senaryo A-12'de kirişlerin maksimum burulma momentleri (kN.m).



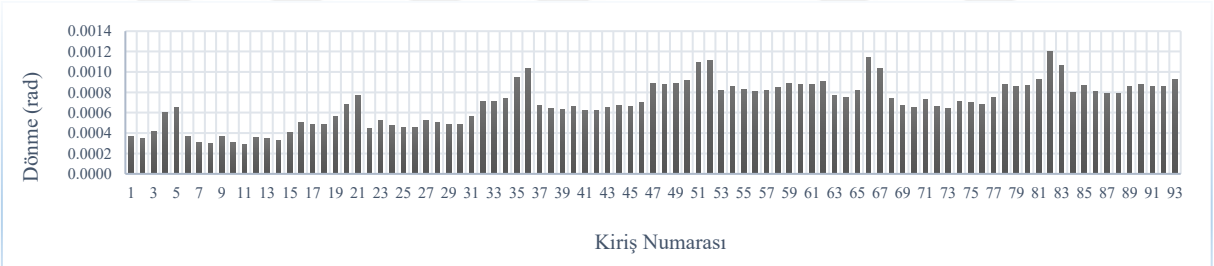
Şekil 4.166: Senaryo A-12'de kolon kesitlerinin betonunda maksimum birim şekildeğiştirme değerleri.



Şekil 4.167: Senaryo A-12'de kolon kesitlerinin donatısında maksimum birim şekildeğiştirme değerleri.



Şekil 4.168: Senaryo A-12'de kiriş kesitlerinin I ucunda maksimum dönme değerleri (rad).



Şekil 4.169: Senaryo A-12'de kiriş kesitlerinin J ucunda maksimum dönme değerleri (rad).

Tablo 4.59: Senaryo A-12'de kirişlerin hasar bölgeleri.

Kat	Kiriş sayısı					
	Sınırlı hasar	Belirgin hasar	İleri hasar	Göçme	Gevrek kırılma	Toplam
3	0	31	0	0	0	31
2	0	31	0	0	0	31
1	0	31	0	0	0	31

Tablo 4.60: Senaryo A-12'de kolonların hasar bölgeleri.

Kat	Kolon sayısı					
	Sınırlı hasar	Belirgin hasar	İleri hasar	Göçme	Gevrek kırılma	Toplam
3	20	0	0	0	0	20
2	20	0	0	0	0	20
1	2	17	0	1	0	20

Tablo 4.61: Senaryo A-12'de yan kolonların iç kuvvetleri ve birim şekildeğiştirmelerinde değişimleri.

Kolon No		P (kN)	M2 (kN.m)	M3 (kN.m)	V2 (kN)	V3 (kN)	T (kN.m)	ε_c	ε_s
42	Kontrol modeli	832	1726	2123	599	734	0.053	0.0024691	0.0021481
	Senaryo A-12	1070	1785	1964	640	766	8.7069	0.0026781	0.0023336
	Değişim (%)	29	3	-8	7	4	16328	9	9
45	Kontrol modeli	1166	1597	2274	720	608	0.053	0.0024924	0.0021713
	Senaryo A-12	1495	1690	2171	704	686	8.7069	0.0026579	0.0023194
	Değişim (%)	28	6	-5	-2	13	16328	7	7
47	Kontrol modeli	733	1764	2317	752	771	0.053	0.0025663	0.0022306
	Senaryo A-12	1344	1805	2189	710	790	8.7069	0.0026819	0.0023366
	Değişim (%)	83	2	-6	-6	3	16328	5	5
50	Kontrol modeli	728	1766	2309	746	773	0.053	0.0025619	0.0022266
	Senaryo A-12	1050	1750	2203	709	758	8.7069	0.0026393	0.0022964
	Değişim (%)	44	-1	-5	-5	-2	16328	3	3

Tablo 4.62: Senaryo A-12'de yan kirişlerin iç kuvvetleri ve dönme değişimleri.

Kiriş No		V2 (kN)	T (kN.m)	M3 (kN.m)	Dönme; I (rad)	Dönme; J (rad)
66	Kontrol modeli	504	121	526	0.0006339	0.0005967
	Senaryo A-12	600	84	692	0.0010377	0.0011420
	Değişim (%)	19	-31	32	64	91
67	Kontrol modeli	481	117	504	0.0005689	0.0005753
	Senaryo A-12	470	82	719	0.0012590	0.0010349
	Değişim (%)	-2	-30	43	121	80
82	Kontrol modeli	410	148	518	0.0007341	0.0007529
	Senaryo A-12	484	110	658	0.0011750	0.0011996
	Değişim (%)	18	-26	27	60	59
83	Kontrol modeli	399	143	502	0.0006736	0.0007283
	Senaryo A-12	311	100	588	0.0011386	0.0010649
	Değişim (%)	-22	-30	17	69	46

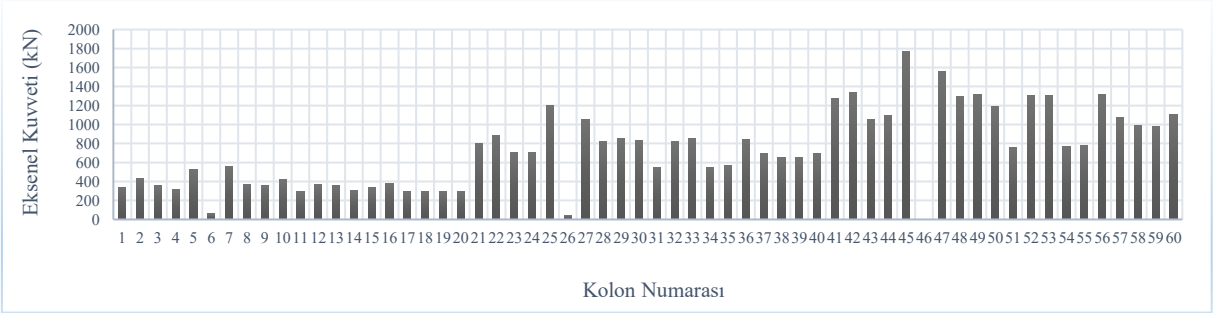
4.1.14. Senaryo A-13 Analiz Sonuçları

İlk katta yer alan tek bir iç kolon kaybı ve döşeme kalınlığının 18 cm'ye artırıldığı senaryosu için kolon kaybı **Tablo 4.63**'te gelen iç kuvvetler ve kütle ile simüle edilmiştir. Söz konusu kolonun ortadan kalkma süresi 0.05 saniye olarak ayarlanmıştır.

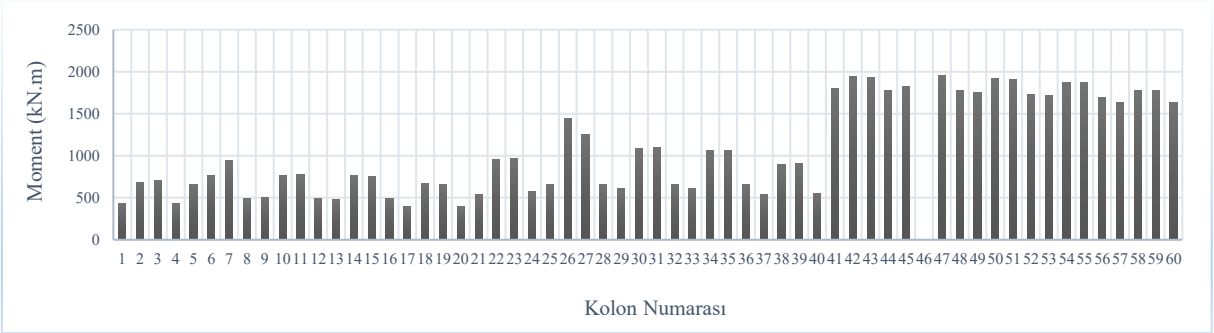
Tablo 4.63: Senaryo A-13'te kolonun sayısal simülasyonu.

P (kN)	M_x (kN.m)	M_y (kN.m)	V_x (kN)	V_y (kN)	Kütle (ton)
770	1837	2405	816	832	14.76

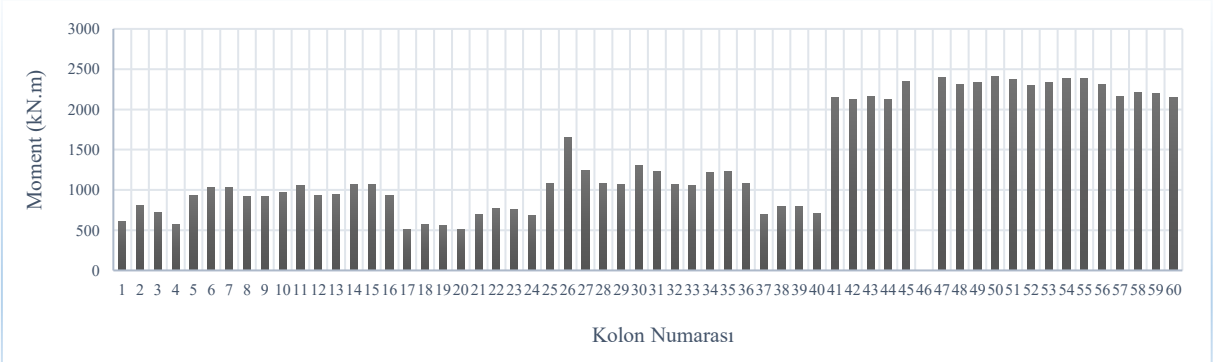
Senaryo A-13‘e ait analiz sonuçları **Şekil 4.170** ila **Şekil 4.182**’de sunulmuştur. Söz konusu şekillerde senaryo A-13 kapsamında kaldırılmış olan kolon 46 numarayla gösterilmiştir. Elemanların hasar düzeyleri ise **Tablo 4.64** ve **Tablo 4.65**’te açıklanmıştır. Ayrıca kolon kaldırma senaryosunda kaldırılmış olan kolonun komşu elemanlarının iç küvetleri, birim şekildeğiştirmeleri ve dönmelerinde gerçekleşen değişimler **Tablo 4.66** ve **Tablo 4.67** kapsamında sırasıyla yan kolonlar ve yan kirişler için sunulmuştur.



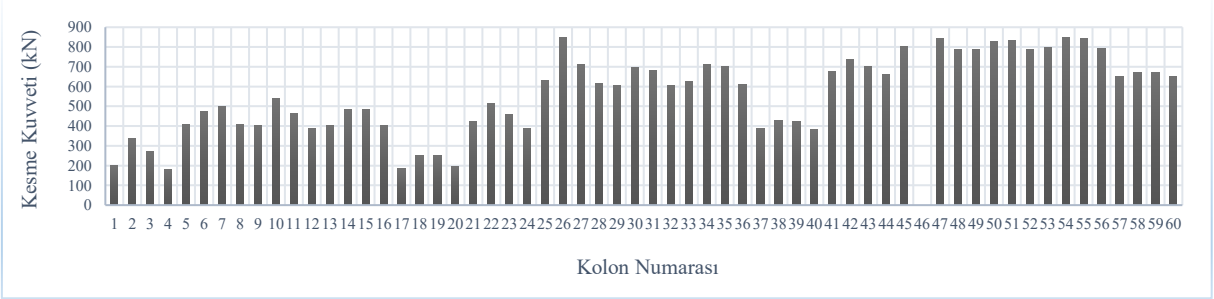
Şekil 4.170: Senaryo A-13’te kolonların maksimum eksenel kuvvetleri (kN).



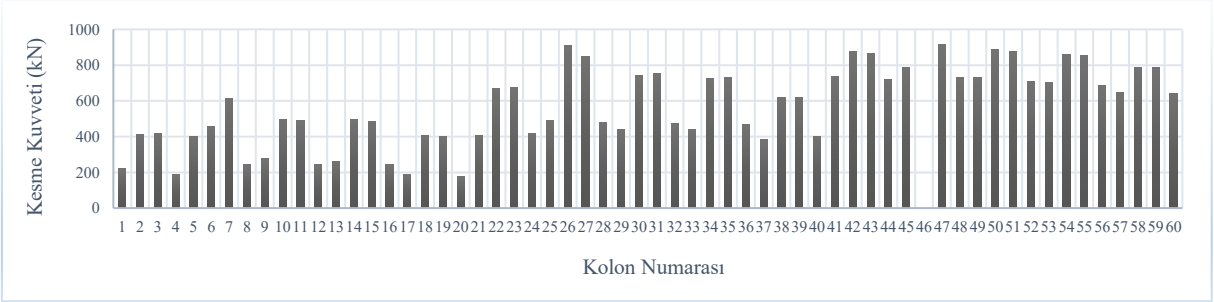
Şekil 4.171: Senaryo A-13’te kolonların X yönünde maksimum momentleri (kN.m).



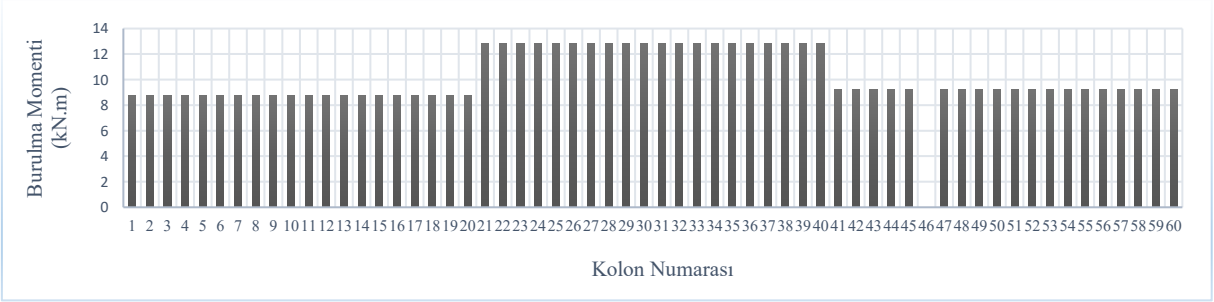
Şekil 4.172: Senaryo A-13’te kolonların Y yönünde maksimum momentleri (kN.m).



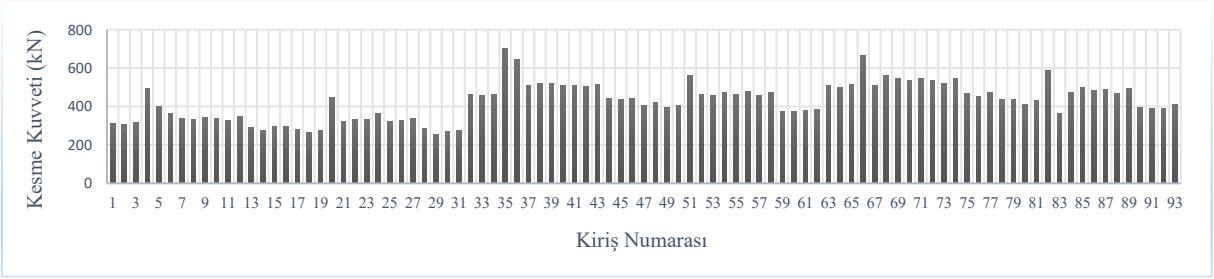
Şekil 4.173: Senaryo A-13'te kolonların X yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).



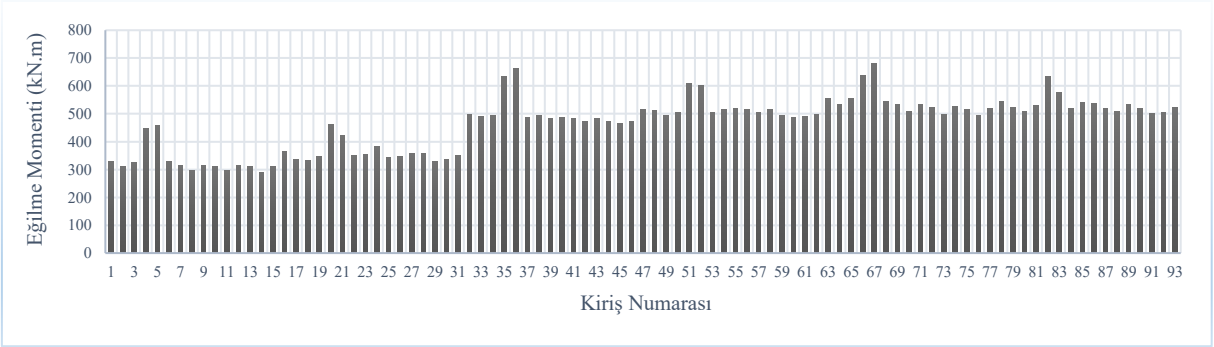
Şekil 4.174: Senaryo A-13'te kolonların Y yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).



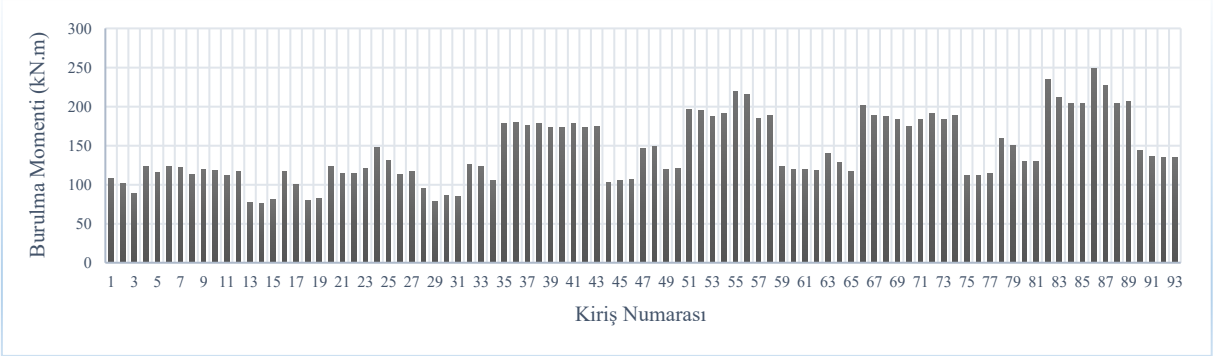
Şekil 4.175: Senaryo A-13'te kolonların maksimum burulma momentleri (kN.m).



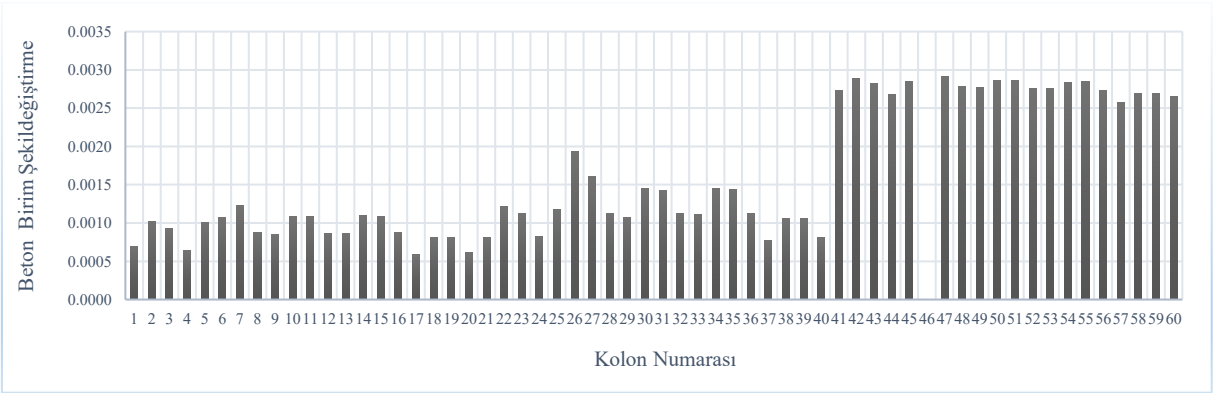
Şekil 4.176: Senaryo A-13'te kirişlerin maksimum kesme kuvvetleri (kN).



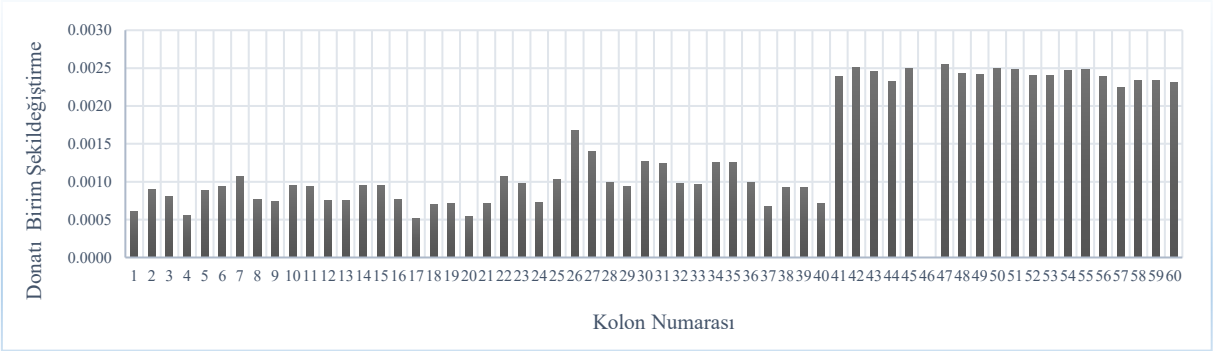
Şekil 4.177: Senaryo A-13'te kirişlerin maksimum eğilme momentleri (kN.m).



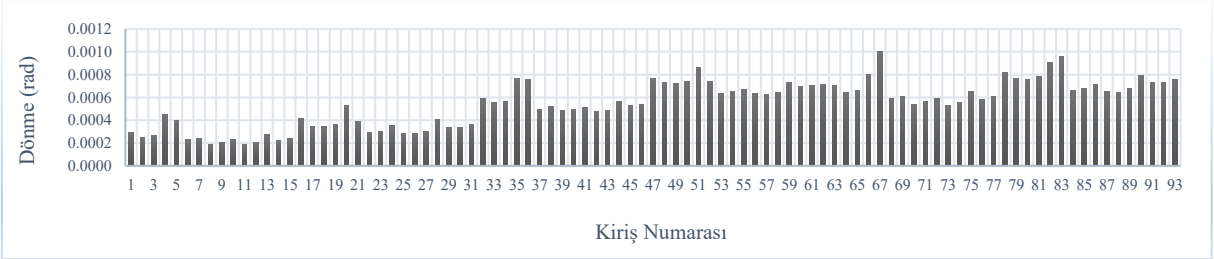
Şekil 4.178: Senaryo A-13'te kirişlerin maksimum burulma momentleri (kN.m).



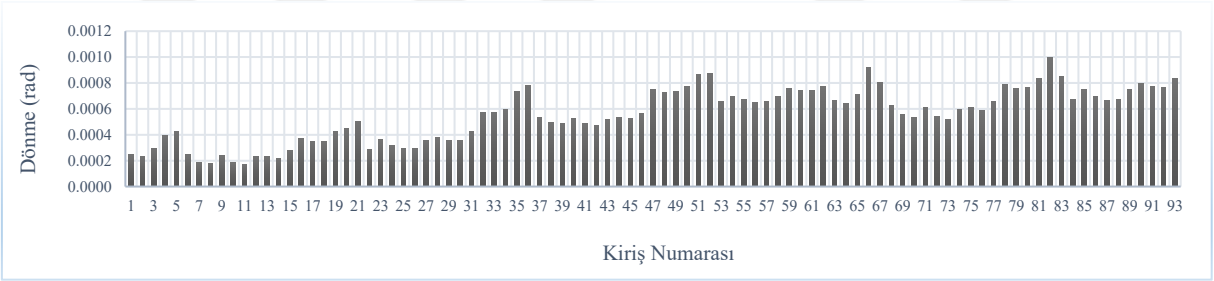
Şekil 4.179: Senaryo A-13'te kolon kesitlerinin betonunda maksimum birim şekildeğiştirme değerleri.



Şekil 4.180: Senaryo A-13'te kolon kesitlerinin donatısında maksimum birim şekildeğiştirme değerleri.



Şekil 4.181: Senaryo A-13'te kiriş kesitlerinin I ucunda maksimum dönme değerleri (rad).



Şekil 4.182: Senaryo A-13'te kiriş kesitlerinin J ucunda maksimum dönme değerleri (rad).

Tablo 4.64: Senaryo A-13'te kirişlerin hasar bölgeleri.

Kat	Kiriş sayısı					
	Sınırlı hasar	Belirgin hasar	İleri hasar	Göçme	Gevrek kırılma	Toplam
3	0	31	0	0	0	31
2	0	31	0	0	0	31
1	0	31	0	0	0	31

Tablo 4.65: Senaryo A-13'te kolonların hasar bölgeleri.

Kat	Kolon sayısı					
	Sınırlı hasar	Belirgin hasar	İleri hasar	Göçme	Gevrek kırılma	Toplam
3	20	0	0	0	0	20
2	20	0	0	0	0	20
1	0	19	0	1	0	20

Tablo 4.66: Senaryo A-13'te yan kolonların iç kuvvetleri ve birim şekildeğiştirmelerinde değişimleri.

Kolon No		P (kN)	M2 (kN.m)	M3 (kN.m)	V2 (kN)	V3 (kN)	T (kN.m)	ε_c	ε_s
42	Kontrol modeli	832	1726	2123	599	734	0.053	0.0024691	0.0021481
	Senaryo A-13	1341	1941	2118	738	877	9.1945	0.0028821	0.0025130
	Değişim (%)	62	13	-0.2	23	19	17248	17	17
45	Kontrol modeli	1166	1597	2274	720	608	0.053	0.0024924	0.0021713
	Senaryo A-13	1773	1830	2350	800	785	9.1945	0.0028544	0.0024926
	Değişim (%)	52	15	3	11	29	17248	15	15
47	Kontrol modeli	733	1764	2317	752	771	0.053	0.0025663	0.0022306
	Senaryo A-13	1555	1952	2395	845	918	9.1945	0.0029154	0.0025411
	Değişim (%)	112	11	12	12	19	17248	14	14
50	Kontrol modeli	728	1766	2309	746	773	0.053	0.0025619	0.0022266
	Senaryo A-13	1192	1915	2410	829	885	9.1945	0.0028600	0.0024890
	Değişim (%)	64	8	4	11	15	17248	12	12

Tablo 4.67: Senaryo A-13'te yan kirişlerin iç kuvvetleri ve dönme değişimleri.

Kiriş No		V2 (kN)	T (kN.m)	M3 (kN.m)	Dönme; I (rad)	Dönme; J (rad)
66	Kontrol modeli	504	121	526	0.0006339	0.0005967
	Senaryo A-13	665	201	636	0.0008050	0.0009191
	Değişim (%)	32	66	21	27	54
67	Kontrol modeli	481	117	504	0.0005689	0.0005753
	Senaryo A-13	508	189	681	0.0010023	0.0008071
	Değişim (%)	6	62	35	76	40
82	Kontrol modeli	410	148	518	0.0007341	0.0007529
	Senaryo A-13	587	234	635	0.0009094	0.0009974
	Değişim (%)	43	58	23	24	33
83	Kontrol modeli	399	143	502	0.0006736	0.0007283
	Senaryo A-13	362	211	577	0.0009567	0.0008467
	Değişim (%)	-9	47	15	42	16

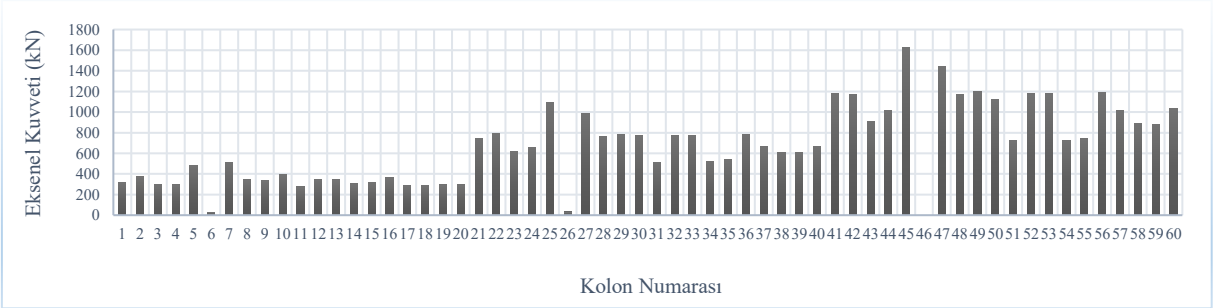
4.1.15. Senaryo A-14 Analiz Sonuçları

İlk katta yer alan tek bir iç kolon kaybı ve kirişlerin boyuna donatısını 4Ø14 dan 4Ø16'ya çıkaran senaryosu için kolon kaybı **Tablo 4.68**'de gelen iç kuvvetler ve kütle ile simüle edilmiştir. Söz konusu kolonun ortadan kalkma süresi 0.05 saniye olarak ayarlanmıştır.

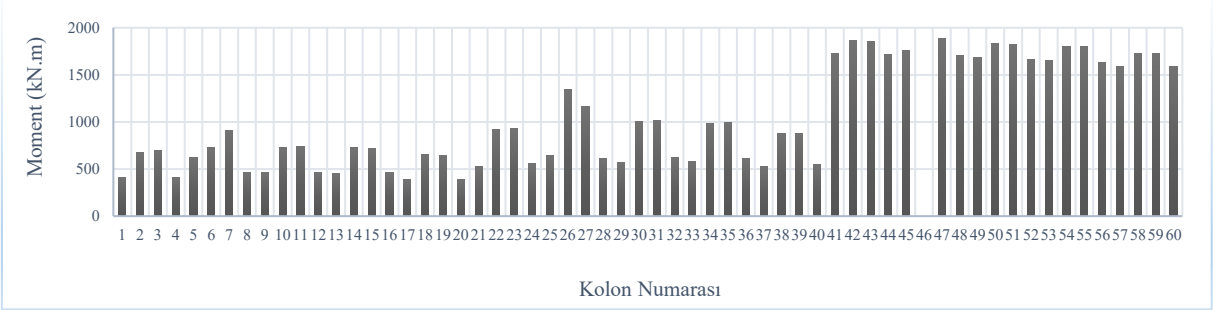
Tablo 4.68: Senaryo A-14'te kolonun sayısal simülasyonu.

P (kN)	M_x (kN.m)	M_y (kN.m)	V_x (kN)	V_y (kN)	Kütle (ton)
730	1764	2312	753	772	13.23

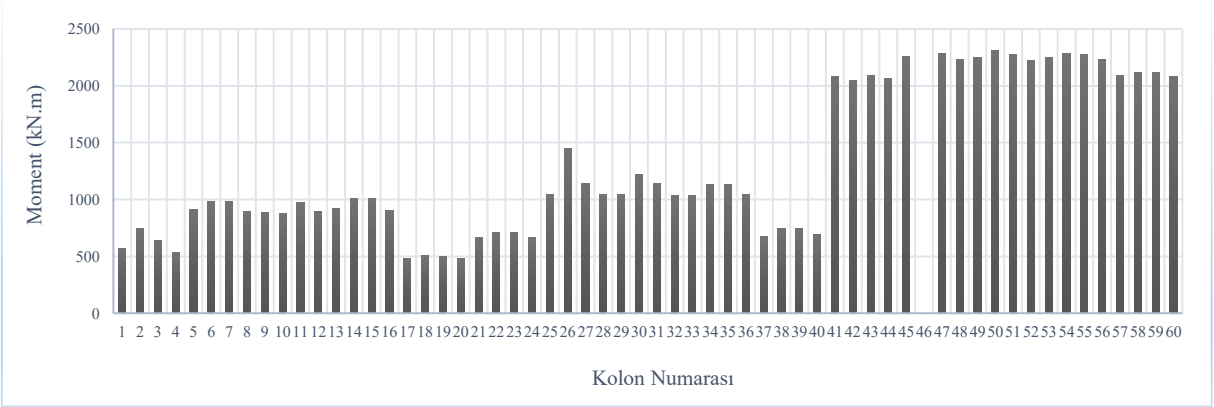
Senaryo A-14‘e ait analiz sonuçları **Şekil 4.183** ila **Şekil 4.195**’te sunulmuştur. Söz konusu şekillerde senaryo A-14 kapsamında kaldırılmış olan kolon 46 numarayla gösterilmiştir. Elemanların hasar düzeyleri ise **Tablo 4.69** ve **Tablo 4.70**’te açıklanmıştır. Ayrıca kolon kaldırma senaryosunda kaldırılmış olan kolonun komşu elemanlarının iç küvetleri, birim şekildeğiştirmeleri ve dönmelerinde gerçekleşen değişimler **Tablo 4.71** ve **Tablo 4.72** kapsamında sırasıyla yan kolonlar ve yan kirişler için sunulmuştur.



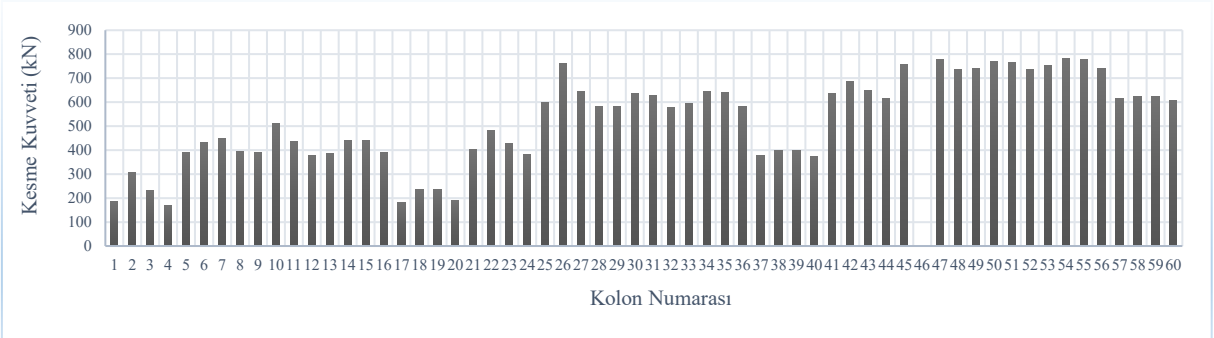
Şekil 4.183: Senaryo A-14’te kolonların maksimum eksenel kuvvetleri (kN).



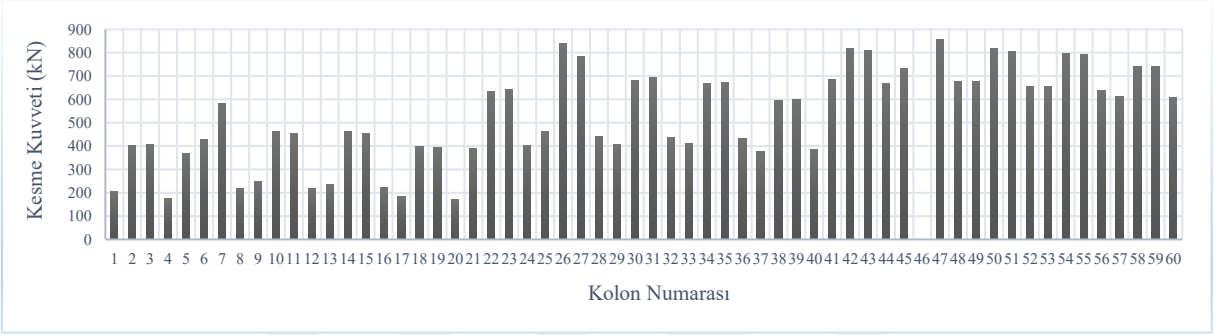
Şekil 4.184: Senaryo A-14’te kolonların X yönünde maksimum momentleri (kN.m).



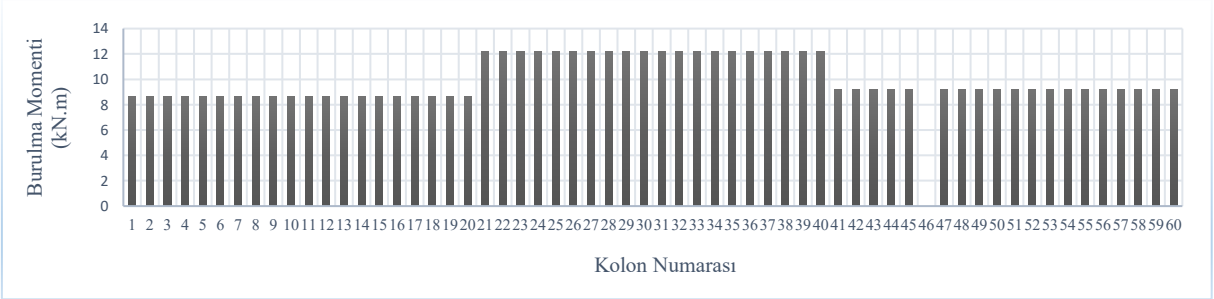
Şekil 4.185: Senaryo A-14’te kolonların Y yönünde maksimum momentleri (kN.m).



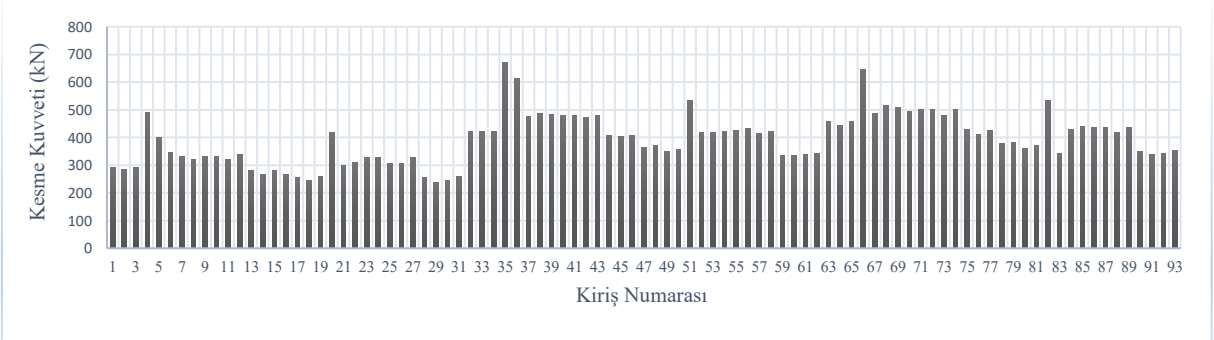
Şekil 4.186: Senaryo A-14'te kolonların X yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).



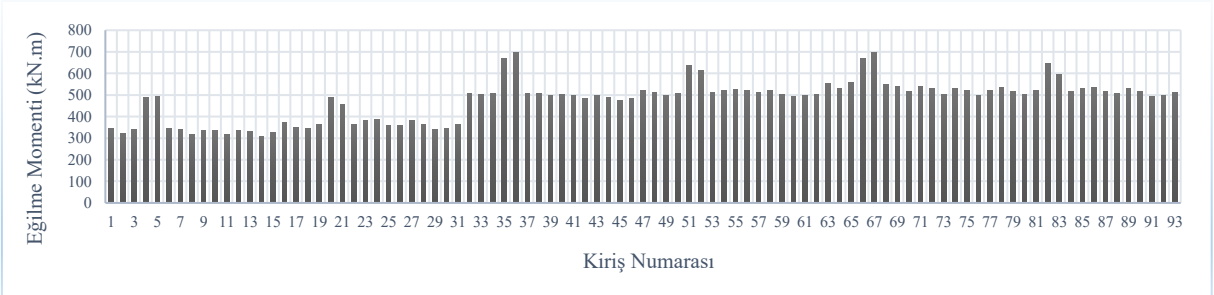
Şekil 4.187: Senaryo A-14'te kolonların Y yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).



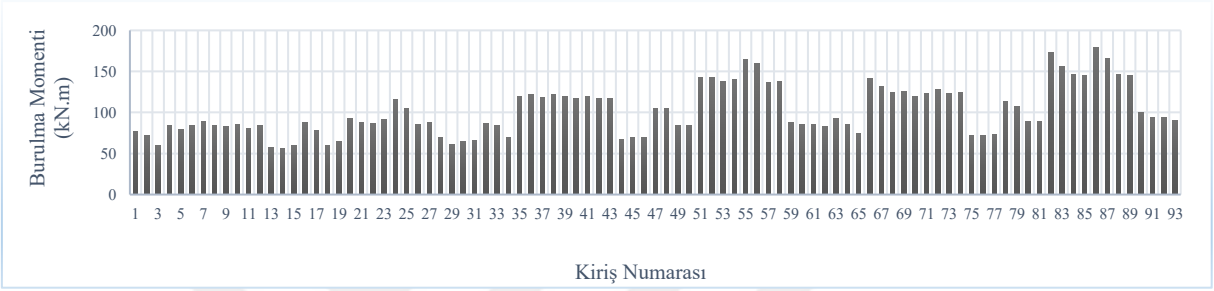
Şekil 4.188: Senaryo A-14'te kolonların maksimum burulma momentleri (kN.m).



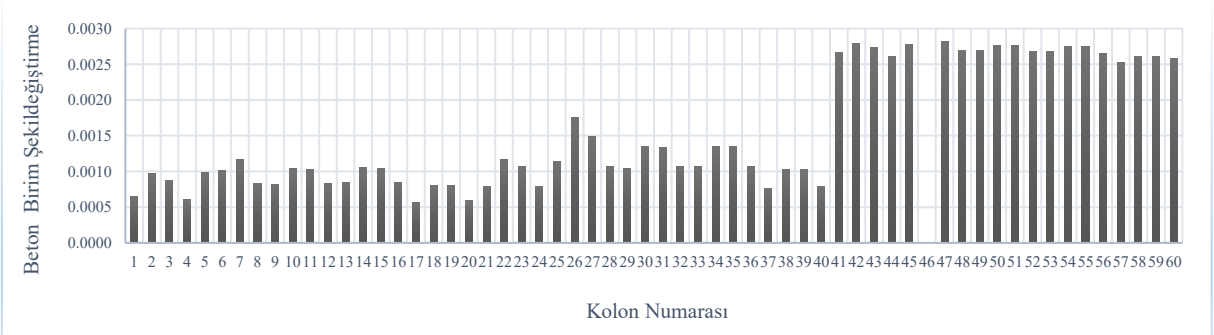
Şekil 4.189: Senaryo A-14'te kirişlerin maksimum kesme kuvvetleri (kN).



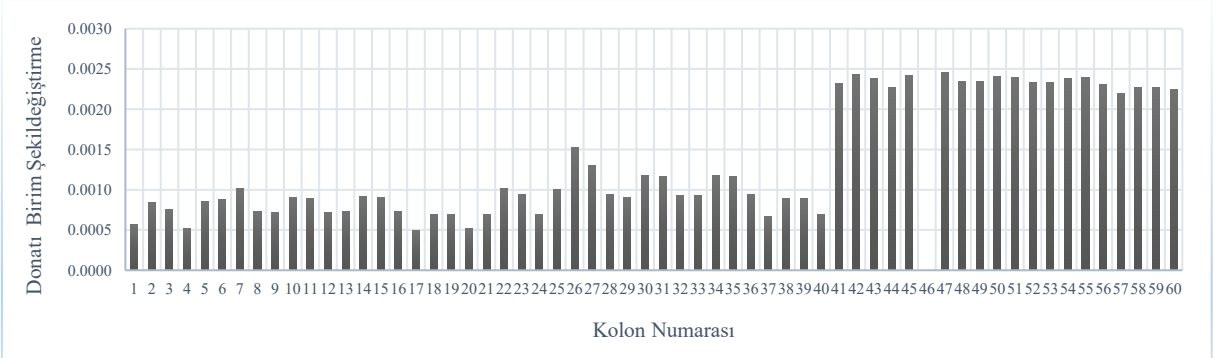
Şekil 4.190: Senaryo A-14'te kirişlerin maksimum eğilme momentleri (kN.m).



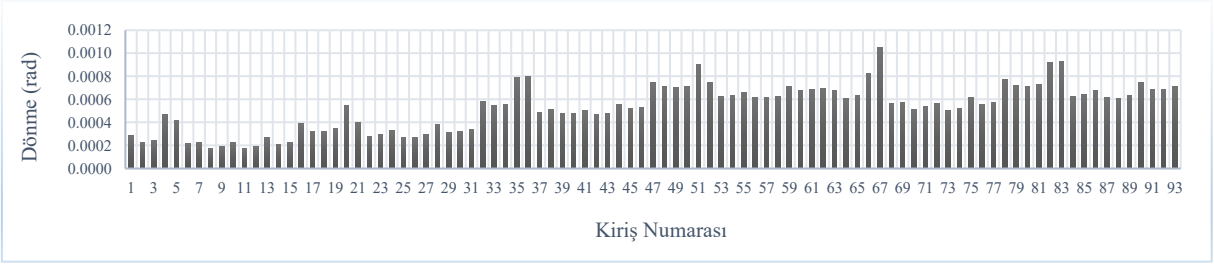
Şekil 4.191: Senaryo A-14'te kirişlerin maksimum burulma momentleri (kN.m).



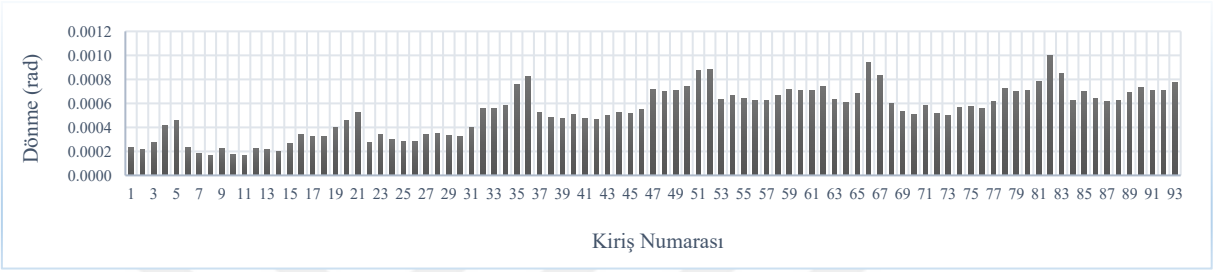
Şekil 4.192: Senaryo A-14'te kolon kesitlerinin betonunda maksimum birim şekildeğiştirme değerleri.



Şekil 4.193: Senaryo A-14'te kolon kesitlerinin donatısında maksimum birim şekildeğiştirme değerleri.



Şekil 4.194: Senaryo A-14'te kiriş kesitlerinin I ucunda maksimum dönme değerleri (rad).



Şekil 4.195: Senaryo A-14'te kiriş kesitlerinin J ucunda maksimum dönme değerleri (rad).

Tablo 4.69: Senaryo A-14'te kirişlerin hasar bölgeleri.

Kat	Kiriş sayısı					
	Sınırlı hasar	Belirgin hasar	İleri hasar	Göçme	Gevrek kırılma	Toplam
3	0	31	0	0	0	31
2	0	31	0	0	0	31
1	0	31	0	0	0	31

Tablo 4.70: Senaryo A-14'te kolonların hasar bölgeleri.

Kat	Kolon sayısı					
	Sınırlı hasar	Belirgin hasar	İleri hasar	Göçme	Gevrek kırılma	Toplam
3	20	0	0	0	0	20
2	20	0	0	0	0	20
1	0	19	0	1	0	20

Tablo 4.71: Senaryo A-14'te yan kolonların iç kuvvetleri ve birim şekildeğiştirmelerinde değişimleri.

Kolon No		P (kN)	M2 (kN.m)	M3 (kN.m)	V2 (kN)	V3 (kN)	T (kN.m)	ε_c	ε_s
42	Kontrol modeli	832	1726	2123	599	734	0.053	0.0024691	0.0021481
	Senaryo A-14	1173	1864	2046	686	819	9.1725	0.0027896	0.0024313
	Değişim (%)	41	8	-4	15	12	17207	13	13
45	Kontrol modeli	1166	1597	2274	720	608	0.053	0.0024924	0.0021713
	Senaryo A-14	1626	1762	2256	757	734	9.1725	0.0027709	0.0024187
	Değişim (%)	40	10	-1	5	21	17207	11	11
47	Kontrol modeli	733	1764	2317	752	771	0.053	0.0025663	0.0022306
	Senaryo A-14	1444	1888	2287	779	857	9.1725	0.0028147	0.0024526
	Değişim (%)	97	7	-1	4	11	17207	10	10
50	Kontrol modeli	728	1766	2309	746	773	0.053	0.0025619	0.0022266
	Senaryo A-14	1125	1835	2309	771	818	9.1725	0.0027616	0.0024029
	Değişim (%)	55	4	0	3	6	17207	8	8

Tablo 4.72: Senaryo A-14'te yan kirişlerin iç kuvvetleri ve dönme değişimleri.

Kiriş No		V2 (kN)	T (kN.m)	M3 (kN.m)	Dönme; I (rad)	Dönme; J (rad)
66	Kontrol modeli	504	121	526	0.0006339	0.0005967
	Senaryo A-14	645	141	668	0.0008277	0.0009413
	Değişim (%)	28	17	27	30	58
67	Kontrol modeli	481	117	504	0.0005689	0.0005753

Tablo 4.72 (devam): Senaryo A-14'te yan kirişlerin iç kuvvetleri ve dönme değişimleri.

	Senaryo A-14	486	132	697	0.0010471	0.0008353
	Değişim (%)	1	13	38	84	45
82	Kontrol modeli	410	148	518	0.0007341	0.0007529
	Senaryo A-14	535	173	644	0.0009187	0.0010011
	Değişim (%)	31	17	24	25	33
83	Kontrol modeli	399	143	502	0.0006736	0.0007283
	Senaryo A-14	342	156	594	0.0009287	0.0008531
	Değişim (%)	-14	9	18	38	17

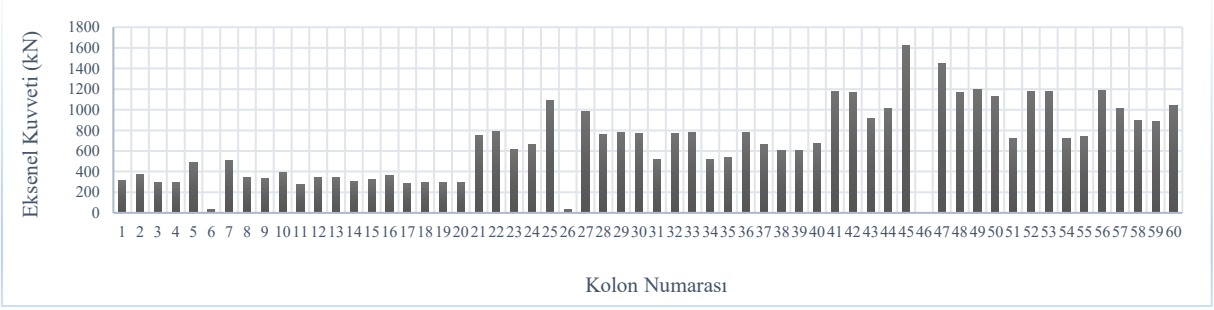
4.1.16. Senaryo A-15 Analiz Sonuçları

İlk katta yer alan tek bir iç kolon kaybı ve kirişlerin boyuna donatısını 4Ø14 dan 4Ø18'e çıkaran senaryosu için kolon kaybı **Tablo 4.73**'te gelen iç kuvvetler ve kütle ile simüle edilmiştir. Söz konusu kolonun ortadan kalkma süresi 0.05 saniye olarak ayarlanmıştır.

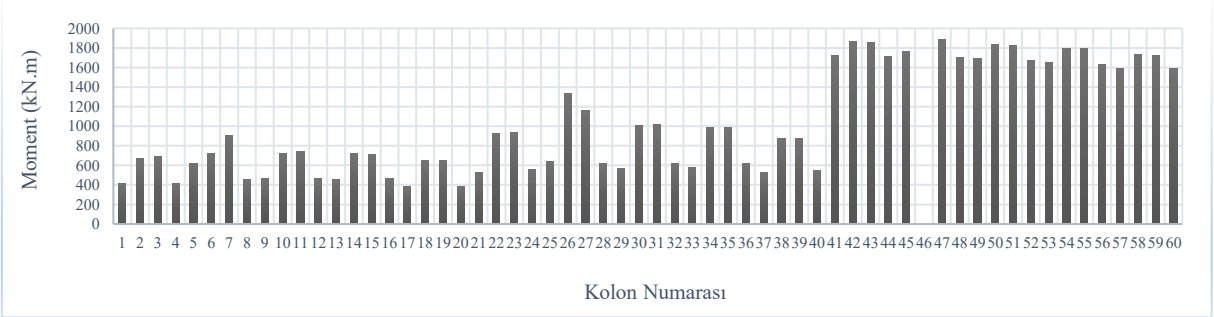
Tablo 4.73: Senaryo A-15'te kolonun sayısal simülasyonu.

P (kN)	M_x (kN.m)	M_y (kN.m)	V_x (kN)	V_y (kN)	Kütle (ton)
730	1764	2311	753	772	13.23

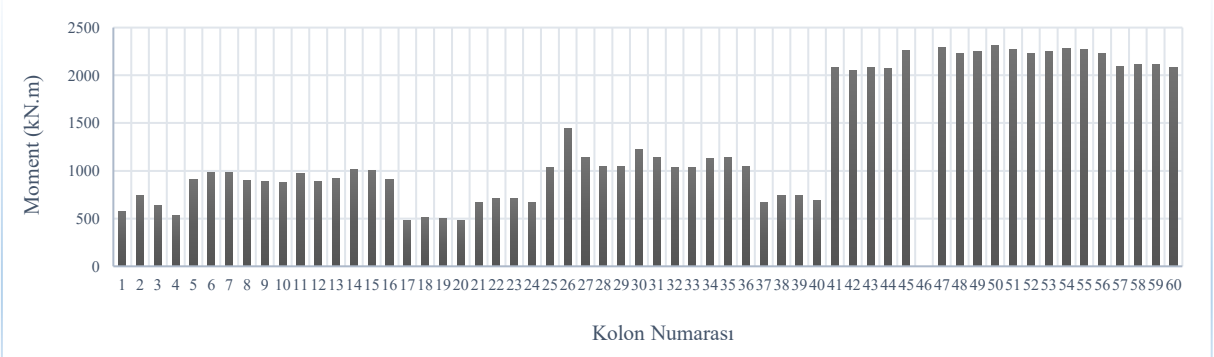
Senaryo A-15'e ait analiz sonuçları **Şekil 4.196** ila **Şekil 4.208**'de sunulmuştur. Söz konusu şekillerde senaryo A-15 kapsamında kaldırılmış olan kolon 46 numarayla gösterilmiştir. Elemanların hasar düzeyleri ise **Tablo 4.74** ve **Tablo 4.75**'te açıklanmıştır. Ayrıca kolon kaldırma senaryosunda kaldırılmış olan kolonun komşu elemanlarının iç küvetleri, birim şekildeğiştirmeleri ve dönmelerinde gerçekleşen değişimler **Tablo 4.76** ve **Tablo 4.77** kapsamında sırasıyla yan kolonlar ve yan kirişler için sunulmuştur.



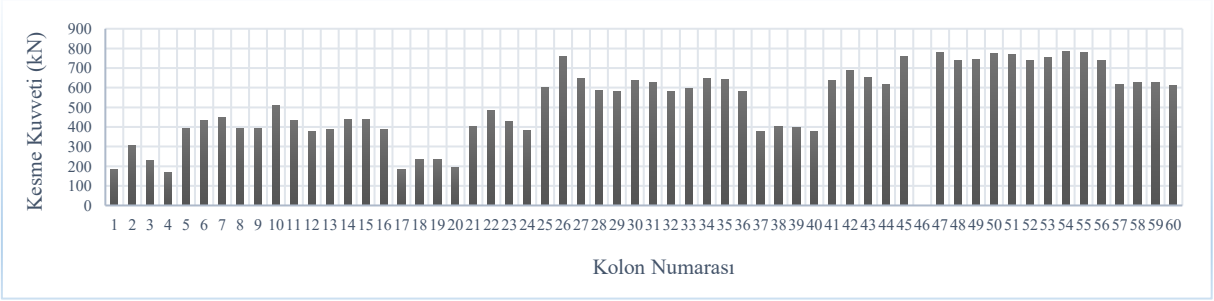
Şekil 4.196: Senaryo A-15'te kolonların maksimum eksenel kuvvetleri (kN).



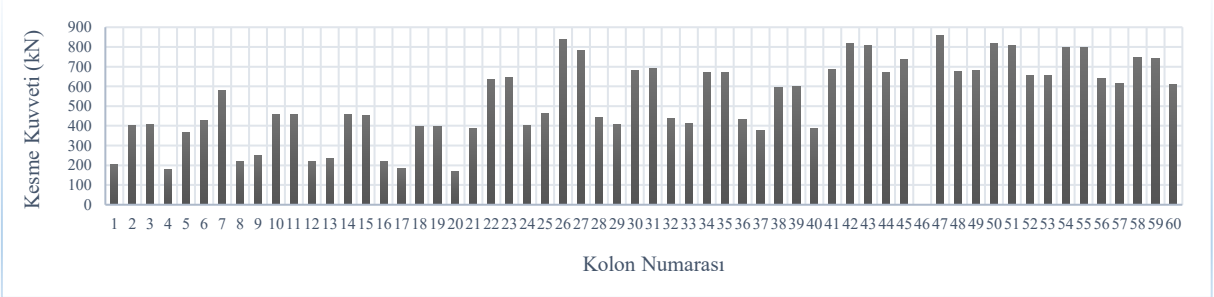
Şekil 4.197: Senaryo A-15'te kolonların X yönünde maksimum momentleri (kN.m).



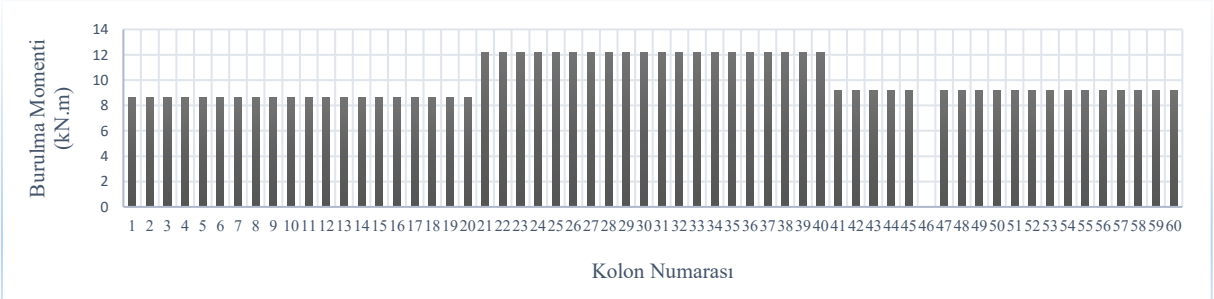
Şekil 4.198: Senaryo A-15'te kolonların Y yönünde maksimum momentleri (kN.m).



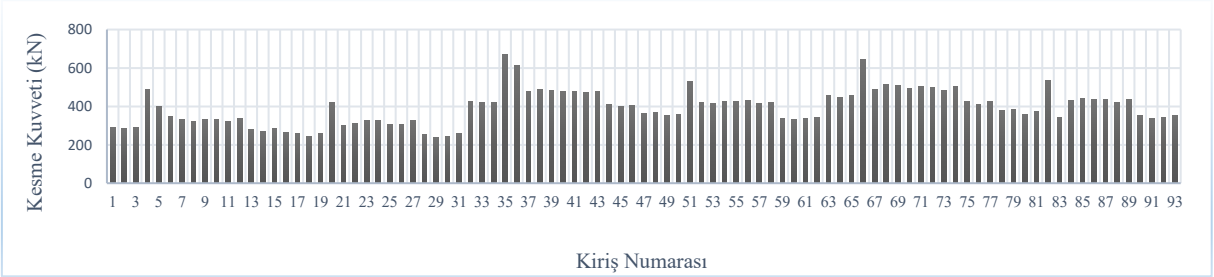
Şekil 4.199: Senaryo A-15'te kolonların X yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).



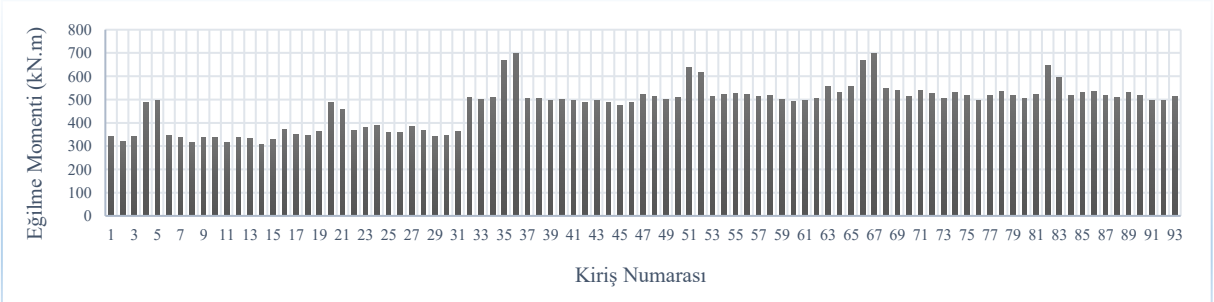
Şekil 4.200: Senaryo A-15'te kolonların Y yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).



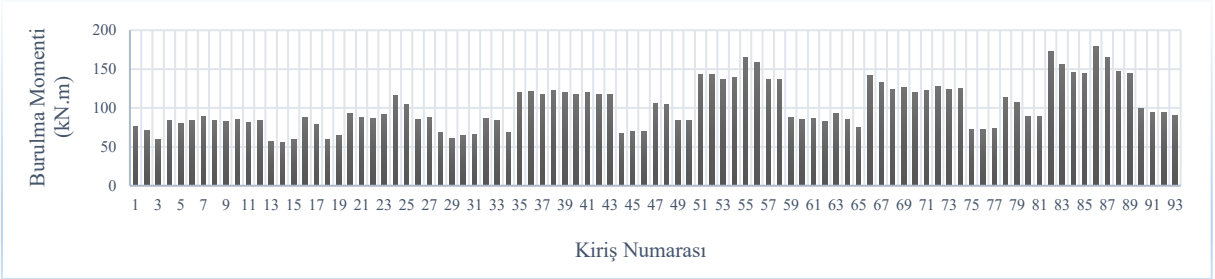
Şekil 4.201: Senaryo A-15'te kolonların maksimum burulma momentleri (kN.m).



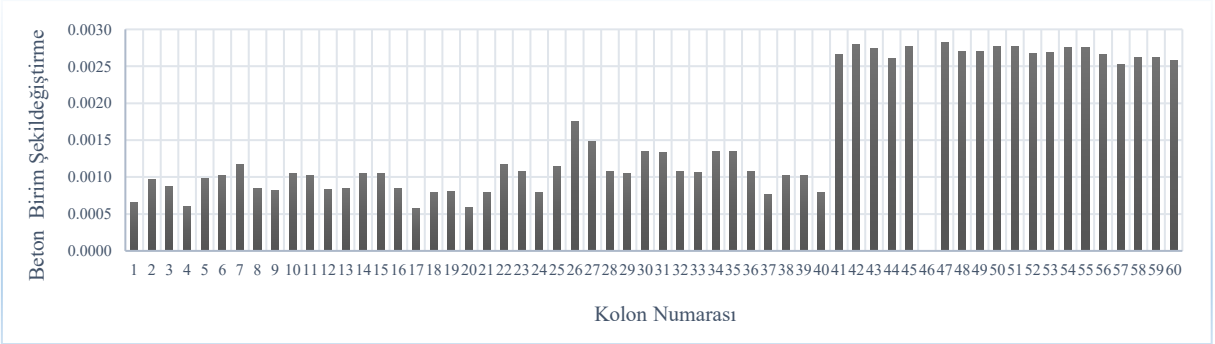
Şekil 4.202: Senaryo A-15'te kirişlerin maksimum kesme kuvvetleri (kN).



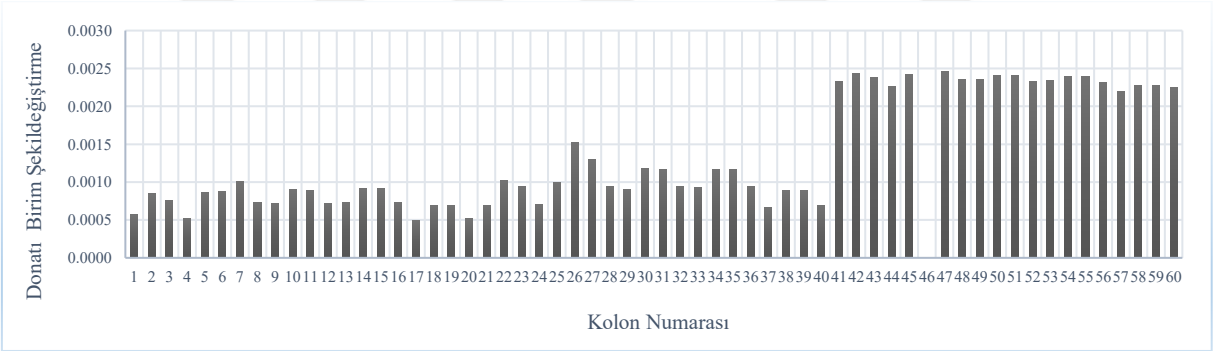
Şekil 4.203: Senaryo A-15'te kirişlerin maksimum eğilme momentleri (kN.m).



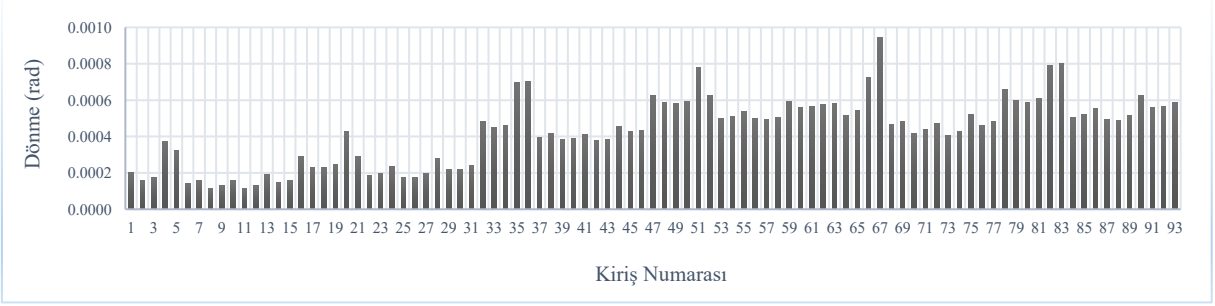
Şekil 4.204: Senaryo A-15'te kirişlerin maksimum burulma momentleri (kN.m).



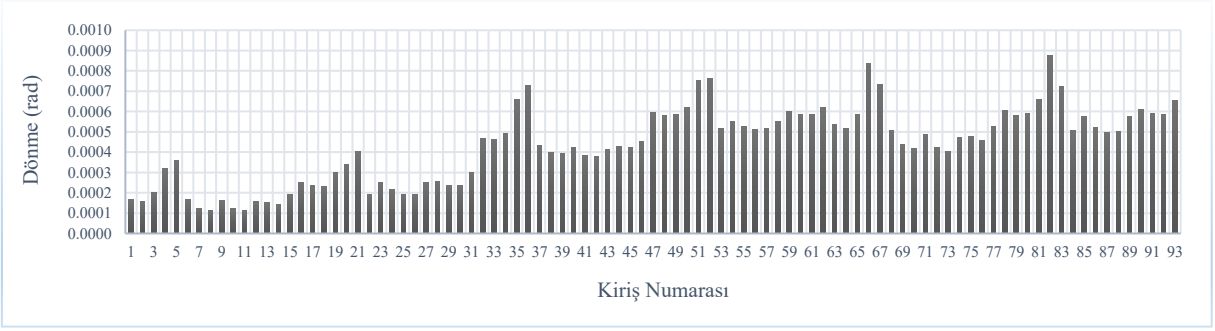
Şekil 4.205: Senaryo A-15'te kolon kesitlerinin betonunda maksimum birim şekildeğiştirme değerleri.



Şekil 4.206: Senaryo A-15'te kolon kesitlerinin donatısında maksimum birim şekildeğiştirme değerleri.



Şekil 4.207: Senaryo A-15'te kiriş kesitlerinin I ucunda maksimum dönme değerleri (rad).



Şekil 4.208: Senaryo A-15'te kiriş kesitlerinin J ucunda maksimum dönme değerleri (rad).

Tablo 4.74: Senaryo A-15'te kirişlerin hasar bölgeleri.

Kat	Kiriş sayısı					
	Sınırlı hasar	Belirgin hasar	İleri hasar	Göçme	Gevrek kırılma	Toplam
3	0	31	0	0	0	31
2	0	31	0	0	0	31
1	0	31	0	0	0	31

Tablo 4.75: Senaryo A-15'te kolonların hasar bölgeleri.

Kat	Kolon sayısı					
	Sınırlı hasar	Belirgin hasar	İleri hasar	Göçme	Gevrek kırılma	Toplam
3	20	0	0	0	0	20
2	20	0	0	0	0	20
1	0	19	0	1	0	20

Tablo 4.76: Senaryo A-15'te yan kolonların iç kuvvetleri ve birim şekildeğiştirmelerinde değişimleri.

Kolon No		P (kN)	M2 (kN.m)	M3 (kN.m)	V2 (kN)	V3 (kN)	T (kN.m)	ε_c	ε_s
42	Kontrol modeli	832	1726	2123	599	734	0.053	0.0024691	0.0021481
	Senaryo A-15	1171	1865	2046	687	819	9.1874	0.0027916	0.0024333

Tablo 4.76 (devam): Senaryo A-15'te yan kolonların iç kuvvetleri ve birim şekildeğiştirmelerinde değişimleri.

	Değişim (%)	41	8	-4	15	12	17235	13	13
45	Kontrol modeli	1166	1597	2274	720	608	0.053	0.0024924	0.0021713
	Senaryo A-15	1623	1762	2256	759	734	9.1874	0.0027743	0.0024217
	Değişim (%)	39	10	-1	5	21	17235	11	12
47	Kontrol modeli	733	1764	2317	752	771	0.053	0.0025663	0.0022306
	Senaryo A-15	1444	1888	2287	781	857	9.1874	0.0028174	0.0024547
	Değişim (%)	97	7	-1	4	11	17235	10	10
50	Kontrol modeli	728	1766	2309	746	773	0.053	0.0025619	0.0022266
	Senaryo A-15	1125	1835	2309	772	820	9.1874	0.0027650	0.0024060
	Değişim (%)	55	4	0	4	6	17235	8	8

Tablo 4.77: Senaryo A-15'te yan kirişlerin iç kuvvetleri ve dönme değişimleri.

Kiriş No		V2 (kN)	T (kN.m)	M3 (kN.m)	Dönme; I (rad)	Dönme; J (rad)
66	Kontrol modeli	504	121	526	0.0006339	0.0005967
	Senaryo A-15	644	141	667	0.0007260	0.0008387
	Değişim (%)	28	17	27	15	41
67	Kontrol modeli	481	117	504	0.0005689	0.0005753
	Senaryo A-15	486	132	697	0.0009449	0.0007339
	Değişim (%)	1	13	38	66	28
82	Kontrol modeli	410	148	518	0.0007341	0.0007529

Tablo 4.77 (devam): Senaryo A-15'te yan kirişlerin iç kuvvetleri ve dönme değişimleri.

	Senaryo A-15	535	173	644	0.0007917	0.0008733
	Değişim (%)	31	17	24	8	16
83	Kontrol modeli	399	143	502	0.0006736	0.0007283
	Senaryo A-15	342	156	594	0.0007999	0.0007247
	Değişim (%)	-14	9	18	19	-1

4.1.17. Senaryo A-16 Analiz Sonuçları

İlk katta yer alan bir köşe kolon ve kenar orta kolonun birlikte kaybı senaryosu için kolon kaybı **Tablo 4.78** ve **Tablo 4.79**'da gelen iç kuvvetler ve kütle ile simüle edilmiştir. Söz konusu kolonların ortadan kalkma süresi 0.05 saniye olarak ayarlanmıştır.

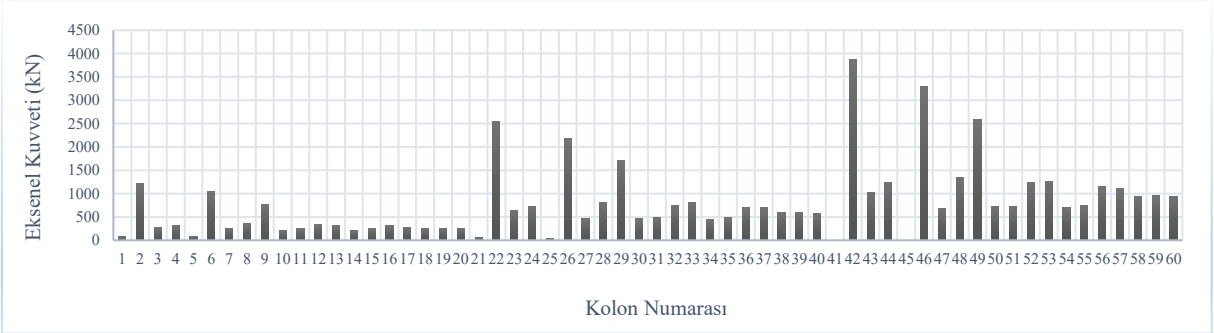
Tablo 4.78: Senaryo A-16'da köşe kolonun sayısal simülasyonu.

P (kN)	M_x (kN.m)	M_y (kN.m)	V_x (kN)	V_y (kN)	Kütle (ton)
1083	1581	2109	589	592	5.65

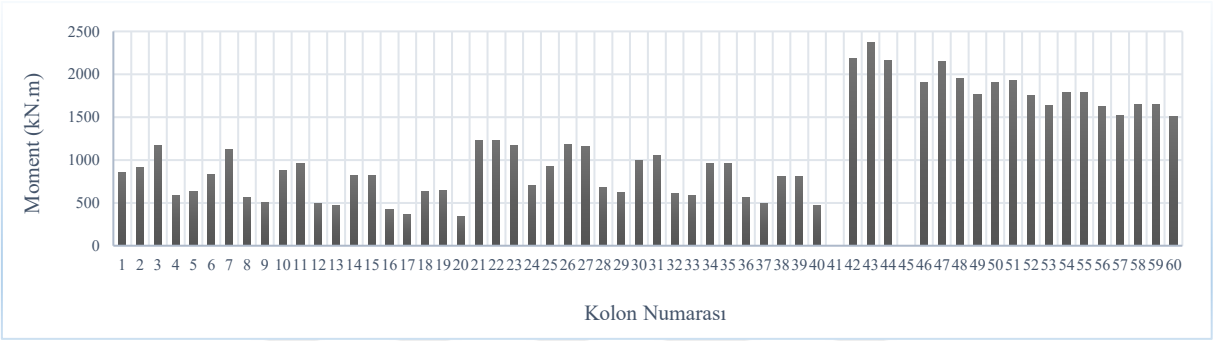
Tablo 4.79: Senaryo A-16'da kenar orta kolonun sayısal simülasyonu.

P (kN)	M_x (kN.m)	M_y (kN.m)	V_x (kN)	V_y (kN)	Kütle (ton)
1166	1597	2274	720	608	8.59

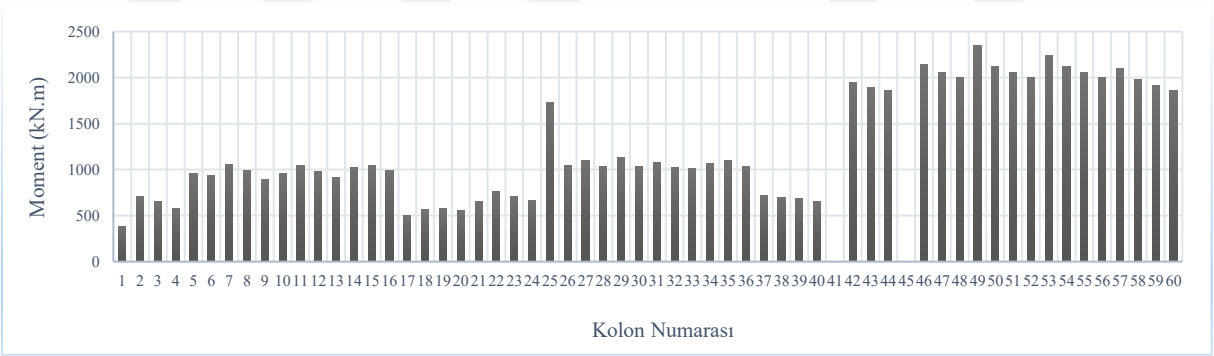
Senaryo A-16'ya ait analiz sonuçları **Şekil 4.209** ila **Şekil 4.221**'de sunulmuştur. Söz konusu şekillerde senaryo A-16 kapsamında kaldırılmış olan köşe kolon ve kenar orta kolon sırasıyla 41 ve 45 numaralarla gösterilmiştir. Elemanların hasar düzeyleri ise **Tablo 4.80** ve **Tablo 4.81**'de açıklanmıştır.



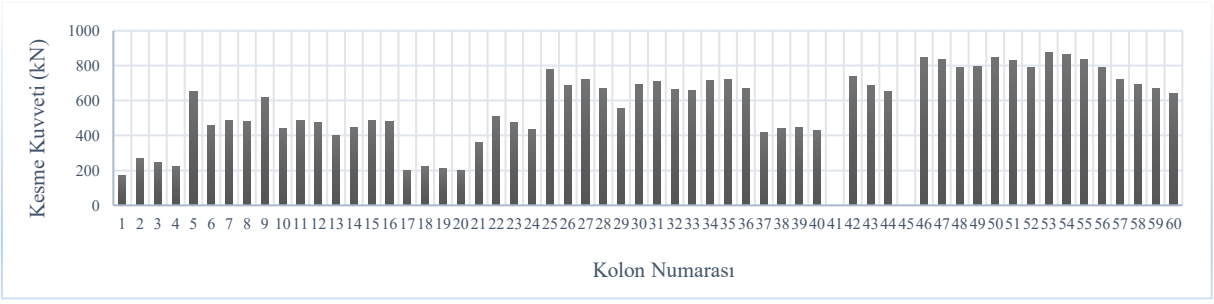
Şekil 4.209: Senaryo A-16'da kolonların maksimum eksenel kuvvetleri (kN).



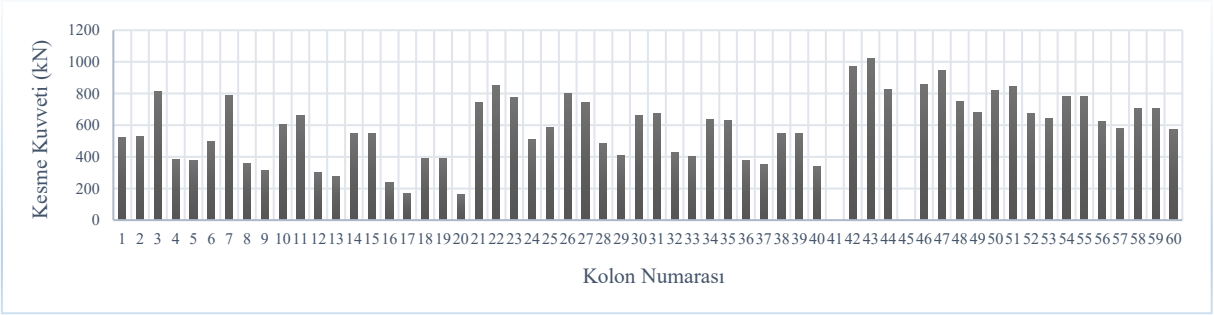
Şekil 4.210: Senaryo A-16'da kolonların X yönünde maksimum momentleri (kN.m).



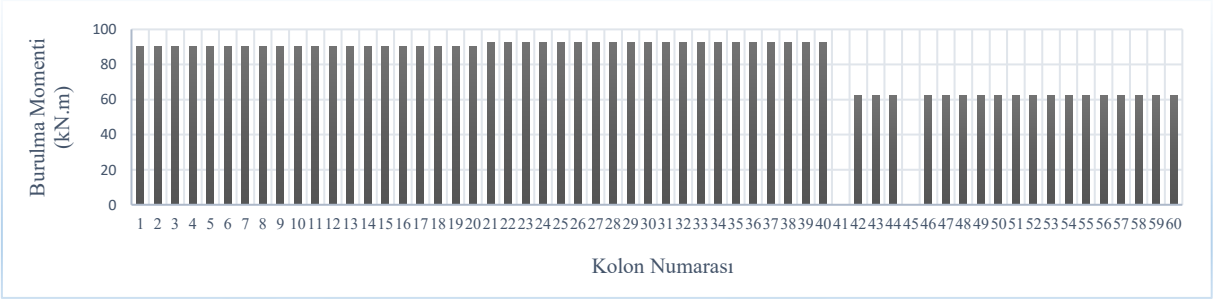
Şekil 4.211: Senaryo A-16'da kolonların Y yönünde maksimum momentleri (kN.m).



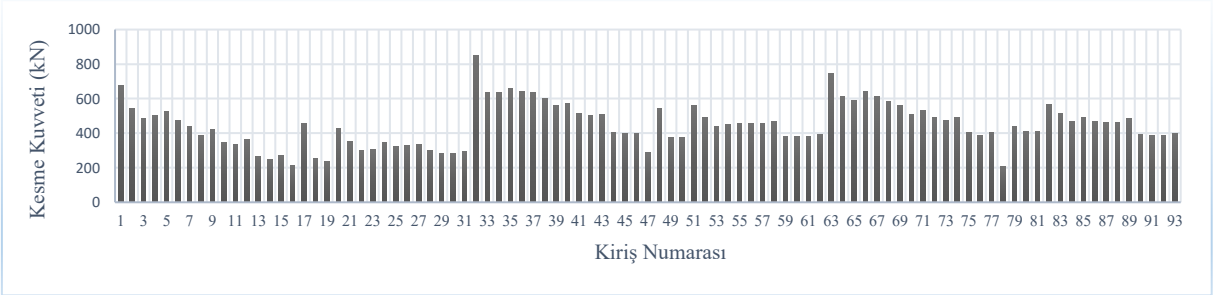
Şekil 4.212: Senaryo A-16'da kolonların X yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).



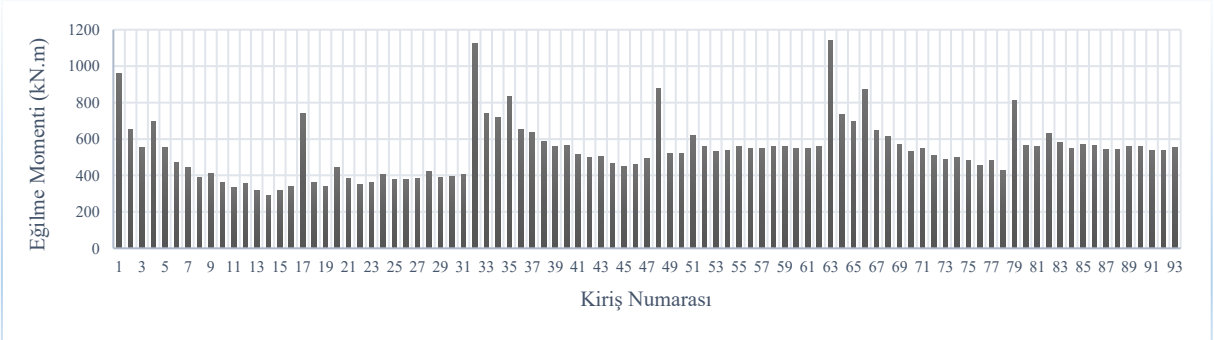
Şekil 4.213: Senaryo A-16'da kolonların Y yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).



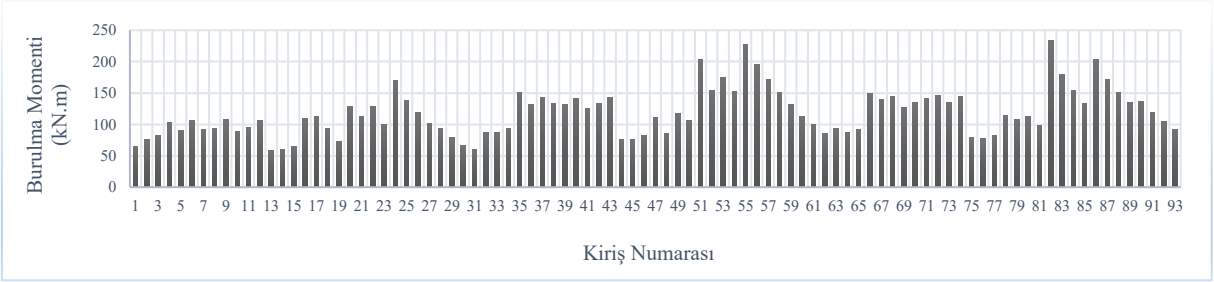
Şekil 4.214: Senaryo A-16'da kolonların maksimum burulma momentleri (kN.m).



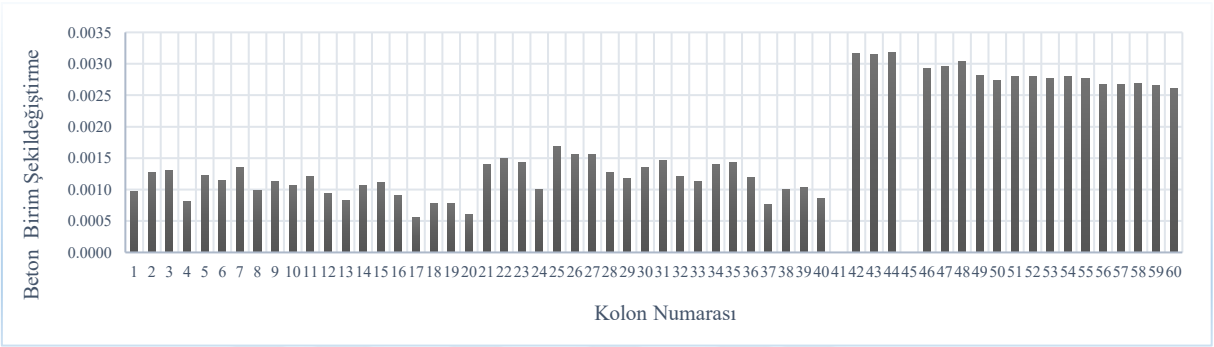
Şekil 4.215: Senaryo A-16'da kirişlerin maksimum kesme kuvvetleri (kN).



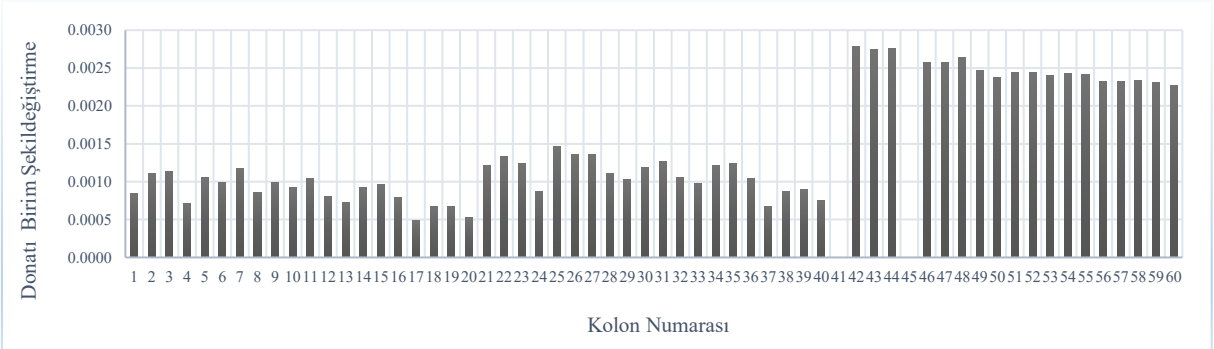
Şekil 4.216: Senaryo A-16'da kirişlerin maksimum eğilme momentleri (kN.m).



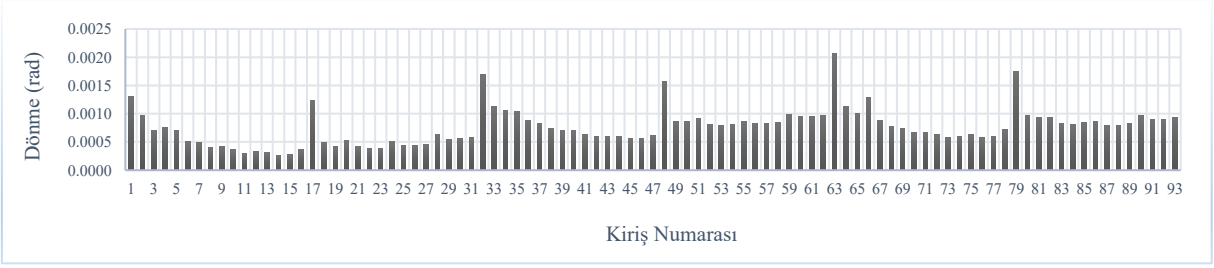
Şekil 4.217: Senaryo A-16'da kirişlerin maksimum burulma momentleri (kN.m).



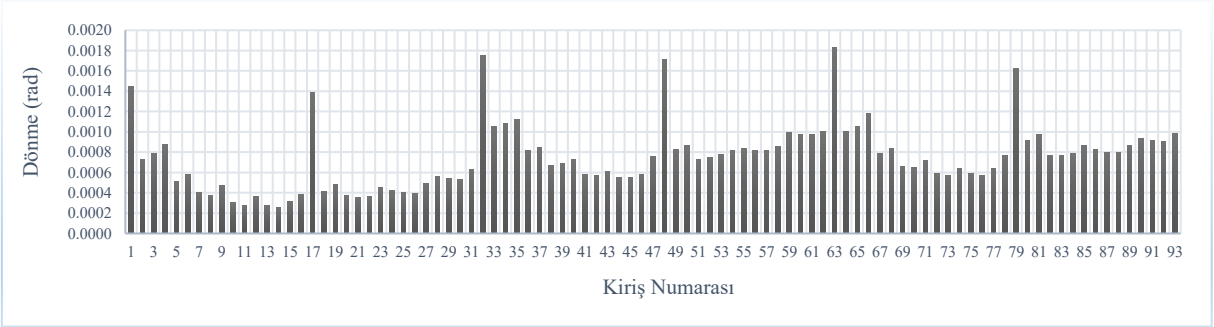
Şekil 4.218: Senaryo A-16'da kolon kesitlerinin betonunda maksimum birim şekildeğiştirme değerleri.



Şekil 4.219: Senaryo A-16'da kolon kesitlerinin donatısında maksimum birim şekildeğiştirme değerleri.



Şekil 4.220: Senaryo A-16'da kiriş kesitlerinin I ucunda maksimum dönme değerleri (rad).



Şekil 4.221: Senaryo A-16'da kiriş kesitlerinin J ucunda maksimum dönme değerleri (rad).

Tablo 4.80: Senaryo A-16'da kirişlerin hasar bölgeleri.

Kat	Kiriş sayısı					
	Sınırlı hasar	Belirgin hasar	İleri hasar	Göçme	Gevrek kırılma	Toplam
3	0	31	0	0	0	31
2	0	31	0	0	1	31
1	0	31	0	0	0	31

Tablo 4.81: Senaryo A-16'da kolonların hasar bölgeleri.

Kat	Kolon sayısı					
	Sınırlı hasar	Belirgin hasar	İleri hasar	Göçme	Gevrek kırılma	Toplam
3	20	0	0	0	0	20
2	20	0	0	0	0	20
1	0	18	0	2	0	20

4.1.18. Senaryo A-17 Analiz Sonuçları

İlk katta yer alan bir köşe kolon ve iki kenar orta kolonun birlikte kaybı senaryosu için kolon kaybı **Tablo 4.82** ila **Tablo 4.84**'te gelen iç kuvvetler ve kütle ile simüle edilmiştir. Söz konusu kolonların ortadan kalkma süresi 0.05 saniye olarak ayarlanmıştır.

Tablo 4.82: Senaryo A-17'de köşe kolonun sayısal simülasyonu.

P (kN)	M_x (kN.m)	M_y (kN.m)	V_x (kN)	V_y (kN)	Kütle (ton)
1083	1581	2109	589	592	5.65

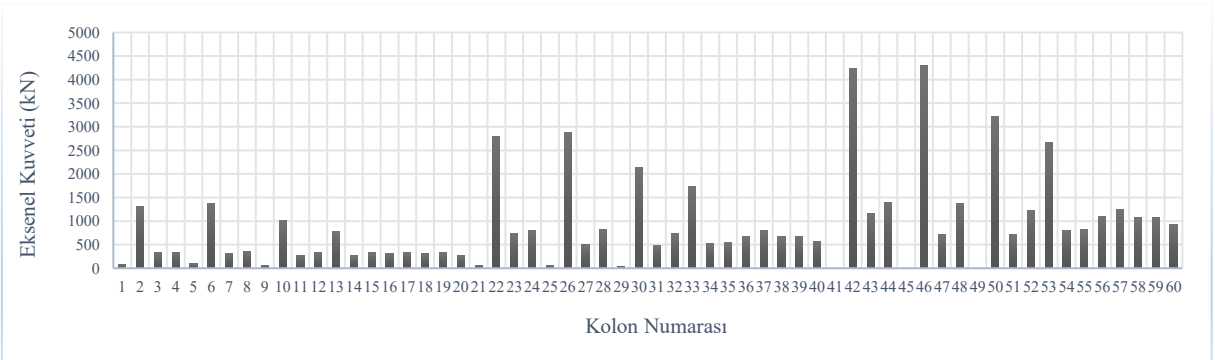
Tablo 4.83: Senaryo A-17'de birinci kenar orta kolonun sayısal simülasyonu.

P (kN)	M_x (kN.m)	M_y (kN.m)	V_x (kN)	V_y (kN)	Kütle (ton)
1166	1597	2274	720	608	8.59

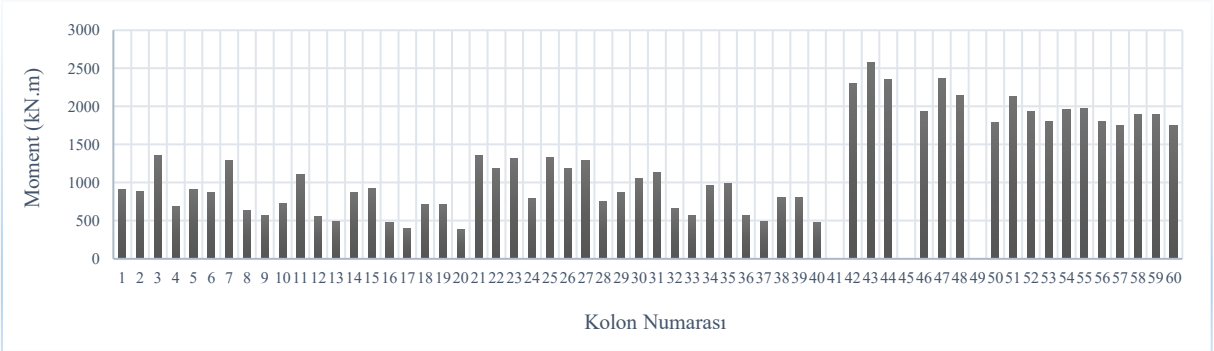
Tablo 4.84: Senaryo A-17'de ikinci kenar orta kolonun sayısal simülasyonu.

P (kN)	M_x (kN.m)	M_y (kN.m)	V_x (kN)	V_y (kN)	Kütle (ton)
1168	1598	2269	715	609	8.59

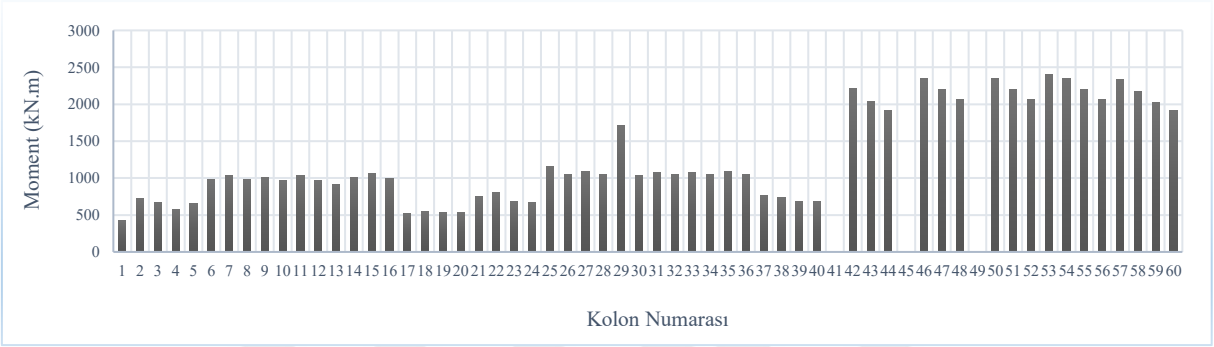
Senaryo A-17'ye ait analiz sonuçları **Şekil 4.222** ila **Şekil 4.234**'te sunulmuştur. Söz konusu şekillerde senaryo A-17 kapsamında kaldırılmış olan köşe kolon ve kenar orta kolonlar sırasıyla 41, 45 ve 49 numaralarla gösterilmiştir. Elemanların hasar düzeyleri ise **Tablo 4.85** ve **Tablo 4.86**'da açıklanmıştır.



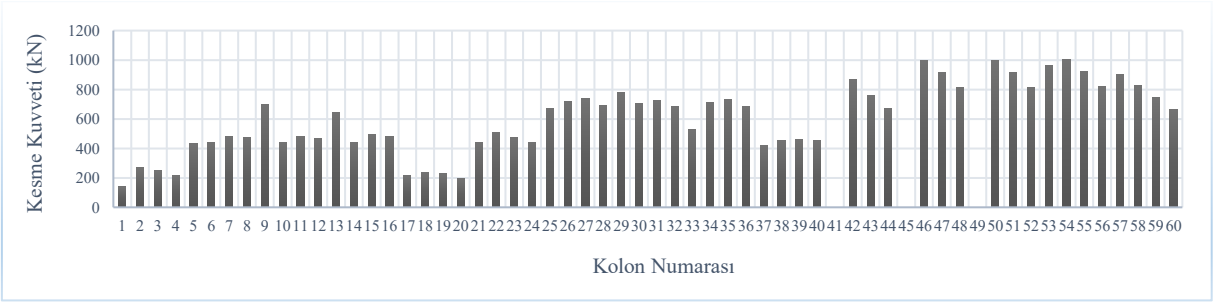
Şekil 4.222: Senaryo A-17'de kolonların maksimum eksenel kuvvetleri (kN).



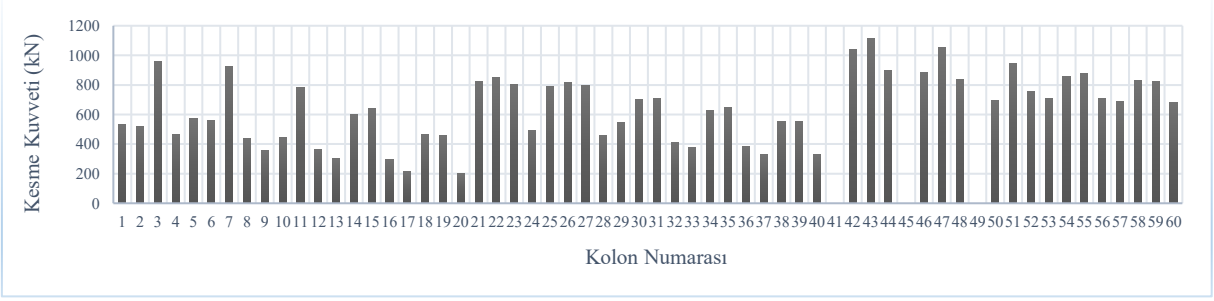
Şekil 4.223: Senaryo A-17'de kolonların X yönünde maksimum momentleri (kN.m).



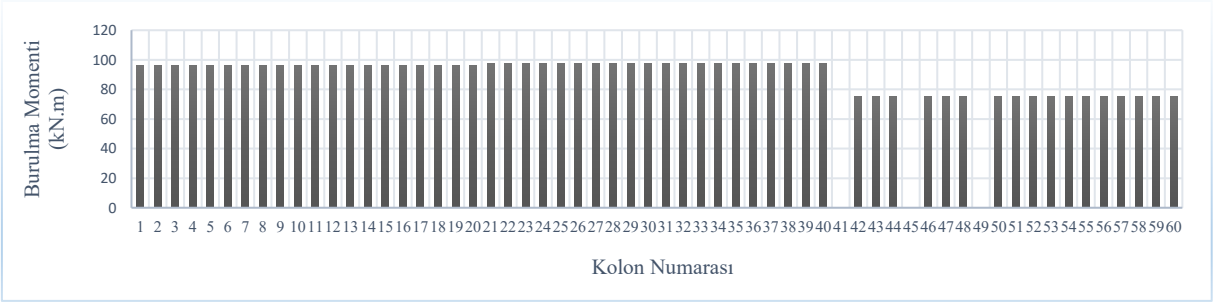
Şekil 4.224: Senaryo A-17'de kolonların Y yönünde maksimum momentleri (kN.m).



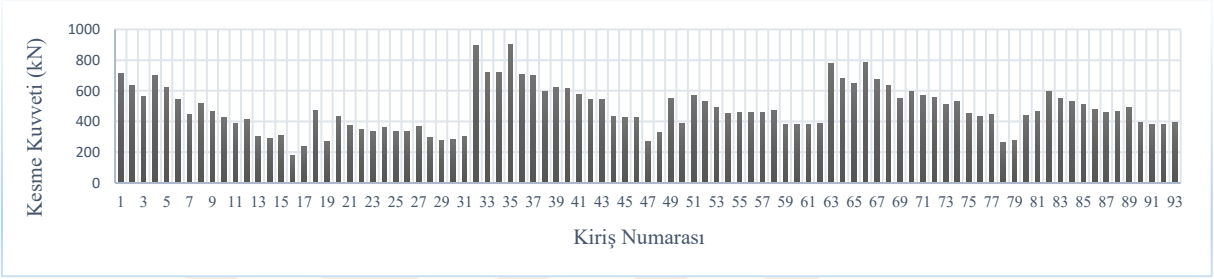
Şekil 4.225: Senaryo A-17'de kolonların X yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).



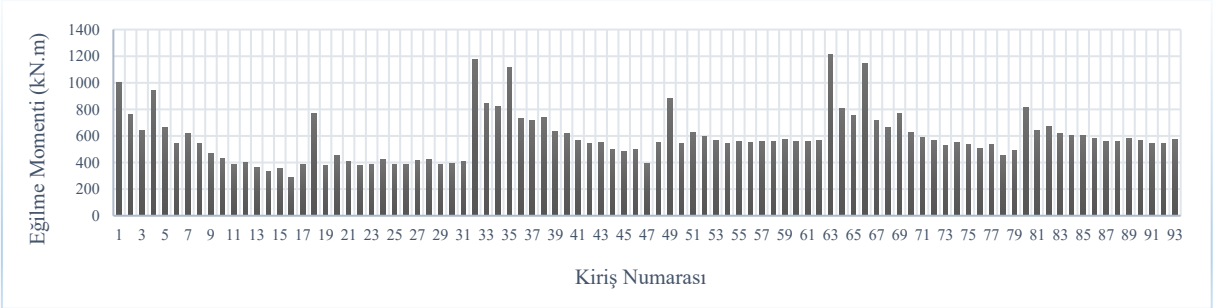
Şekil 4.226: Senaryo A-17'de kolonların Y yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).



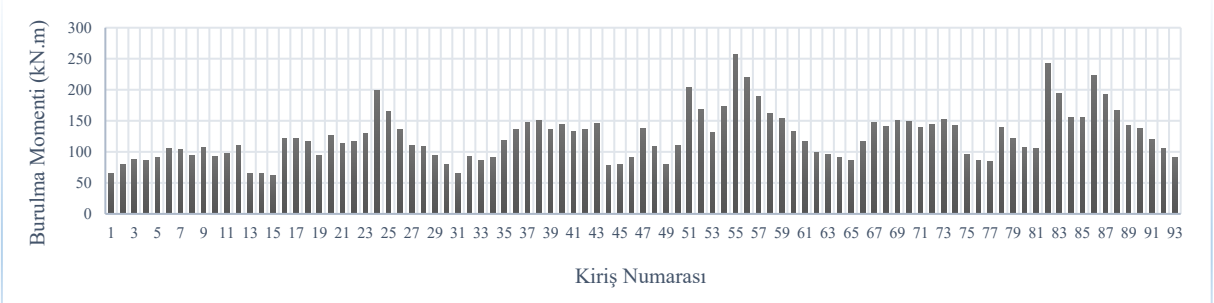
Şekil 4.227: Senaryo A-17'de kolonların maksimum burulma momentleri (kN.m).



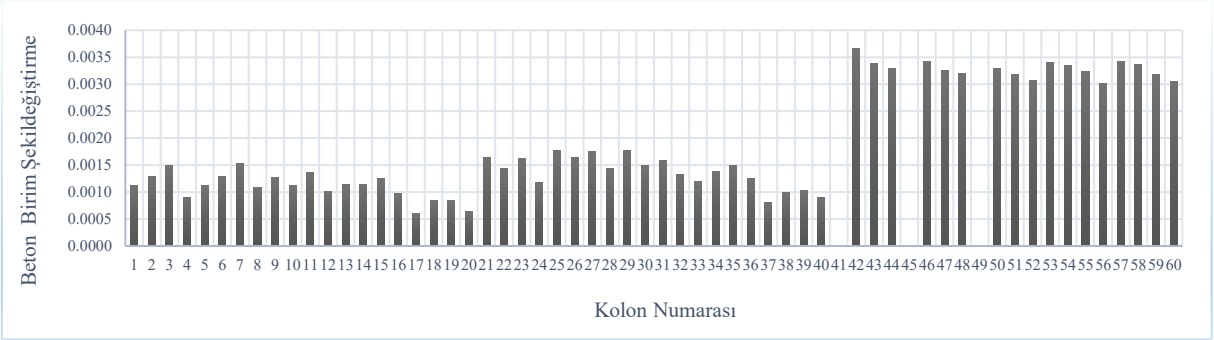
Şekil 4.228: Senaryo A-17'de kirişlerin maksimum kesme kuvvetleri (kN).



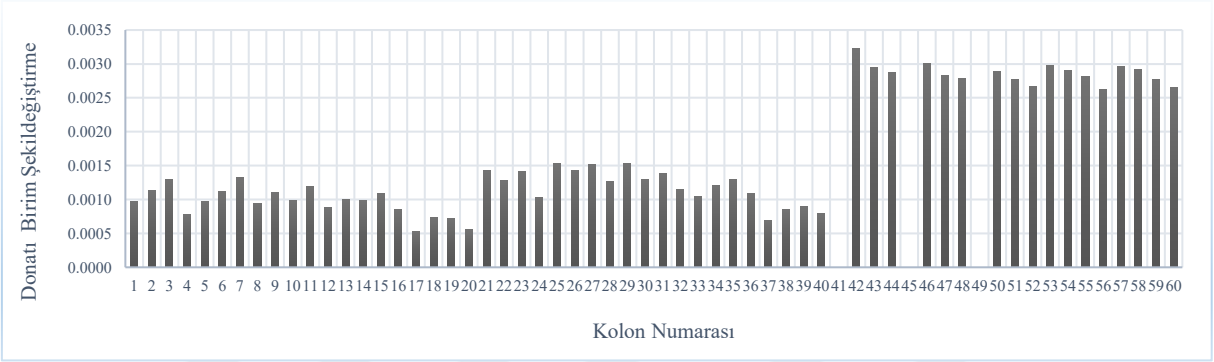
Şekil 4.229: Senaryo A-17'de kirişlerin maksimum eğilme momentleri (kN.m).



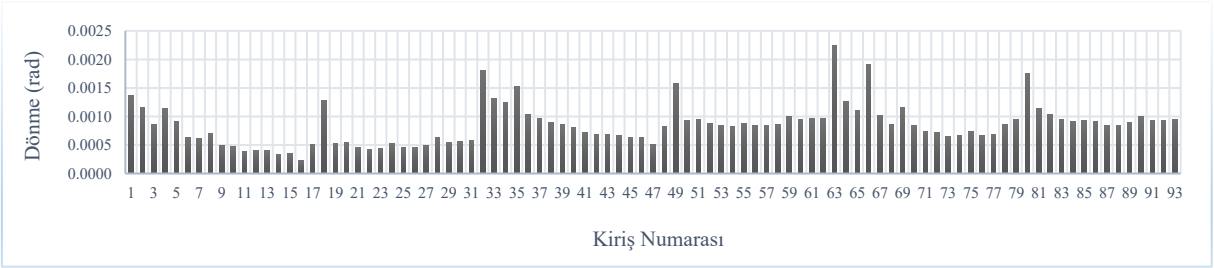
Şekil 4.230: Senaryo A-17'de kirişlerin maksimum burulma momentleri (kN.m).



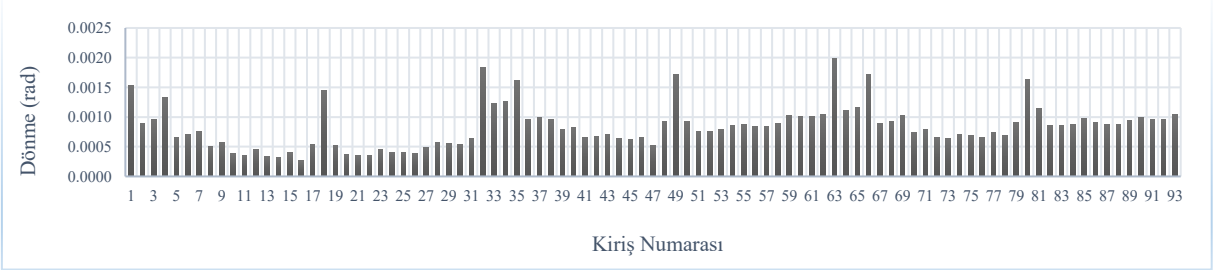
Şekil 4.231: Senaryo A-17'de kolon kesitlerinin betonunda maksimum birim şekildeğiştirme değerleri.



Şekil 4.232: Senaryo A-17'de kolon kesitlerinin donatısında maksimum birim şekildeğiştirme değerleri.



Şekil 4.233: Senaryo A-17'de kiriş kesitlerinin I ucunda maksimum dönme değerleri (rad).



Şekil 4.234: Senaryo A-17'de kiriş kesitlerinin J ucunda maksimum dönme değerleri (rad).

Tablo 4.85: Senaryo A-17'de kirişlerin hasar bölgeleri.

Kat	Kiriş sayısı					
	Sınırlı hasar	Belirgin hasar	İleri hasar	Göçme	Gevrek kırılma	Toplam
3	0	31	0	0	0	31
2	0	31	0	0	2	31
1	0	31	0	0	1	31

Tablo 4.86: Senaryo A-17'de kolonların hasar bölgeleri.

Kat	Kolon sayısı				
	Sınırlı hasar	Belirgin hasar	İleri hasar	Göçme	Toplam
3	20	0	0	0	20
2	20	0	0	0	20
1	0	17	0	3	20

4.1.19. Senaryo A-18 Analiz Sonuçları

İlk katta yer alan bir köşe kolon ve üç kenar orta kolonun birlikte kaybı senaryosu için kolon kaybı **Tablo 4.87** ila **Tablo 4.90**'da gelen iç kuvvetler ve kütle ile simüle edilmiştir. Söz konusu kolonların ortadan kalkma süresi 0.05 saniye olarak ayarlanmıştır.

Tablo 4.87: Senaryo A-18'de köşe kolonun sayısal simülasyonu.

P (kN)	M_x (kN.m)	M_y (kN.m)	V_x (kN)	V_y (kN)	Kütle (ton)
1083	1581	2109	589	592	5.65

Tablo 4.88: Senaryo A-18'de birinci kenar orta kolonun sayısal simülasyonu.

P (kN)	M_x (kN.m)	M_y (kN.m)	V_x (kN)	V_y (kN)	Kütle (ton)
1166	1597	2274	720	608	8.59

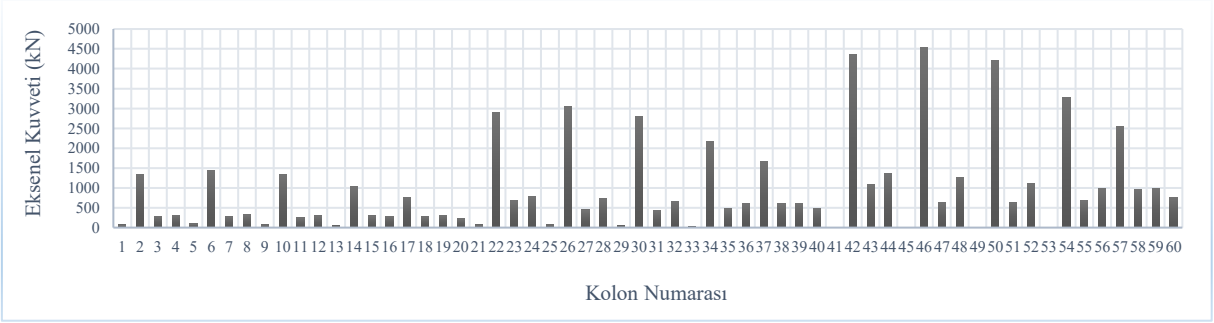
Tablo 4.89: Senaryo A-18'de ikinci kenar orta kolonun sayısal simülasyonu.

P (kN)	M_x (kN.m)	M_y (kN.m)	V_x (kN)	V_y (kN)	Kütle (ton)
1168	1598	2269	715	609	8.59

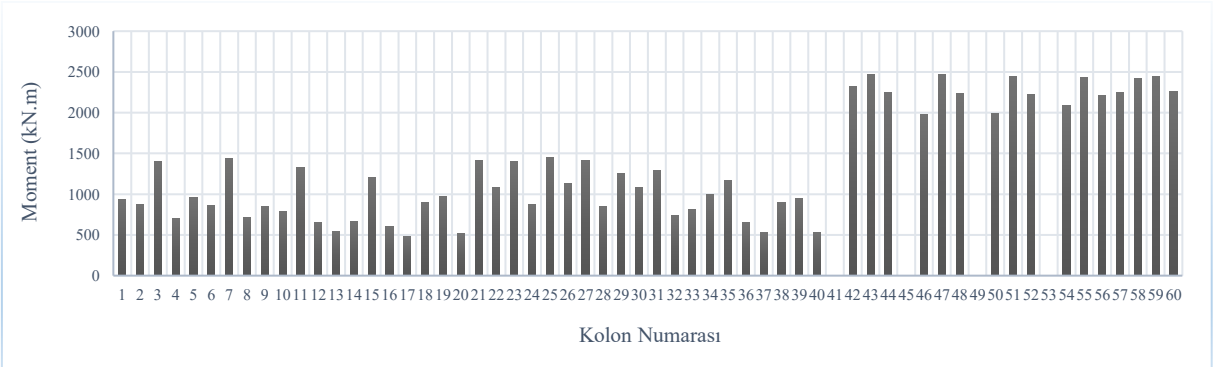
Tablo 4.90: Senaryo A-18'de üçüncü kenar orta kolonun sayısal simülasyonu.

P (kN)	M_x (kN.m)	M_y (kN.m)	V_x (kN)	V_y (kN)	Kütle (ton)
1178	1598	2274	719	608	8.59

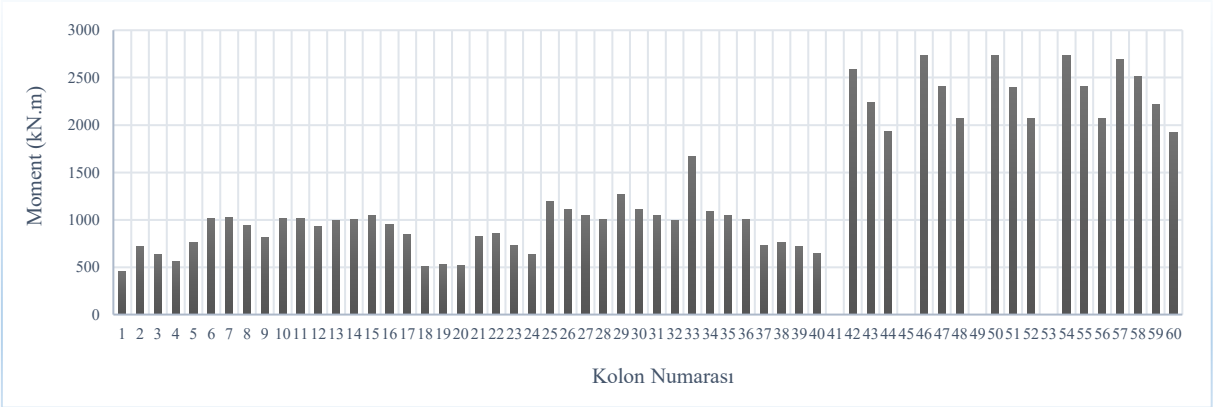
Senaryo A-18'e ait analiz sonuçları **Şekil 4.235** ila **Şekil 4.247**'de sunulmuştur. Söz konusu şekillerde senaryo A-18 kapsamında kaldırılmış olan köşe kolon ve kenar orta kolonlar sırasıyla 41, 45 49 ve 53 numaralarla gösterilmiştir. Elemanların hasar düzeyleri ise **Tablo 4.91** ve **Tablo 4.92**'de açıklanmıştır.



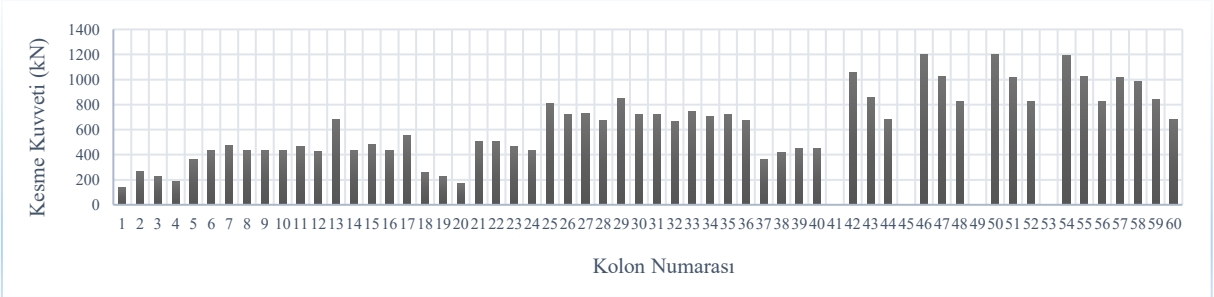
Şekil 4.235: Senaryo A-18'de kolonların maksimum eksenel kuvvetleri (kN).



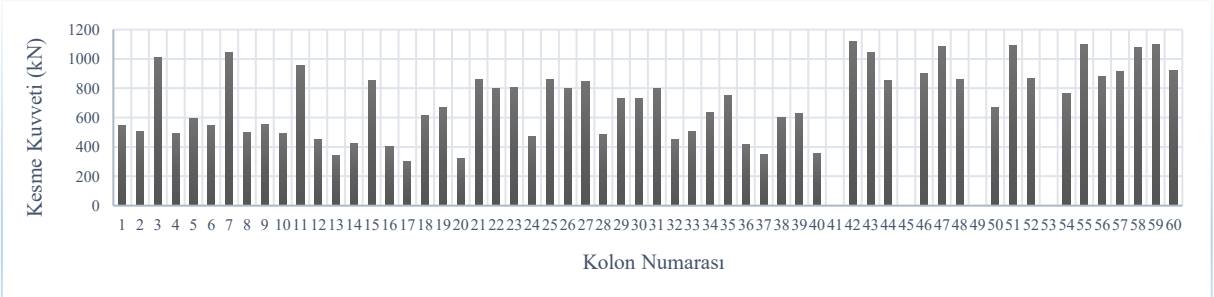
Şekil 4.236: Senaryo A-18'de kolonların X yönünde maksimum momentleri (kN.m).



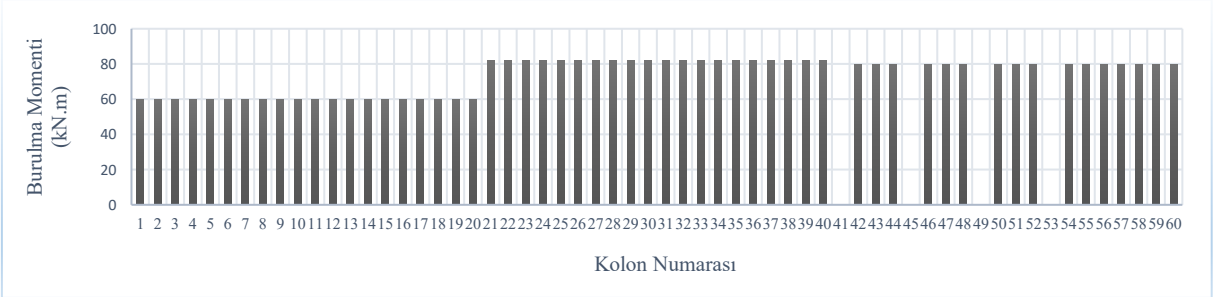
Şekil 4.237: Senaryo A-18'de kolonların Y yönünde maksimum momentleri (kN.m).



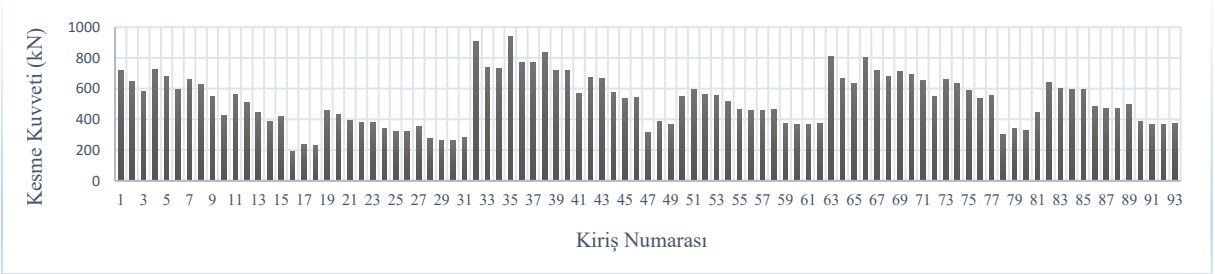
Şekil 4.238: Senaryo A-18'de kolonların X yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).



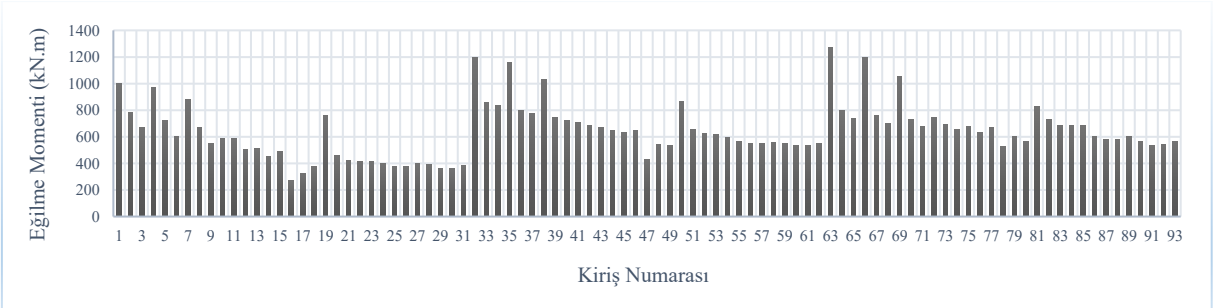
Şekil 4.239: Senaryo A-18'de kolonların Y yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).



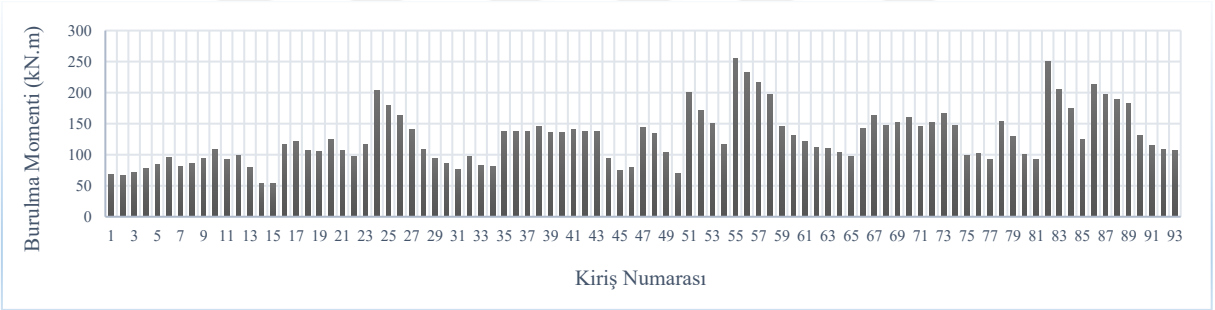
Şekil 4.240: Senaryo A-18'de kolonların maksimum burulma momentleri (kN.m).



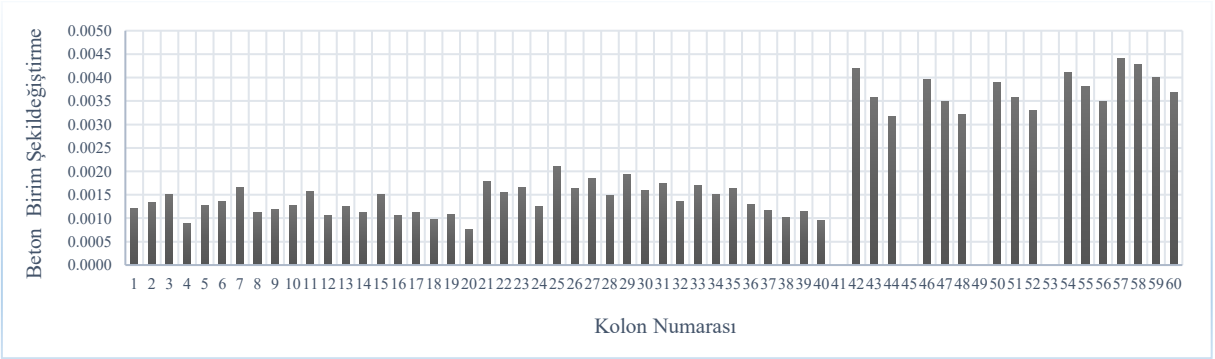
Şekil 4.241: Senaryo A-18'de kirişlerin maksimum kesme kuvvetleri (kN).



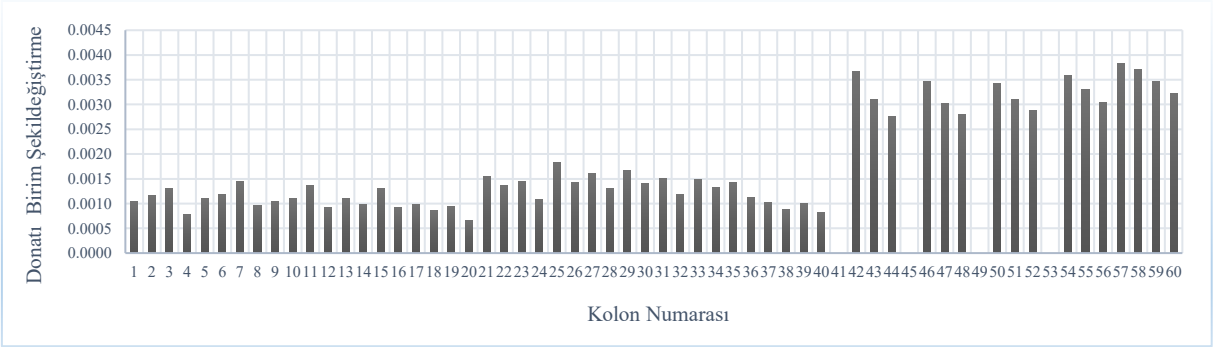
Şekil 4.242: Senaryo A-18'de kirişlerin maksimum eğilme momentleri (kN.m).



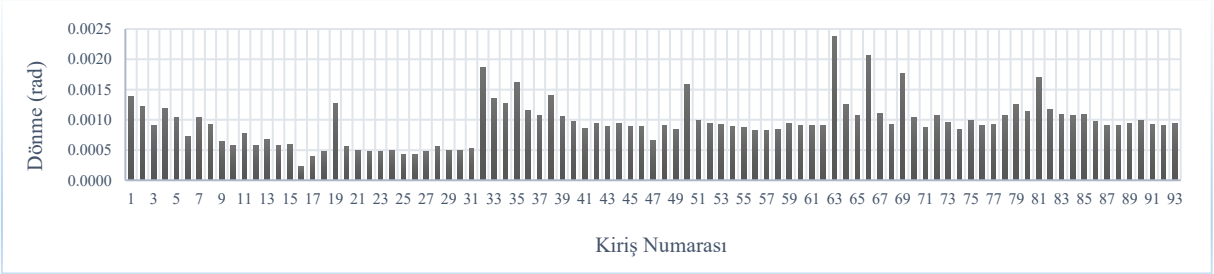
Şekil 4.243: Senaryo A-18'de kirişlerin maksimum burulma momentleri (kN.m).



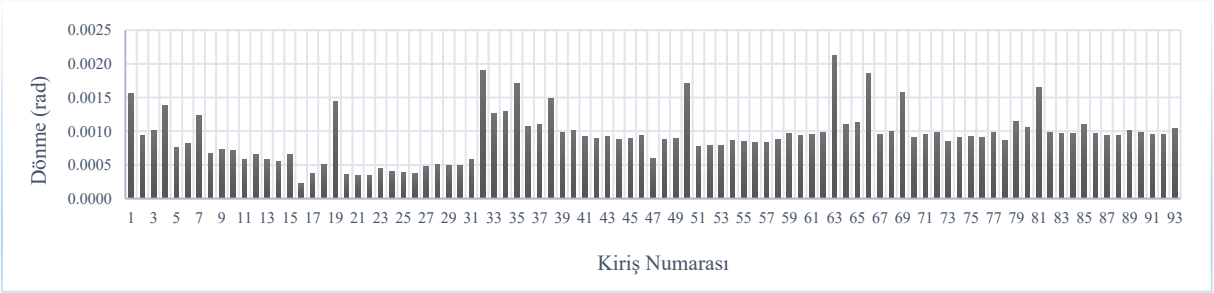
Şekil 4.244: Senaryo A-18'de kolon kesitlerinin betonunda maksimum birim şekildeğiştirme değerleri.



Şekil 4.245: Senaryo A-18'de kolon kesitlerinin donatısında maksimum birim şekildeğiştirme değerleri.



Şekil 4.246: Senaryo A-18'de kiriş kesitlerinin I ucunda maksimum dönme değerleri (rad).



Şekil 4.247: Senaryo A-18'de kiriş kesitlerinin J ucunda maksimum dönme değerleri (rad).

Tablo 4.91: Senaryo A-18'de kirişlerin hasar bölgeleri.

Kat	Kiriş sayısı					
	Sınırlı hasar	Belirgin hasar	İleri hasar	Göçme	Gevrek kırılma	Toplam
3	0	31	0	0	0	31
2	0	31	0	0	4	31
1	0	31	0	0	2	31

Tablo 4.92: Senaryo A-18'de kolonların hasar bölgeleri.

Kat	Kolon sayısı					
	Sınırlı hasar	Belirgin hasar	İleri hasar	Göçme	Gevrek kırılma	Toplam
3	20	0	0	0	0	20
2	20	0	0	0	0	20
1	0	16	0	4	0	20

4.1.20. Senaryo A-19 Analiz Sonuçları

İlk kattın birinci aksında yer alan tüm kolonun birlikte kaybı senaryosu için kolon kaybı **Tablo 4.93** ila **Tablo 4.97**'de gelen iç kuvvetler ve kütle ile simüle edilmiştir. Söz konusu kolonların ortadan kalkma süresi 0.05 saniye olarak ayarlanmıştır.

Tablo 4.93: Senaryo A-19'da birinci köşe kolonun sayısal simülasyonu.

P (kN)	M_x (kN.m)	M_y (kN.m)	V_x (kN)	V_y (kN)	Kütle (ton)
1083	1581	2109	589	592	5.65

Tablo 4.94: Senaryo A-19'da birinci kenar orta kolonun sayısal simülasyonu.

P (kN)	M_x (kN.m)	M_y (kN.m)	V_x (kN)	V_y (kN)	Kütle (ton)
1166	1597	2274	720	608	8.59

Tablo 4.95: Senaryo A-19'da ikinci kenar orta kolonun sayısal simülasyonu.

P (kN)	M_x (kN.m)	M_y (kN.m)	V_x (kN)	V_y (kN)	Kütle (ton)
1168	1598	2269	715	609	8.59

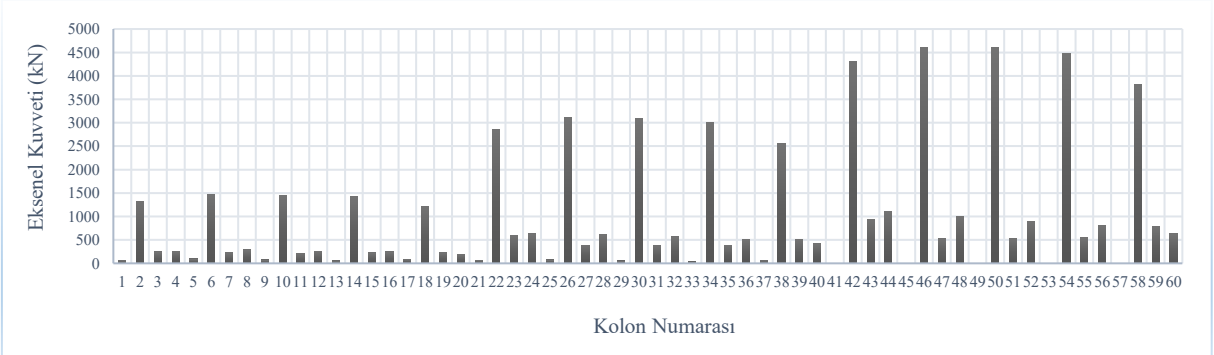
Tablo 4.96: Senaryo A-19'da üçüncü kenar orta kolonun sayısal simülasyonu.

P (kN)	M_x (kN.m)	M_y (kN.m)	V_x (kN)	V_y (kN)	Kütle (ton)
1178	1598	2274	719	608	8.59

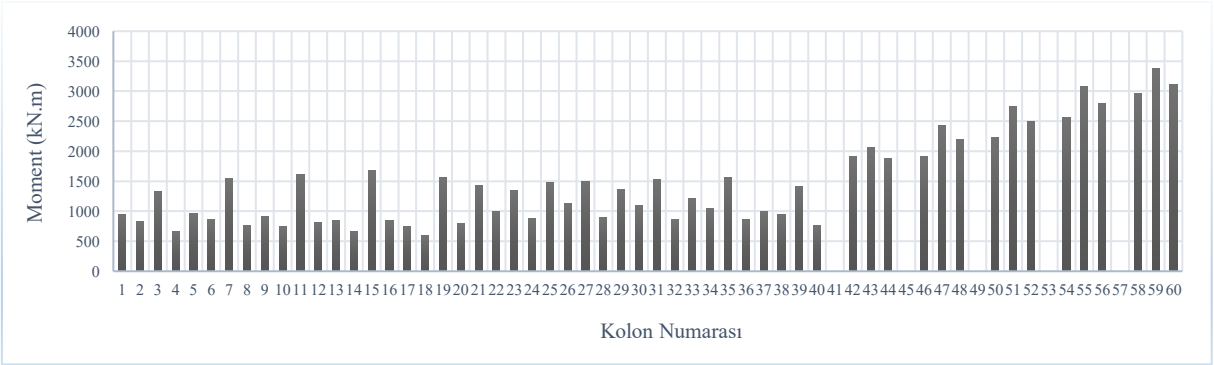
Tablo 4.97: Senaryo A-19'da ikinci köşe kolonun sayısal simülasyonu.

P (kN)	M_x (kN.m)	M_y (kN.m)	V_x (kN)	V_y (kN)	Kütle (ton)
1005	1580	2114	598	591	5.65

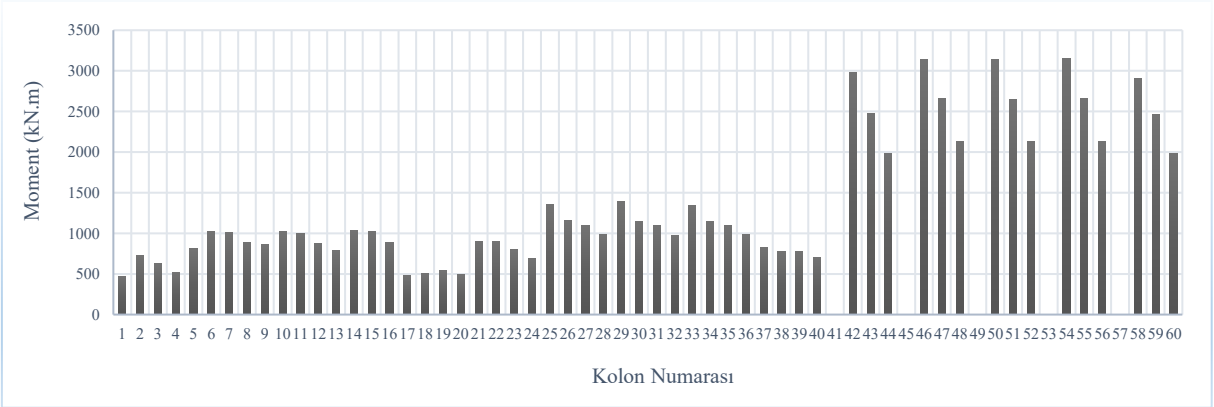
Senaryo A-19'a ait analiz sonuçları **Şekil 4.248** ila **Şekil 4.260**'ta sunulmuştur. Söz konusu şekillerde senaryo A-19 kapsamında kaldırılmış olan kolonlar birinci köşe kolon, kenar orta kolonlar ve ikinci köşe kolon sırasıyla 41, 45 49, 53 ve 57 numaralarla gösterilmiştir. Elemanların hasar düzeyleri ise **Tablo 4.98** ve **Tablo 4.99**'da açıklanmıştır.



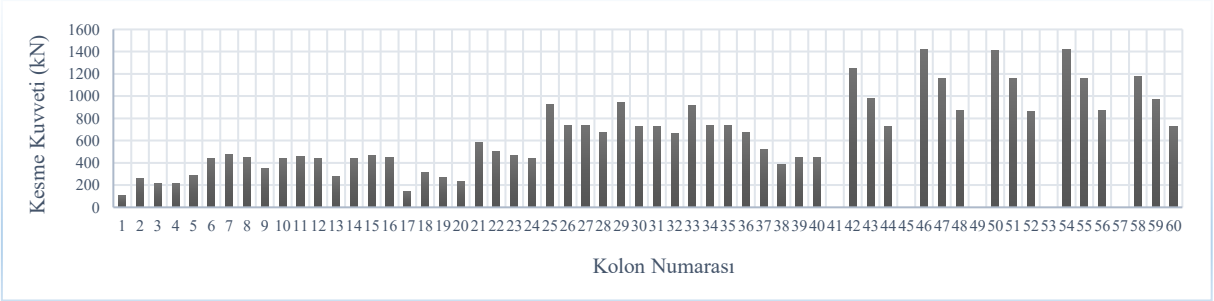
Şekil 4.248: Senaryo A-19'da kolonların maksimum eksenel kuvvetleri (kN).



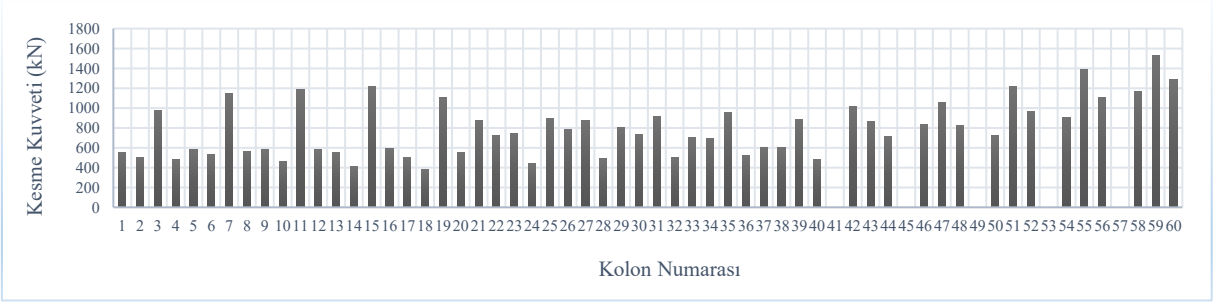
Şekil 4.249: Senaryo A-19'da kolonların X yönünde maksimum momentleri (kN.m).



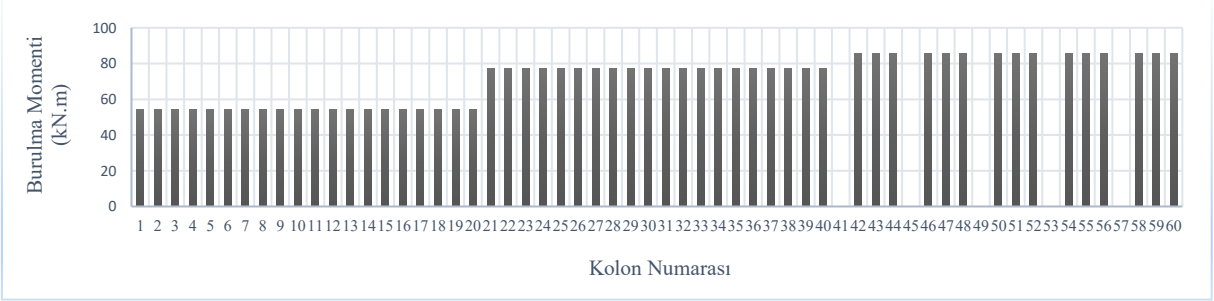
Şekil 4.250: Senaryo A-19'da kolonların Y yönünde maksimum momentleri (kN.m).



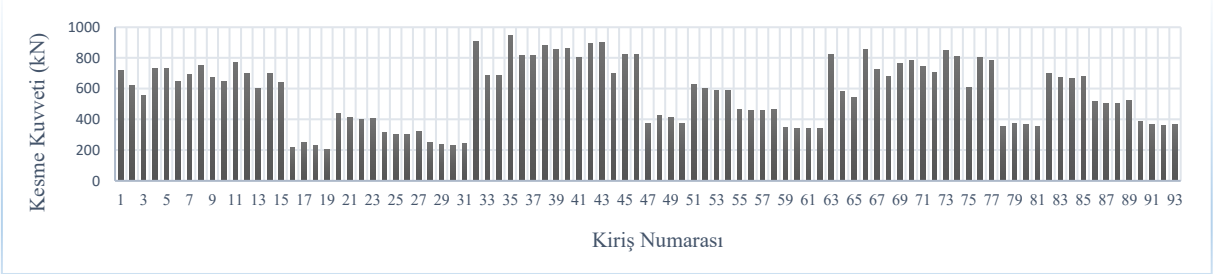
Şekil 4.251: Senaryo A-19'da kolonların X yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).



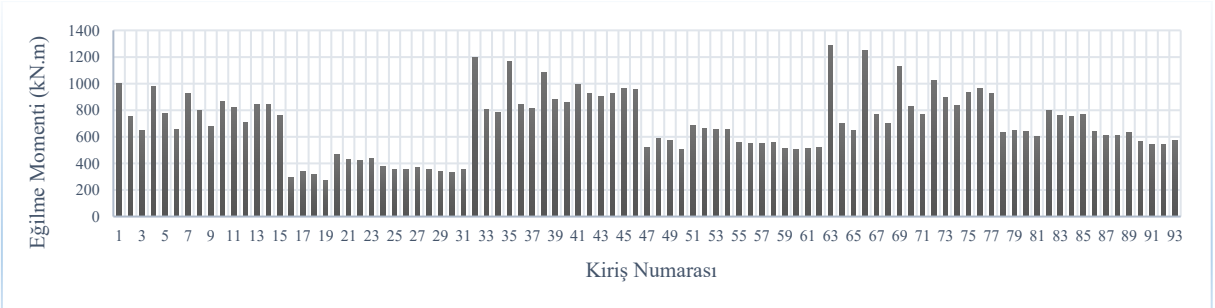
Şekil 4.252: Senaryo A-19'da kolonların Y yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).



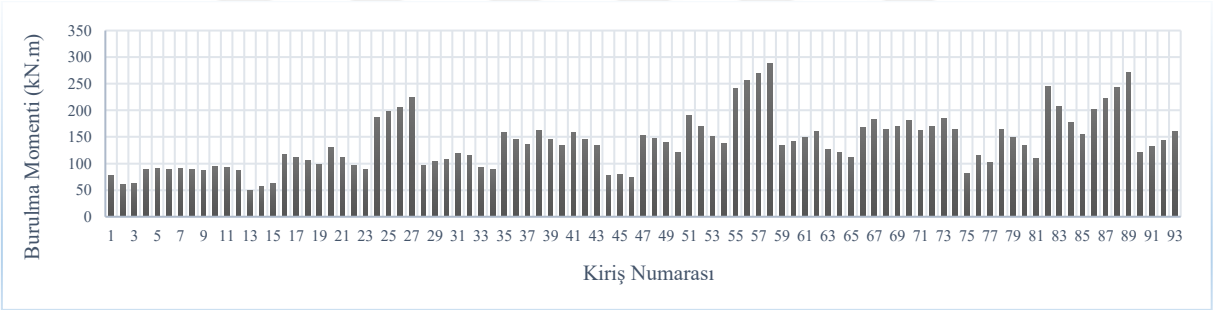
Şekil 4.253: Senaryo A-19'da kolonların maksimum burulma momentleri (kN.m).



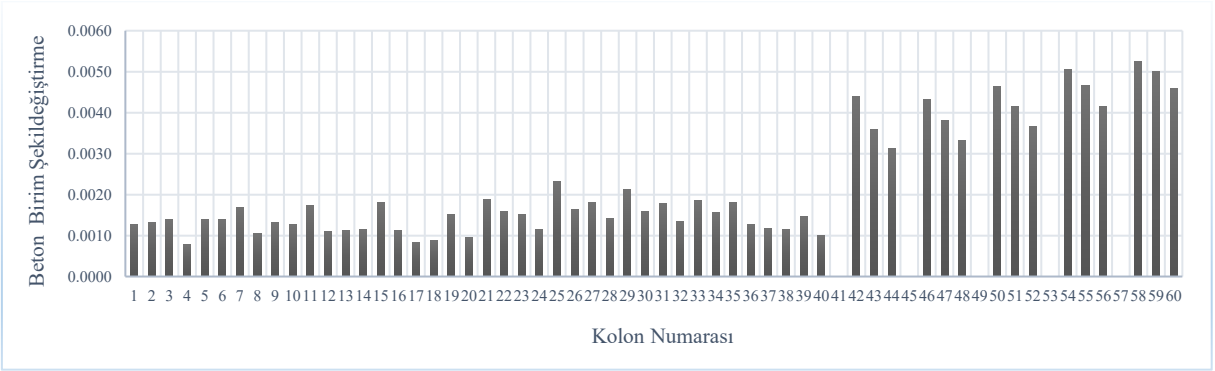
Şekil 4.254: Senaryo A-19'da kirişlerin maksimum kesme kuvvetleri (kN).



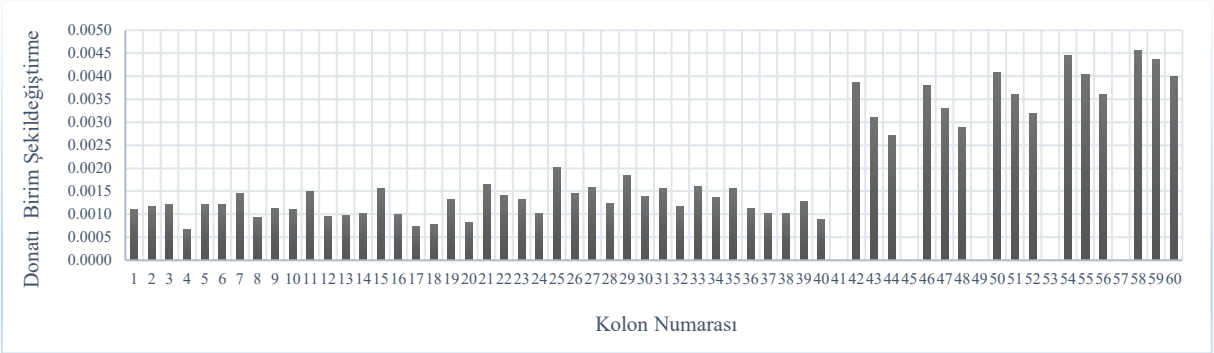
Şekil 4.255: Senaryo A-19'da kirişlerin maksimum eğilme momentleri (kN.m).



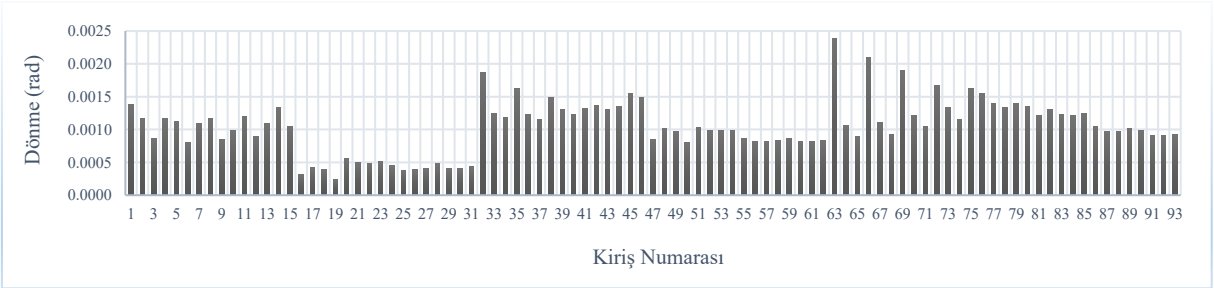
Şekil 4.256: Senaryo A-19'da kirişlerin maksimum burulma momentleri (kN.m).



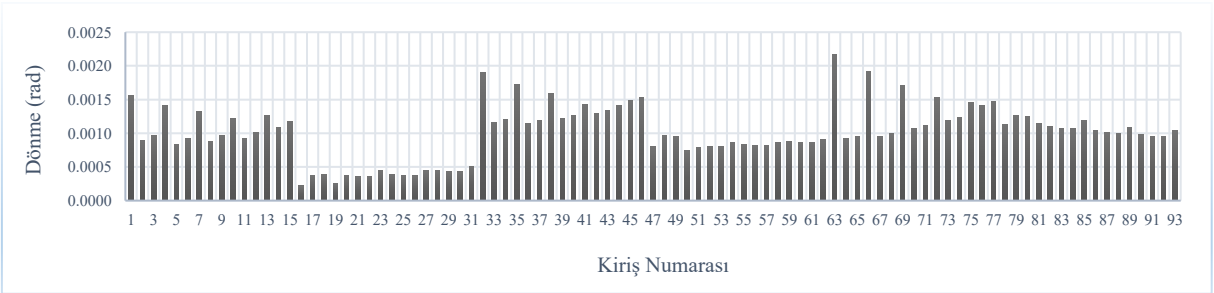
Şekil 4.257: Senaryo A-19'da kolon kesitlerinin betonunda maksimum birim şekildeğiştirme değerleri.



Şekil 4.258: Senaryo A-19'da kolon kesitlerinin donatısında maksimum birim şekildeğiştirme değerleri.



Şekil 4.259: Senaryo A-19'da kiriş kesitlerinin I ucunda maksimum dönme değerleri (rad).



Şekil 4.260: Senaryo A-19'da kiriş kesitlerinin J ucunda maksimum dönme değerleri (rad).

Tablo 4.98: Senaryo A-19'da kirişlerin hasar bölgeleri.

Kat	Kiriş sayısı					
	Sınırlı hasar	Belirgin hasar	İleri hasar	Göçme	Gevrek kırılma	Toplam
3	0	31	0	0	1	31
2	0	31	0	0	12	31
1	0	31	0	0	6	31

Tablo 4.99: Senaryo A-19'da kolonların hasar bölgeleri.

Kat	Kolon sayısı					
	Sınırlı hasar	Belirgin hasar	İleri hasar	Göçme	Gevrek kırılma	Toplam
3	20	0	0	0	0	20
2	20	0	0	0	0	20
1	0	15	0	5	6	20

4.1.21. Senaryo A-20 Analiz Sonuçları

İlk katta yer alan bir kenar orta kolon ve hemen yanındaki iç kolon kaybı senaryosu için kolon kaybı **Tablo 4.100** ve **Tablo 101'**de gelen iç kuvvetler ve kütle ile simüle edilmiştir. Söz konusu kolonların ortadan kalkma süresi 0.05 saniye olarak ayarlanmıştır.

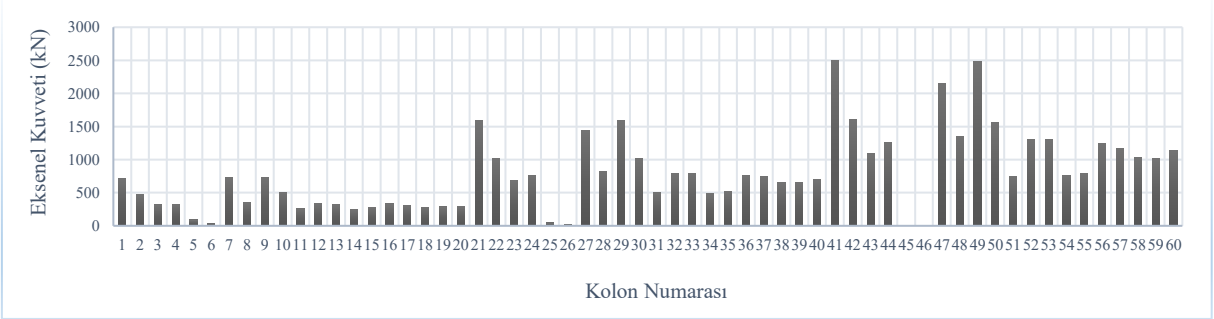
Tablo 4.100: Senaryo A-20'de kenar orta kolonun sayısal simülasyonu.

P (kN)	M_x (kN.m)	M_y (kN.m)	V_x (kN)	V_y (kN)	Kütle (ton)
1166	1597	2274	720	608	8.59

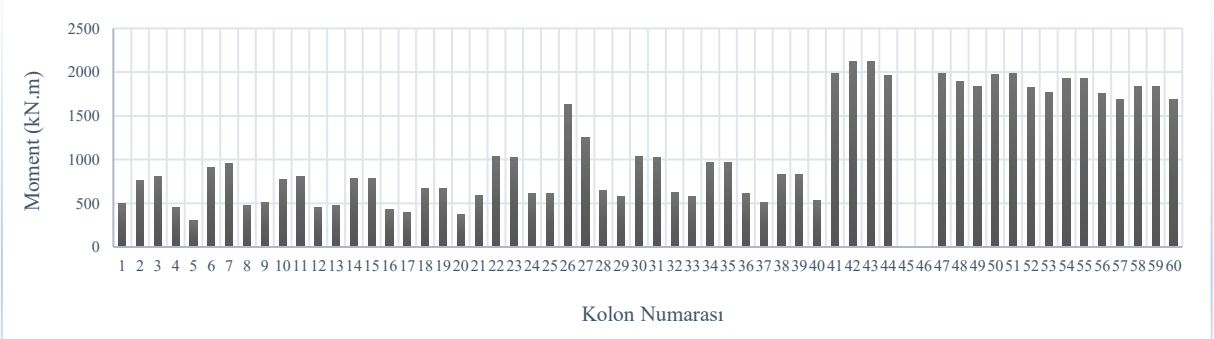
Tablo 4.101: Senaryo A-20'de iç kolonun sayısal simülasyonu.

P (kN)	M_x (kN.m)	M_y (kN.m)	V_x (kN)	V_y (kN)	Kütle (ton)
730	1765	2316	752	772	13.23

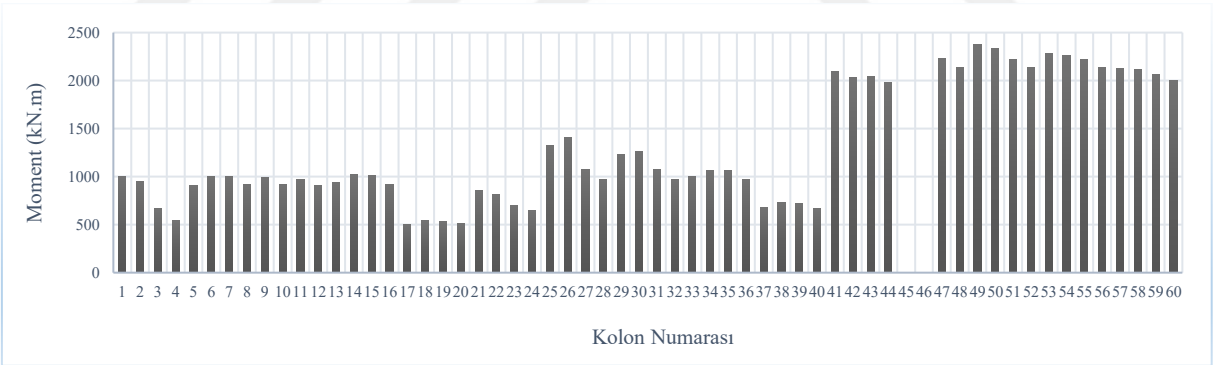
Senaryo A-20'e ait analiz sonuçları **Şekil 4.261** ila **Şekil 4.273**'te sunulmuştur. Söz konusu şekillerde senaryo 20 kapsamında kaldırılmış olan kolonlar 45 ve 46 numarayla gösterilmiştir. Elemanların hasar düzeyleri ise **Tablo 4.102** ve **Tablo 4.103**'te açıklanmıştır.



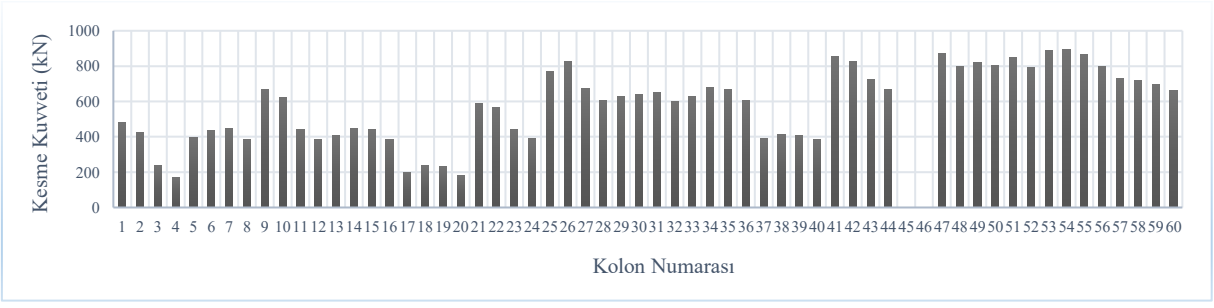
Şekil 4.261: Senaryo A-20'de kolonların maksimum eksenel kuvvetleri (kN).



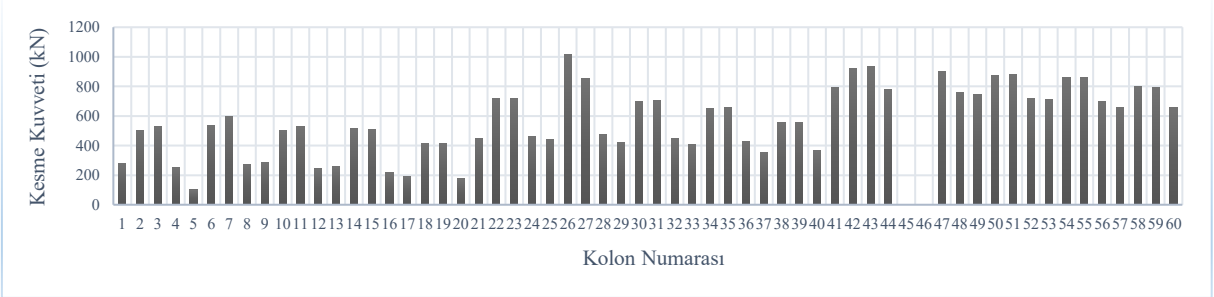
Şekil 4.262: Senaryo A-20'de kolonların X yönünde maksimum momentleri (kN.m).



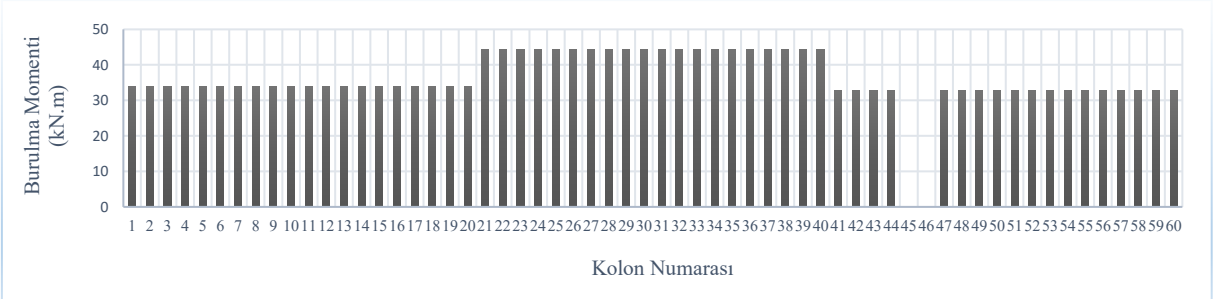
Şekil 4.263: Senaryo A-20'de kolonların Y yönünde maksimum momentleri (kN.m).



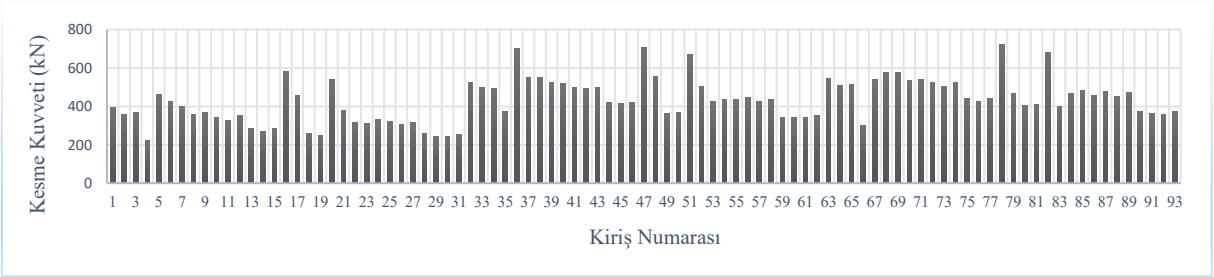
Şekil 4.264: Senaryo A-20'de kolonların X yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).



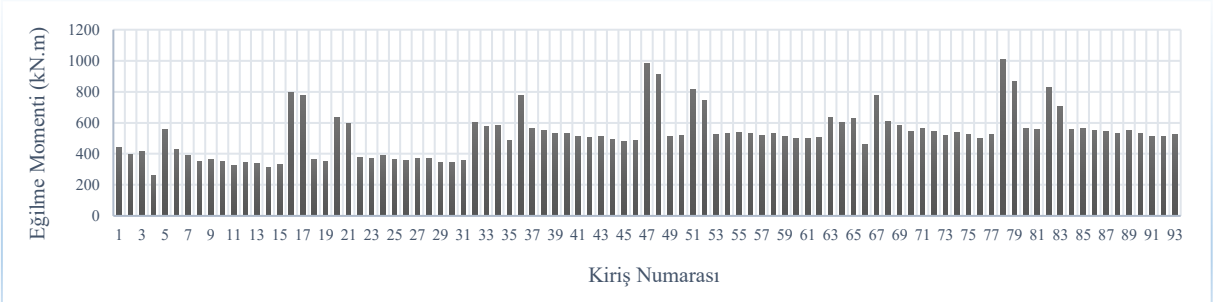
Şekil 4.265: Senaryo A-20'de kolonların Y yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).



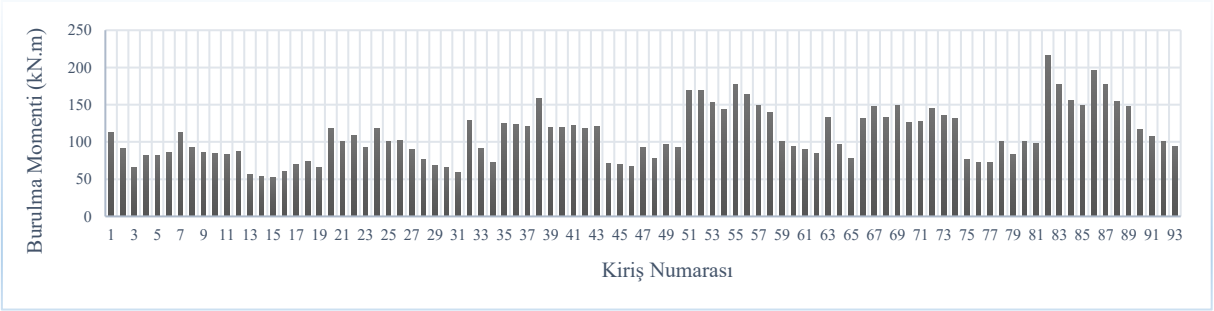
Şekil 4.266: Senaryo A-20'de kolonların maksimum burulma momentleri (kN.m).



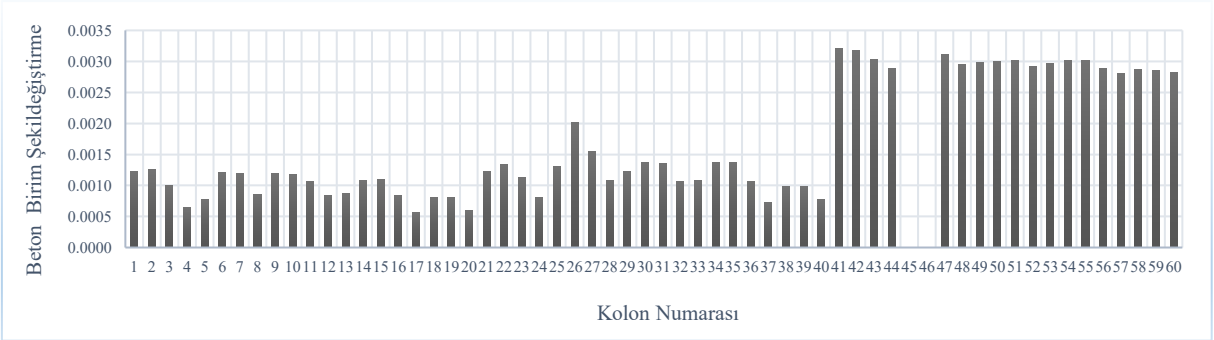
Şekil 4.267: Senaryo A-20'de kirişlerin maksimum kesme kuvvetleri (kN).



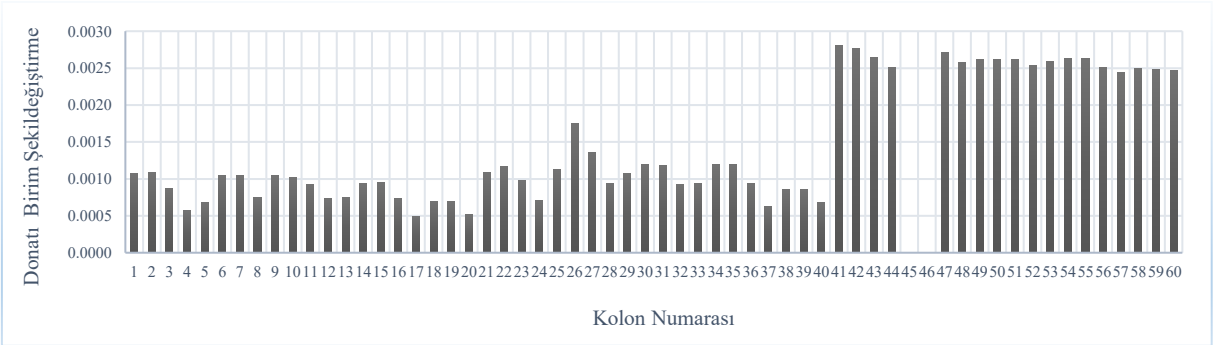
Şekil 4.268: Senaryo A-20'de kirişlerin maksimum eğilme momentleri (kN.m).



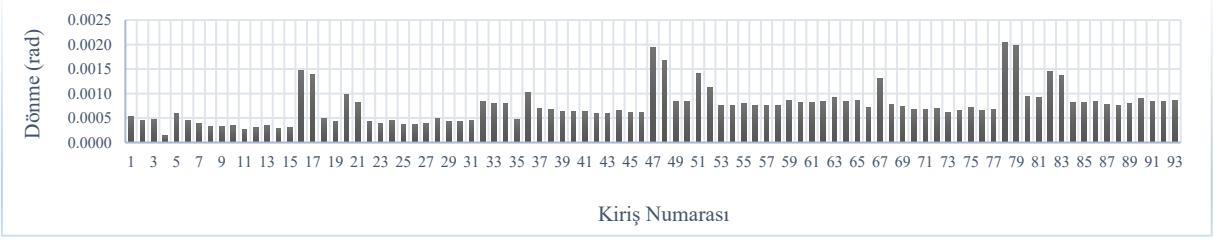
Şekil 4.269: Senaryo A-20'de kirişlerin maksimum burulma momentleri (kN.m).



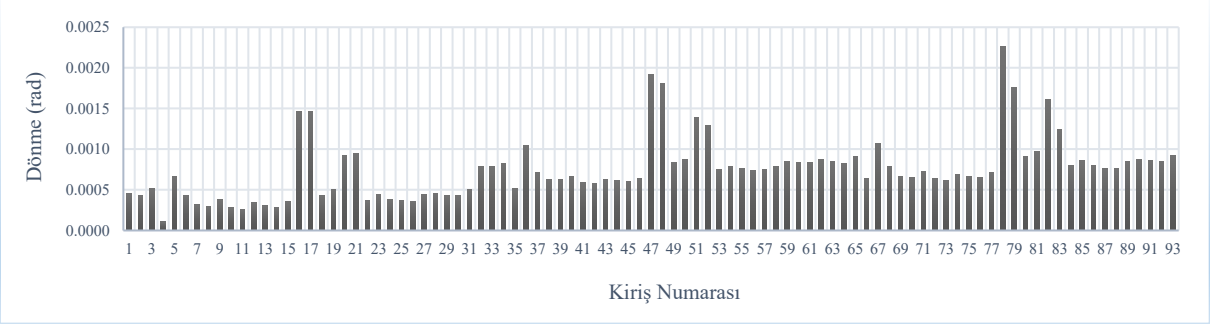
Şekil 4.270: Senaryo A-20'de kolon kesitlerinin betonunda maksimum birim şekildeğiştirme değerleri.



Şekil 4.271: Senaryo A-20'de kolon kesitlerinin donatısında maksimum birim şekildeğiştirme değerleri.



Şekil 4.272: Senaryo A-20'de kiriş kesitlerinin I ucunda maksimum dönme değerleri (rad).



Şekil 4.273: Senaryo A-20'de kiriş kesitlerinin J ucunda maksimum dönme değerleri (rad).

Tablo 4.102: Senaryo A-20'de kirişlerin hasar bölgeleri.

Kat	Kiriş sayısı					
	Sınırlı hasar	Belirgin hasar	İleri hasar	Göçme	Gevrek kırılma	Toplam
3	0	31	0	0	0	31
2	0	31	0	0	0	31
1	0	31	0	0	0	31

Tablo 4.103: Senaryo A-20'de kolonların hasar bölgeleri.

Kat	Kolon sayısı					
	Sınırlı hasar	Belirgin hasar	İleri hasar	Göçme	Gevrek kırılma	Toplam
3	20	0	0	0	0	20
2	20	0	0	0	0	20
1	0	18	0	2	0	20

4.1.22. Senaryo A-21 Analiz Sonuçları

İlk katta yer alan bir kenar orta kolon ve aynı aksta olan iki iç kolon kaybı senaryosu için kolon kaybı **Tablo 4.104** ila **Tablo 106'**da gelen iç kuvvetler ve kütle ile simüle edilmiştir. Söz konusu kolonların ortadan kalkma süresi 0.05 saniye olarak ayarlanmıştır.

Tablo 4.104: Senaryo A-21'de kenar orta kolonun sayısal simülasyonu.

P (kN)	M_x (kN.m)	M_y (kN.m)	V_x (kN)	V_y (kN)	Kütle (ton)
1166	1597	2274	720	608	8.59

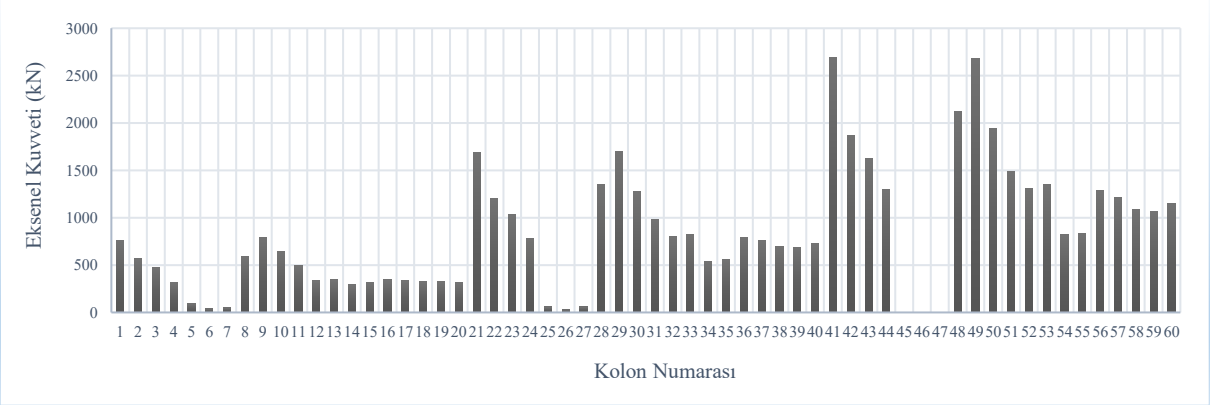
Tablo 4.105: Senaryo A-21'de birinci iç kolonun sayısal simülasyonu.

P (kN)	M_x (kN.m)	M_y (kN.m)	V_x (kN)	V_y (kN)	Kütle (ton)
730	1765	2316	752	772	13.23

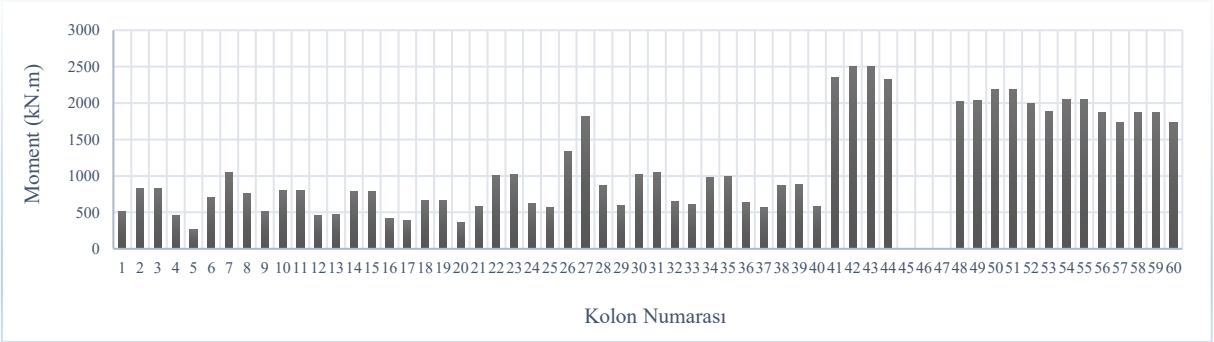
Tablo 4.106: Senaryo A-21'de ikinci iç kolonun sayısal simülasyonu.

P (kN)	M_x (kN.m)	M_y (kN.m)	V_x (kN)	V_y (kN)	Kütle (ton)
733	1764	2317	752	771	13.23

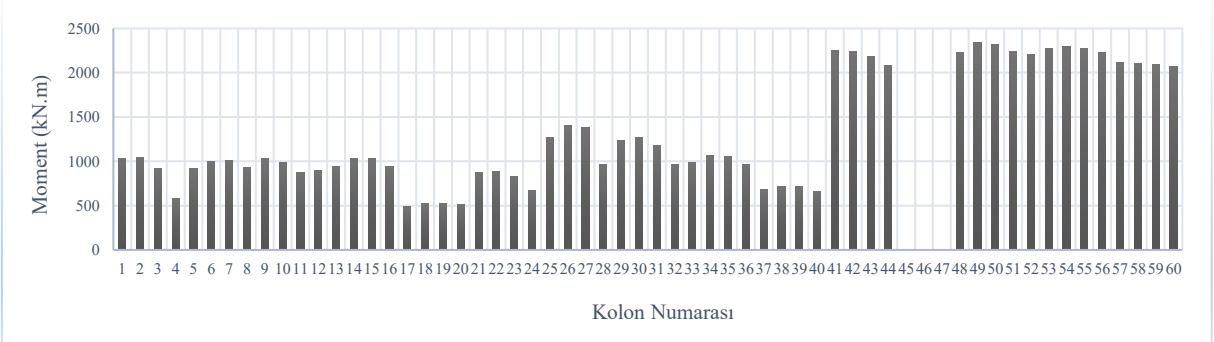
Senaryo A-21'e ait analiz sonuçları **Şekil 4.274** ila **Şekil 4.286**'da sunulmuştur. Söz konusu şekillerde senaryo A-21 kapsamında kaldırılmış olan kolonlar 45, 46 ve 47 numarayla gösterilmiştir. Elemanların hasar düzeyleri ise **Tablo 4.107** ve **Tablo 4.108**'de açıklanmıştır.



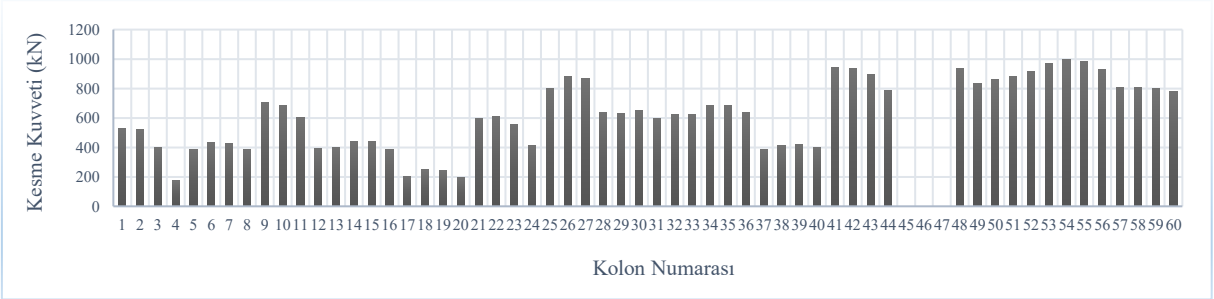
Şekil 4.274: Senaryo A-21'de kolonların maksimum eksenel kuvvetleri (kN).



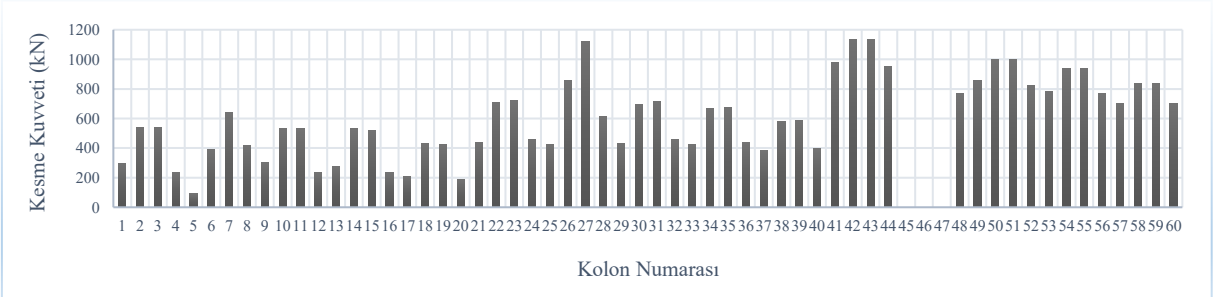
Şekil 4.275: Senaryo A-21'de kolonların X yönünde maksimum momentleri (kN.m).



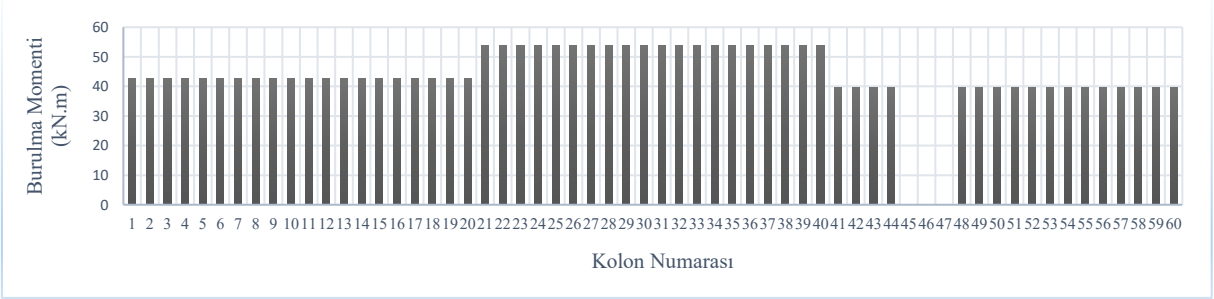
Şekil 4.276: Senaryo A-21'de kolonların Y yönünde maksimum momentleri (kN.m).



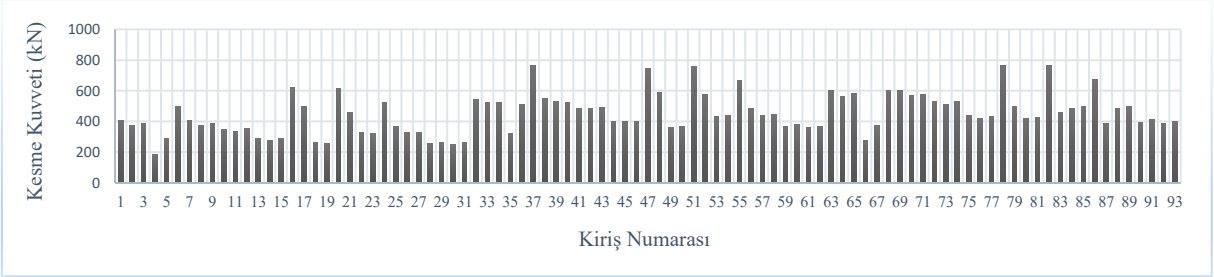
Şekil 4.277: Senaryo A-21'de kolonların X yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).



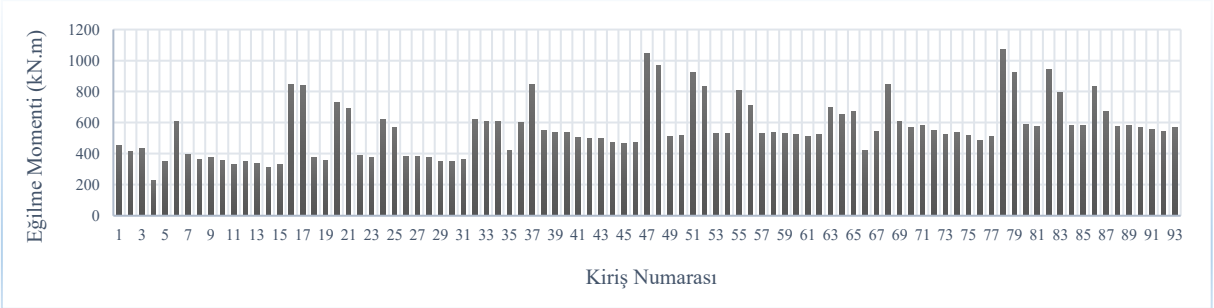
Şekil 4.278: Senaryo A-21'de kolonların Y yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).



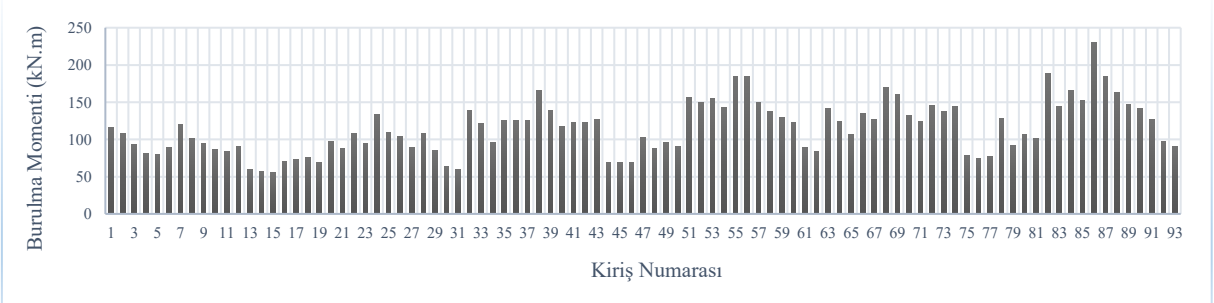
Şekil 4.279: Senaryo A-21'de kolonların maksimum burulma momentleri (kN.m).



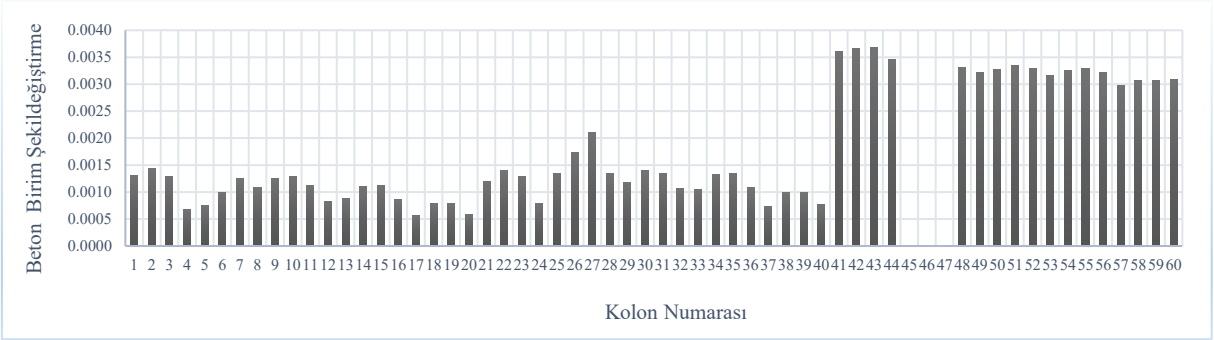
Şekil 4.280: Senaryo A-21'de kirişlerin maksimum kesme kuvvetleri (kN).



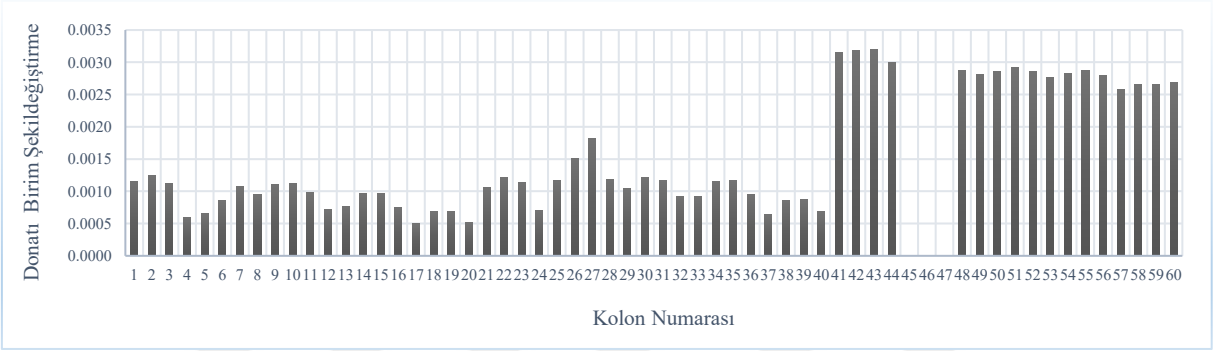
Şekil 4.281: Senaryo A-21'de kirişlerin maksimum eğilme momentleri (kN.m).



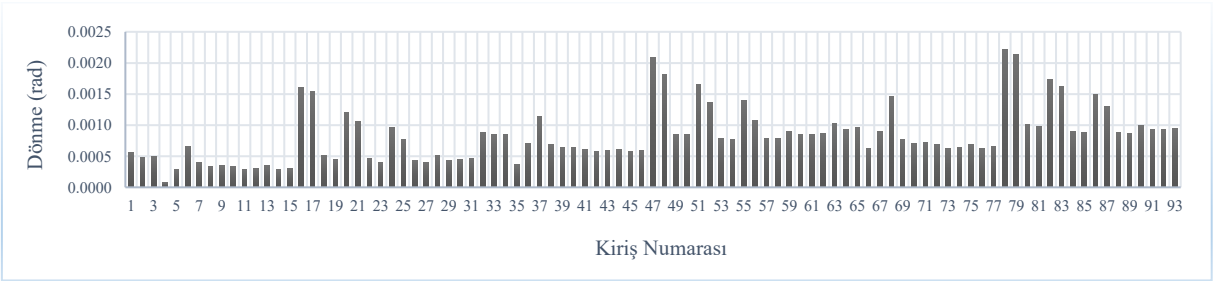
Şekil 4.282: Senaryo A-21'de kirişlerin maksimum burulma momentleri (kN.m).



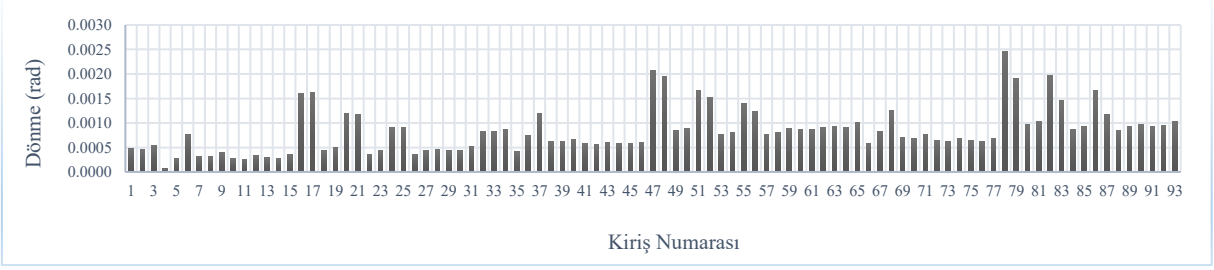
Şekil 4.283: Senaryo A-21'de kolon kesitlerinin betonunda maksimum birim şekildeğiştirme değerleri.



Şekil 4.284: Senaryo A-21'de kolon kesitlerinin donatısında maksimum birim şekildeğiştirme değerleri.



Şekil 4.285: Senaryo A-21'de kiriş kesitlerinin I ucunda maksimum dönme değerleri (rad).



Şekil 4.286: Senaryo A-21'de kiriş kesitlerinin J ucunda maksimum dönme değerleri (rad).

Tablo 4.107: Senaryo A-21'de kirişlerin hasar bölgeleri.

Kat	Kiriş sayısı					
	Sınırlı hasar	Belirgin hasar	İleri hasar	Göçme	Gevrek kırılma	Toplam
3	0	31	0	0	0	31
2	0	31	0	0	0	31
1	0	31	0	0	0	31

Tablo 4.108: Senaryo A-21'de kolonların hasar bölgeleri.

Kat	Kolon sayısı					
	Sınırlı hasar	Belirgin hasar	İleri hasar	Göçme	Gevrek kırılma	Toplam
3	20	0	0	0	0	20
2	20	0	0	0	0	20
1	0	17	0	3	0	20

4.1.23. Senaryo A-22 Analiz Sonuçları

İlk katta aks B'de yer alan tüm dört kolonun kaybı senaryosu için kolon kaybı **Tablo 4.109** ila **Tablo 112'**de gelen iç kuvvetler ve kütle ile simüle edilmiştir. Söz konusu kolonların ortadan kalkma süresi 0.05 saniye olarak ayarlanmıştır.

Tablo 4.109: Senaryo A-22'de birinci kenar orta kolonun sayısal simülasyonu.

P (kN)	M_x (kN.m)	M_y (kN.m)	V_x (kN)	V_y (kN)	Kütle (ton)
1166	1597	2274	720	608	8.59

Tablo 4.110: Senaryo A-22'de birinci iç kolonun sayısal simülasyonu.

P (kN)	M_x (kN.m)	M_y (kN.m)	V_x (kN)	V_y (kN)	Kütle (ton)
730	1765	2316	752	772	13.23

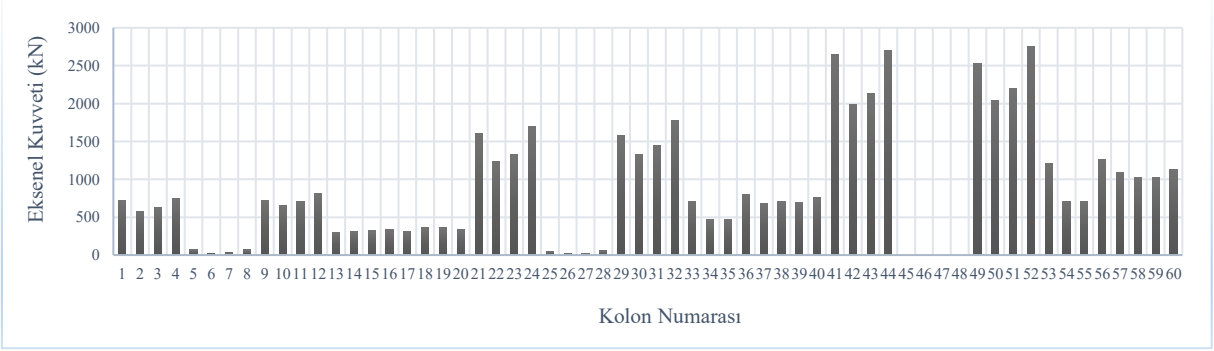
Tablo 4.111: Senaryo A-22'de ikinci iç kolonun sayısal simülasyonu.

P (kN)	M_x (kN.m)	M_y (kN.m)	V_x (kN)	V_y (kN)	Kütle (ton)
733	1764	2317	752	771	13.23

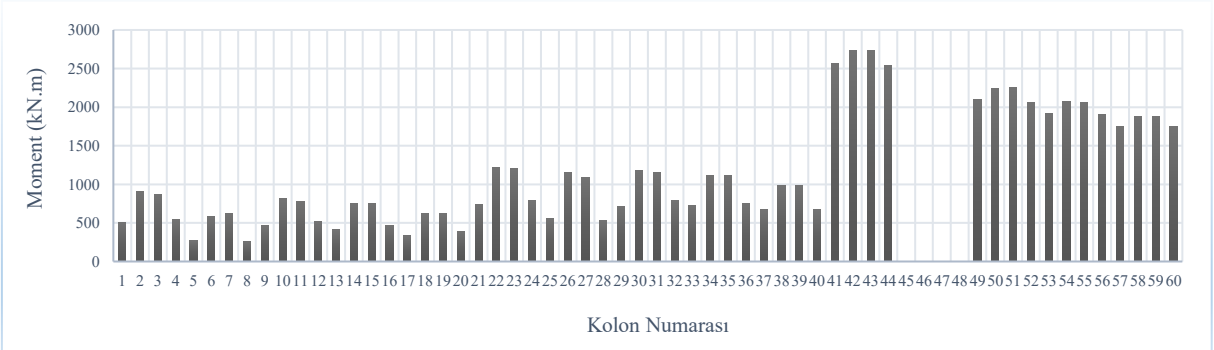
Tablo 4.112: Senaryo A-22'de ikinci kenar orta kolonun sayısal simülasyonu.

P (kN)	M_x (kN.m)	M_y (kN.m)	V_x (kN)	V_y (kN)	Kütle (ton)
1198	1619	2275	720	630	8.59

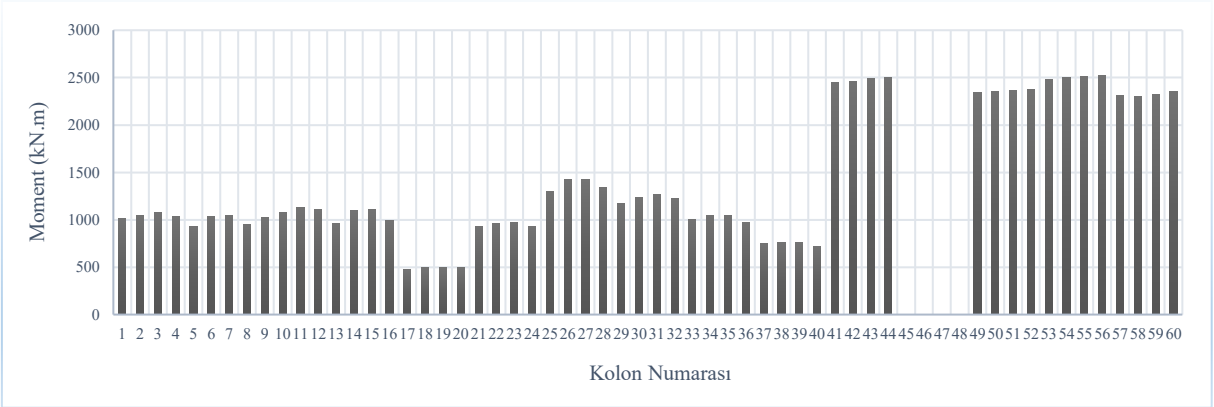
Senaryo A-22'ye ait analiz sonuçları **Şekil 4.287** ila **Şekil 4.299**'da sunulmuştur. Söz konusu şekillerde senaryo A-22 kapsamında kaldırılmış olan kolonlar 45, 46, 47 ve 48 numarayla gösterilmiştir. Elemanların hasar düzeyleri ise **Tablo 4.113** ve **Tablo 4.114**'te açıklanmıştır.



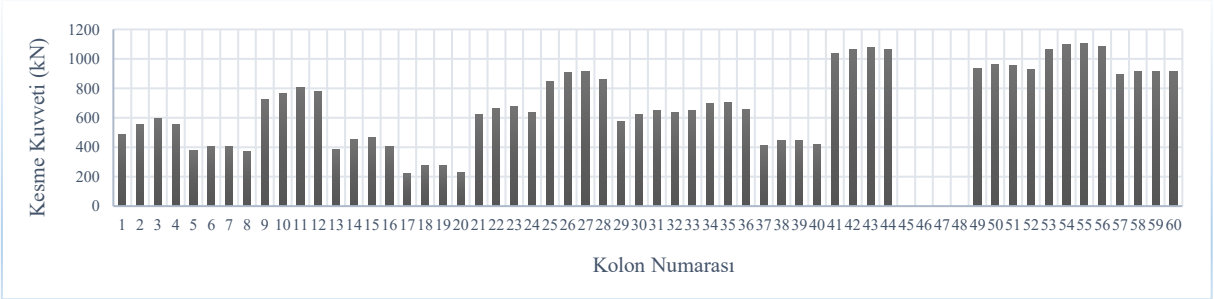
Şekil 4.287: Senaryo A-22'de kolonların maksimum eksenel kuvvetleri (kN).



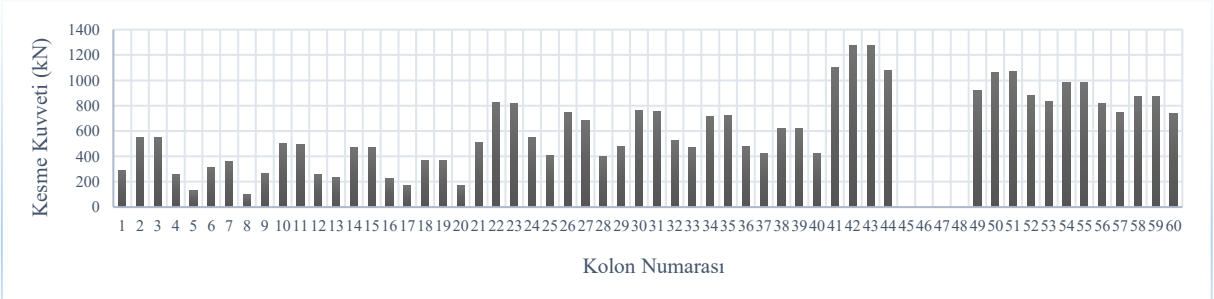
Şekil 4.288: Senaryo A-22'de kolonların X yönünde maksimum momentleri (kN.m).



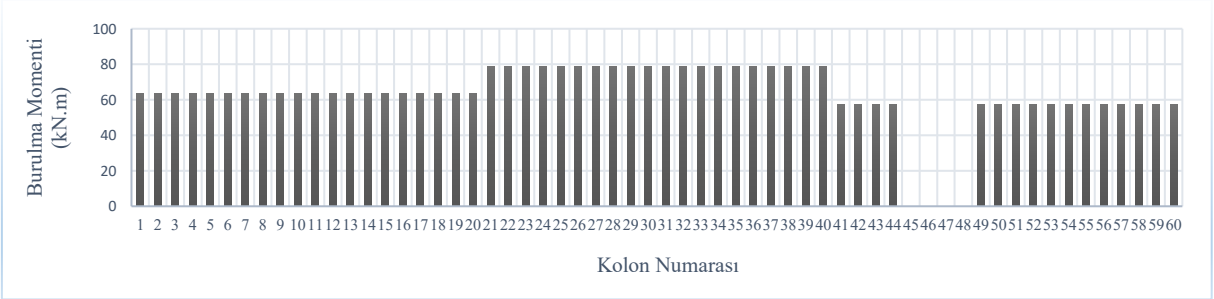
Şekil 4.289: Senaryo A-22'de kolonların Y yönünde maksimum momentleri (kN.m).



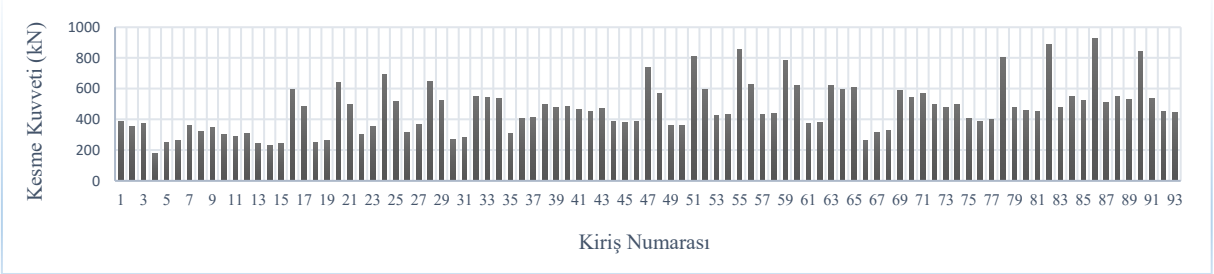
Şekil 4.290: Senaryo A-22'de kolonların X yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).



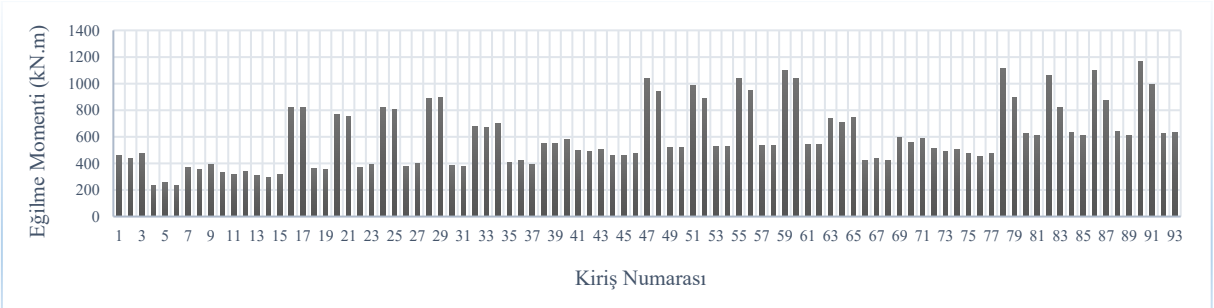
Şekil 4.291: Senaryo A-22'de kolonların Y yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).



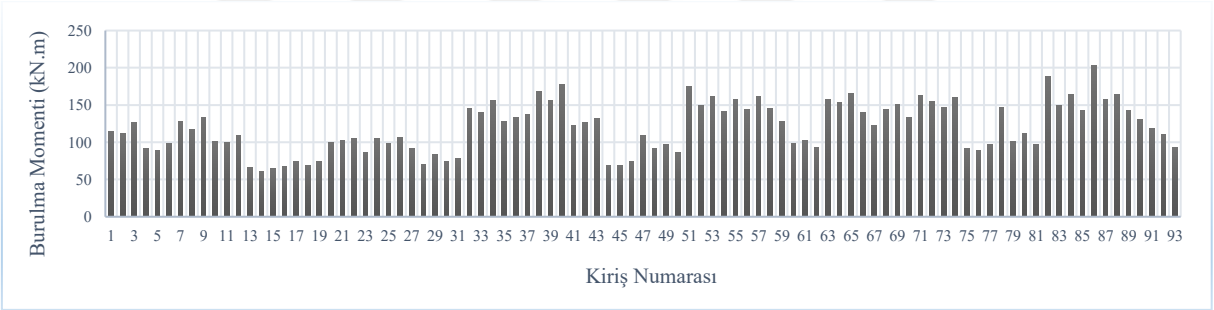
Şekil 4.292: Senaryo A-22'de kolonların maksimum burulma momentleri (kN.m).



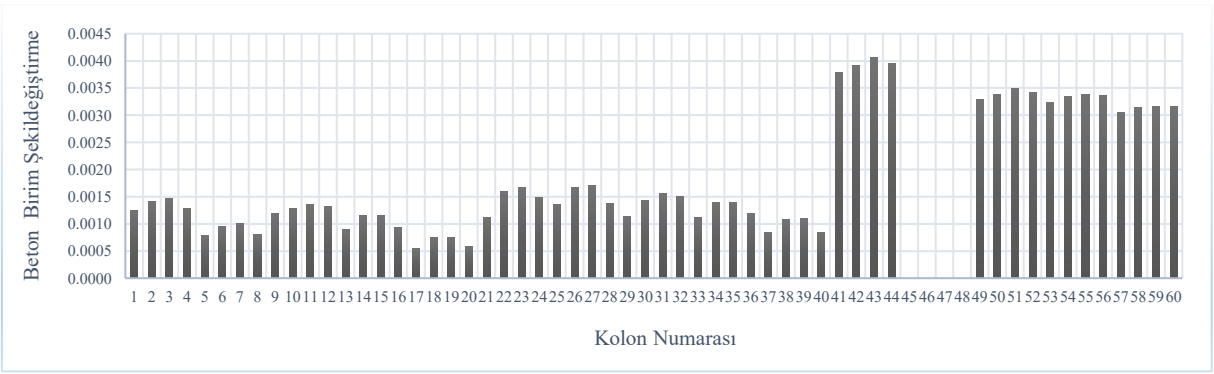
Şekil 4.293: Senaryo A-22'de kirişlerin maksimum kesme kuvvetleri (kN).



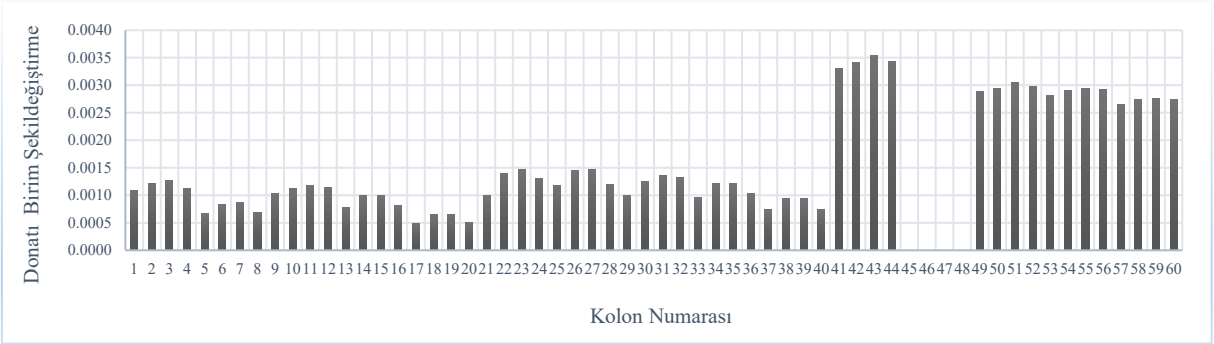
Şekil 4.294: Senaryo A-22'de kirişlerin maksimum eğilme momentleri (kN.m).



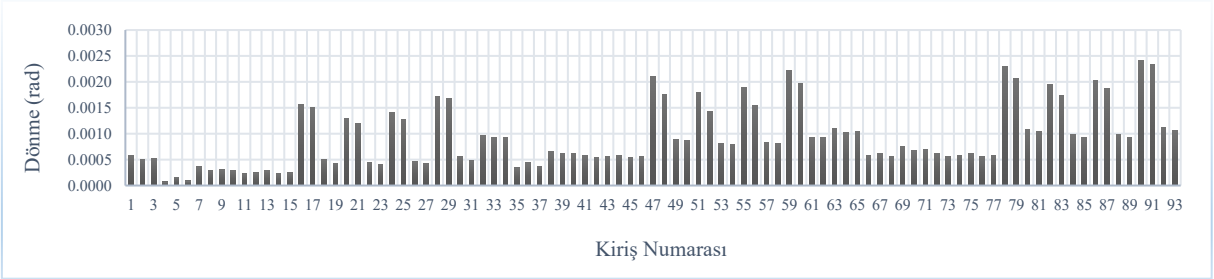
Şekil 4.295: Senaryo A-22'de kirişlerin maksimum burulma momentleri (kN.m).



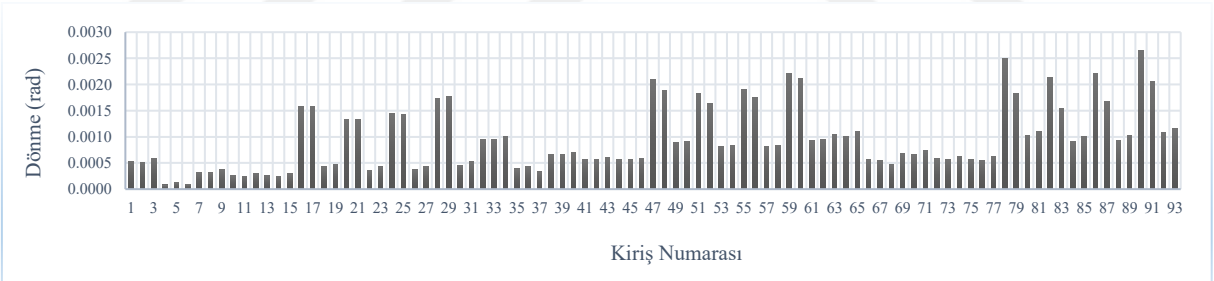
Şekil 4.296: Senaryo A-22'de kolon kesitlerinin betonunda maksimum birim şekildeğiştirme değerleri.



Şekil 4.297: Senaryo A-22'de kolon kesitlerinin donatısında maksimum birim şekildeğiştirme değerleri.



Şekil 4.298: Senaryo A-22'de kiriş kesitlerinin I ucunda maksimum dönme değerleri (rad).



Şekil 4.299: Senaryo A-22'de kiriş kesitlerinin J ucunda maksimum dönme değerleri (rad).

Tablo 4.113: Senaryo A-22'de kirişlerin hasar bölgeleri.

Kat	Kiriş sayısı					
	Sınırlı hasar	Belirgin hasar	İleri hasar	Göçme	Gevrek kırılma	Toplam
3	0	31	0	0	0	31
2	0	31	0	0	2	31
1	0	31	0	0	4	31

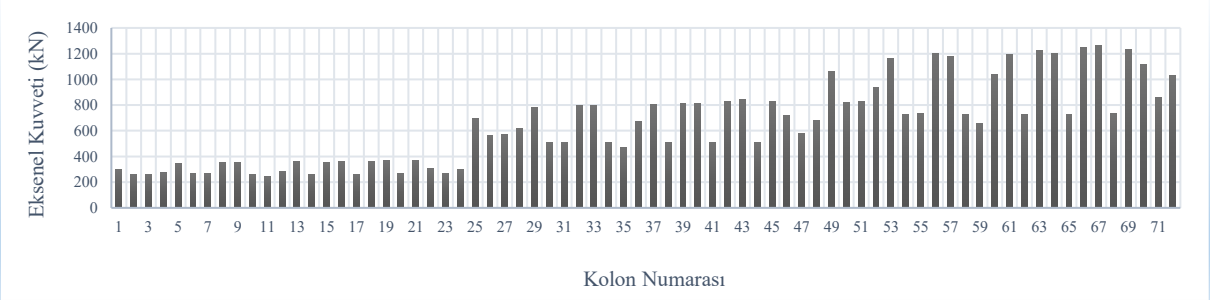
Tablo 4.114: Senaryo A-22'de kolonların hasar bölgeleri.

Kat	Kolon sayısı					
	Sınırlı hasar	Belirgin hasar	İleri hasar	Göçme	Gevrek kırılma	Toplam
3	20	0	0	0	0	20
2	20	0	0	0	0	20
1	0	16	0	4	2	20

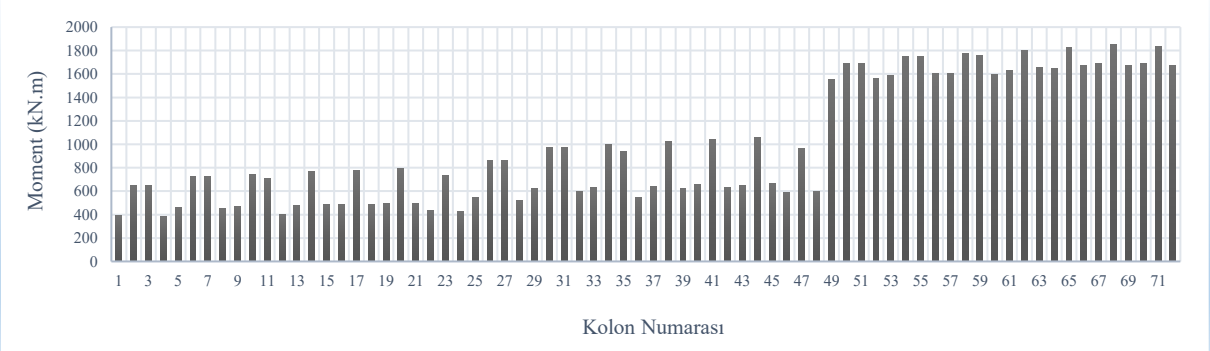
4.2. MODEL B ANALİZ SONUÇLARI

4.2.1. Kontrol Modelinin Analiz Sonuçları

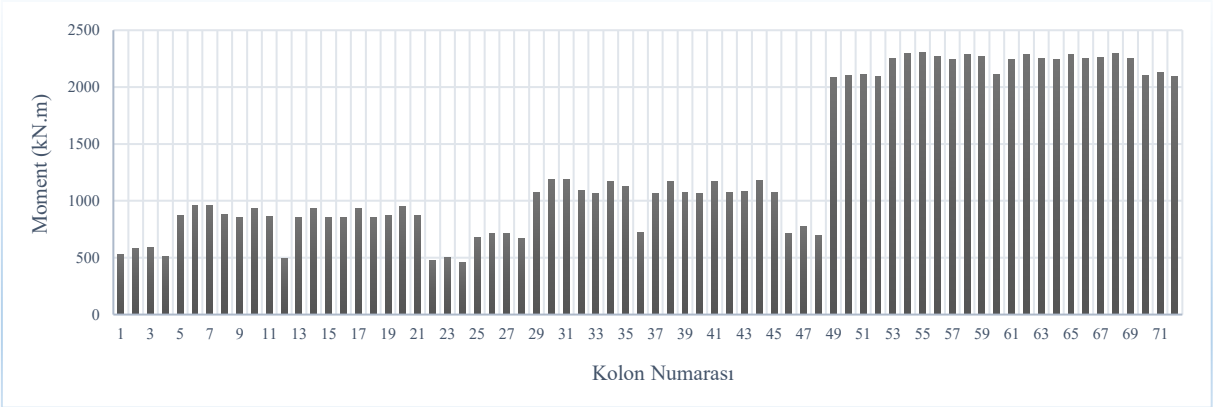
Doğrusal olmayan analizler sonuçlarına göre kontrol modeli DD-2 deprem yer hareketi düzeyinde "Kontrollü Hasar" performans hedefini sağlamıştır. Kontrol modeline ait analiz sonuçları **Şekil 4.300** ila **Şekil 4.312**'de sunulmuştur. Elemanların hasar düzeyleri ise **Tablo 4.115** ve **Tablo 4.116**'da açıklanmıştır.



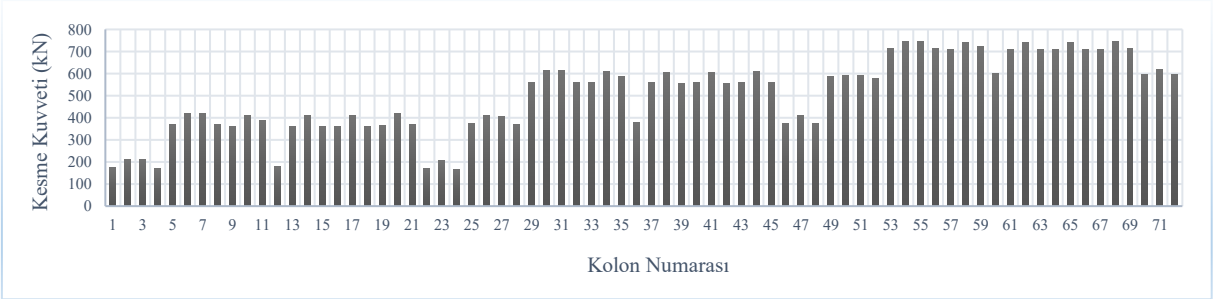
Şekil 4.300: Kontrol modelinde kolonların maksimum eksenel kuvvetleri (kN).



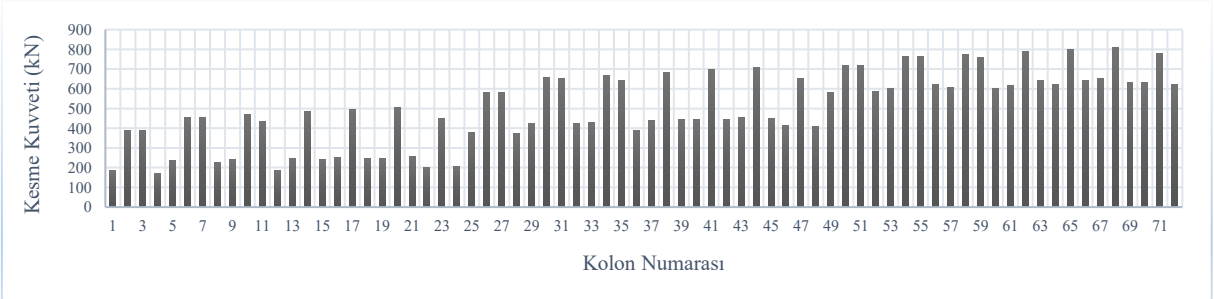
Şekil 4.301: Kontrol modelinde kolonların X yönünde maksimum momentleri (kN.m).



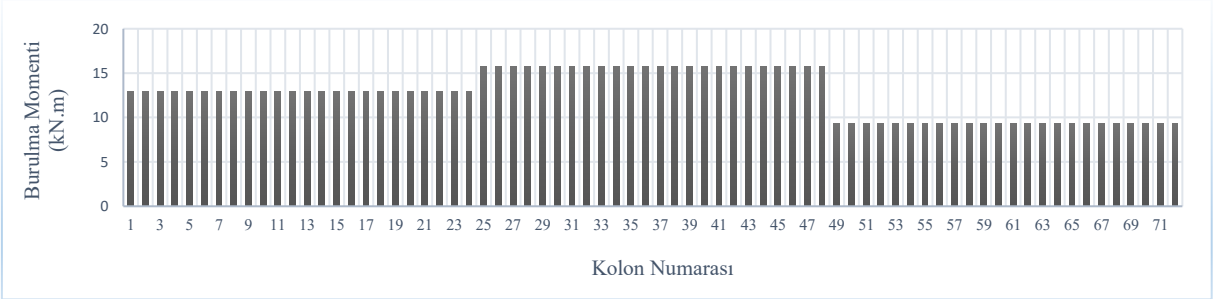
Şekil 4.302: Kontrol modelinde kolonların Y yönünde maksimum momentleri (kN.m).



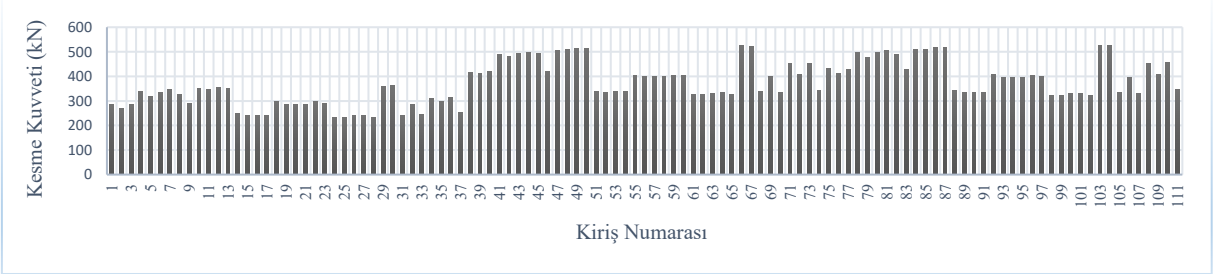
Şekil 4.303: Kontrol modelinde kolonların X yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).



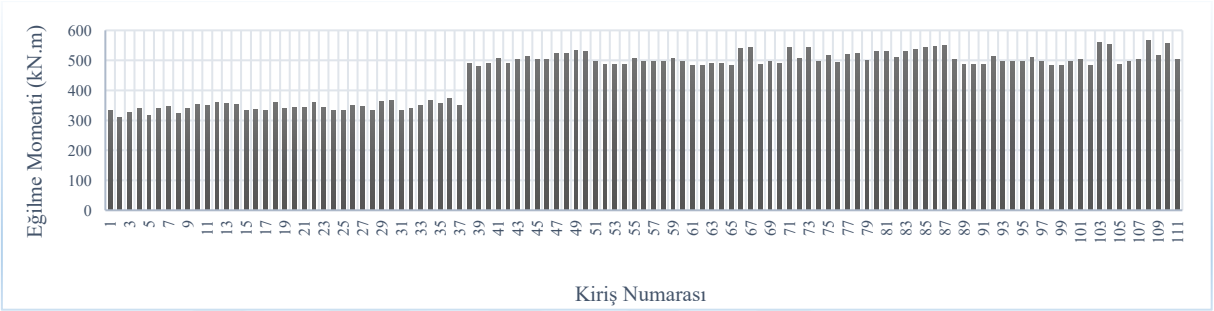
Şekil 4.304: Kontrol modelinde kolonların Y yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).



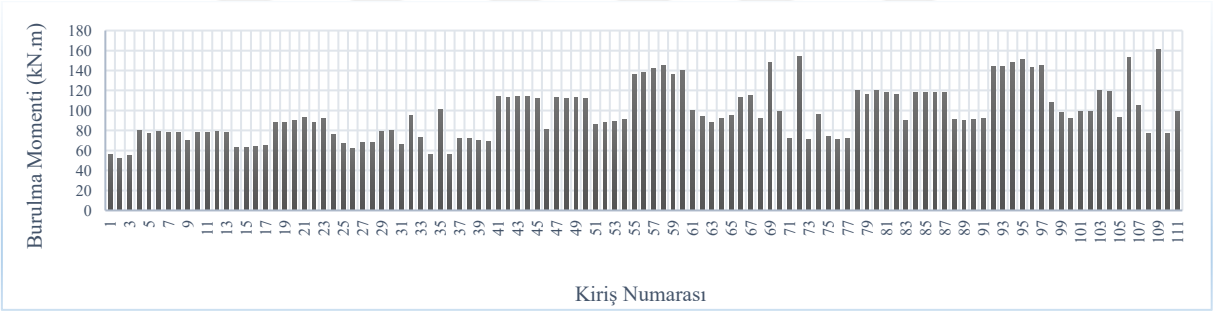
Şekil 4.305: Kontrol modelinde kolonların maksimum burulma momentleri (kN.m).



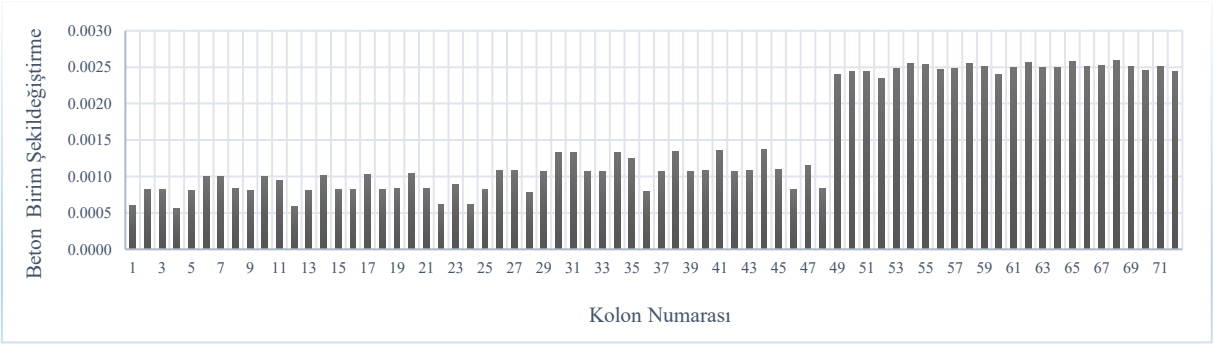
Şekil 4.306: Kontrol modelinde kirişlerin maksimum kesme kuvvetleri (kN).



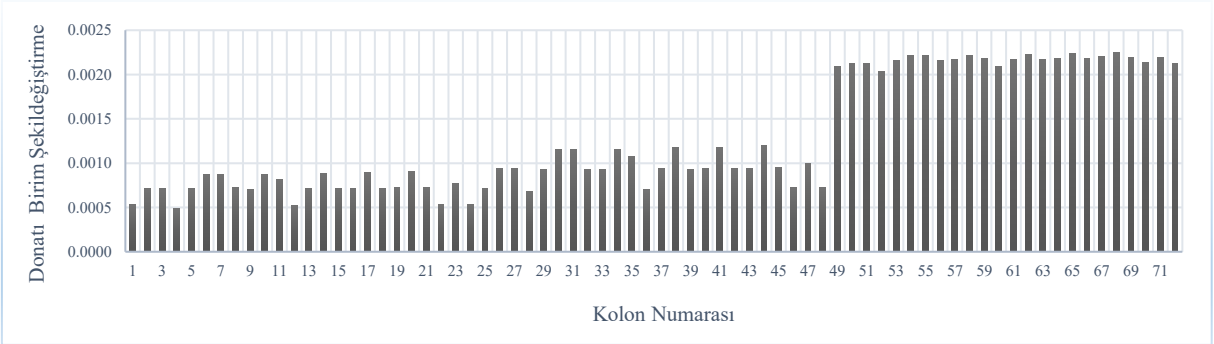
Şekil 4.307: Kontrol modelinde kirişlerin maksimum eğilme momentleri (kN.m).



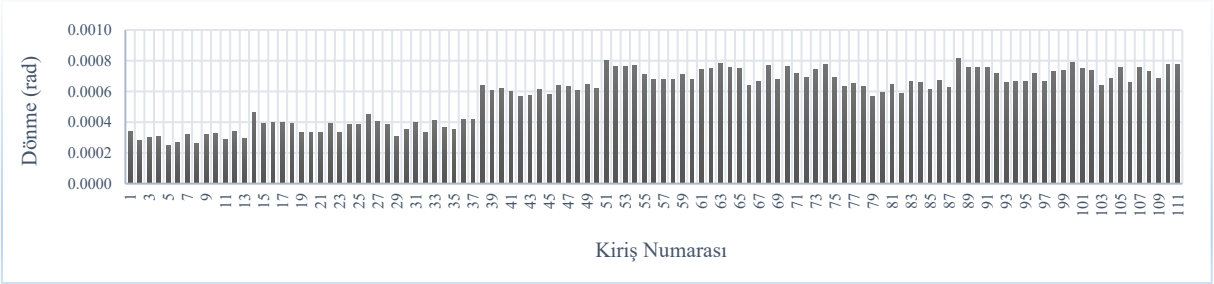
Şekil 4.308: Kontrol modelinde kirişlerin maksimum burulma momentleri (kN.m).



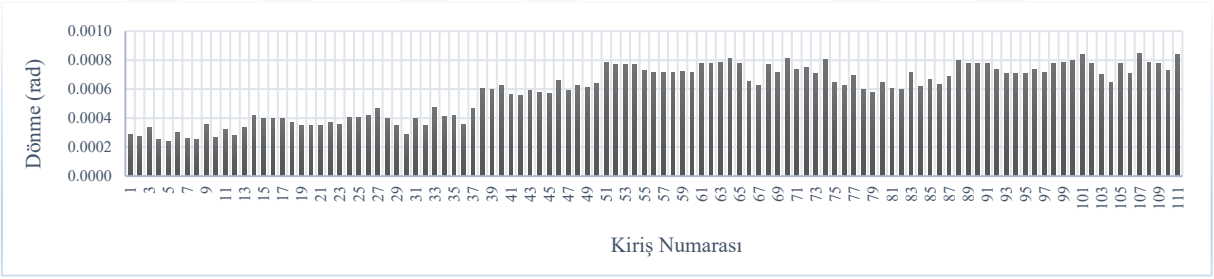
Şekil 4.309: Kontrol modelinde kolon kesitlerinin betonunda maksimum birim şekildeğiştirme değerleri.



Şekil 4.310: Kontrol modelinde kolon kesitlerinin donatısında maksimum birim şekildeğiştirme değerleri.



Şekil 4.311: Kontrol modelinde kiriş kesitlerinin I ucunda maksimum dönme değerleri (rad).



Şekil 4.312: Kontrol modelinde kiriş kesitlerinin J ucunda maksimum dönme değerleri (rad).

Tablo 4.115: Kontrol modelinde kirişlerin hasar bölgeleri.

Kat	Kiriş sayısı					
	Sınırlı hasar	Belirgin hasar	İleri hasar	Göçme	Gevrek kırılma	Toplam
3	0	37	0	0	0	37
2	0	37	0	0	0	37
1	0	37	0	0	0	37

Tablo 4.116: Kontrol modelinde kolonların hasar bölgeleri.

Kat	Kolon sayısı					
	Sınırlı hasar	Belirgin hasar	İleri hasar	Göçme	Gevrek kırılma	Toplam
3	24	0	0	0	0	24
2	24	0	0	0	0	24
1	12	12	0	0	0	24

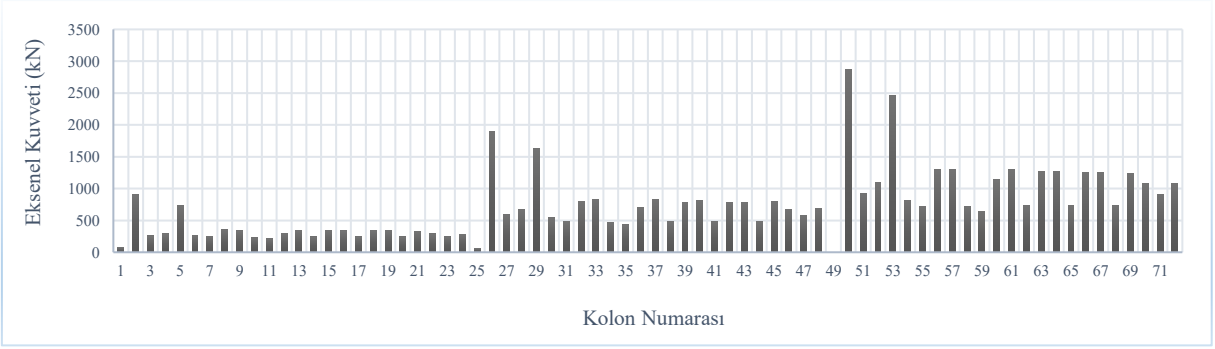
4.2.2. Senaryo B-1 Analiz Sonuçları

İlk katta yer alan tek bir köşe kolon kaybı senaryosu için kolon kaybı **Tablo 4.117**'de gelen iç kuvvetler ve kütle ile simüle edilmiştir. Söz konusu kolonun ortadan kalkma süresi 0.05 saniye olarak ayarlanmıştır.

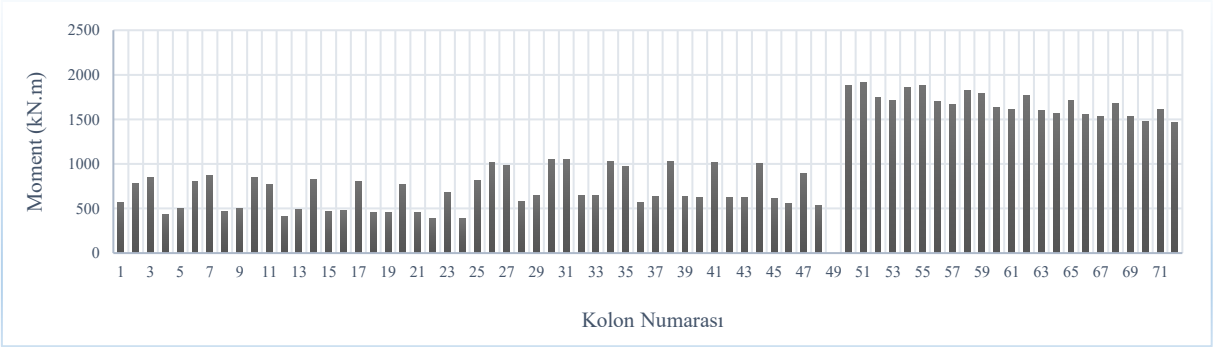
Tablo 4.117: Senaryo B-1'de kolonun sayısal simülasyonu.

P (kN)	M_x (kN.m)	M_y (kN.m)	V_x (kN)	V_y (kN)	Kütle (ton)
1060	1550	2082	585	580	5.65

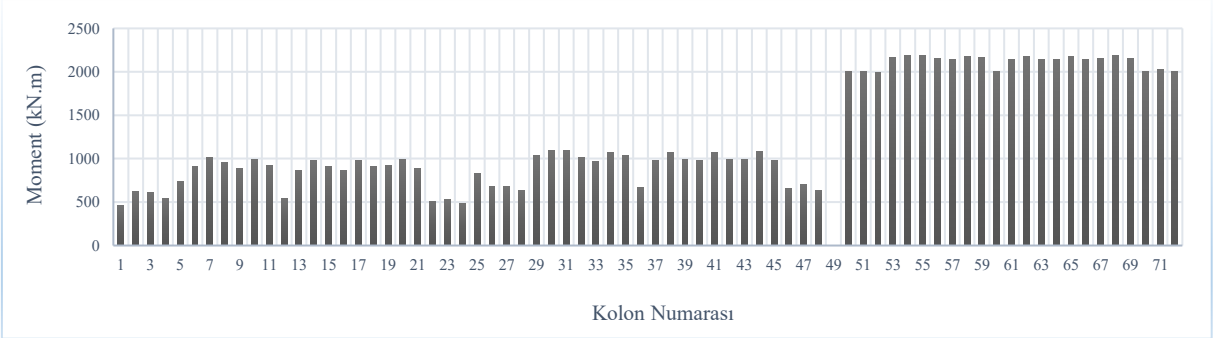
Senaryo B-1'e ait analiz sonuçları **Şekil 4.313** ila **Şekil 4.325**'te sunulmuştur. Söz konusu şekillerde senaryo B-1 kapsamında kaldırılmış olan kolon 49 numarayla gösterilmiştir. Elemanların hasar düzeyleri ise **Tablo 4.118** ve **Tablo 4.119**'da açıklanmıştır.



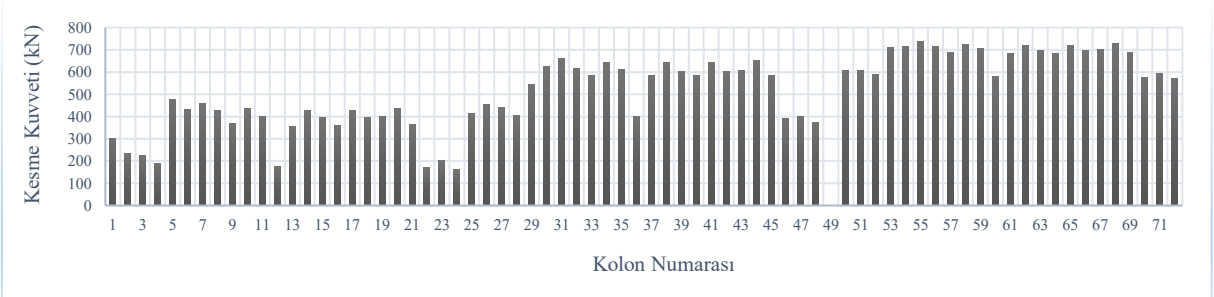
Şekil 4.313: Senaryo B-1'de kolonların maksimum eksenel kuvvetleri (kN).



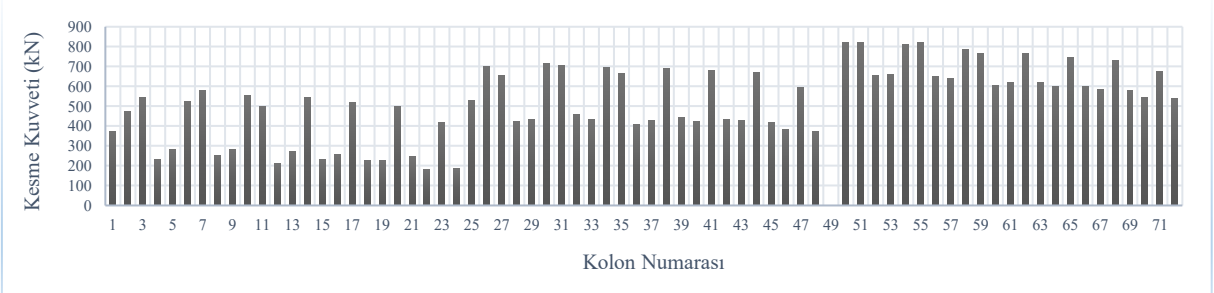
Şekil 4.314: Senaryo B-1'de kolonların X yönünde maksimum momentleri (kN.m).



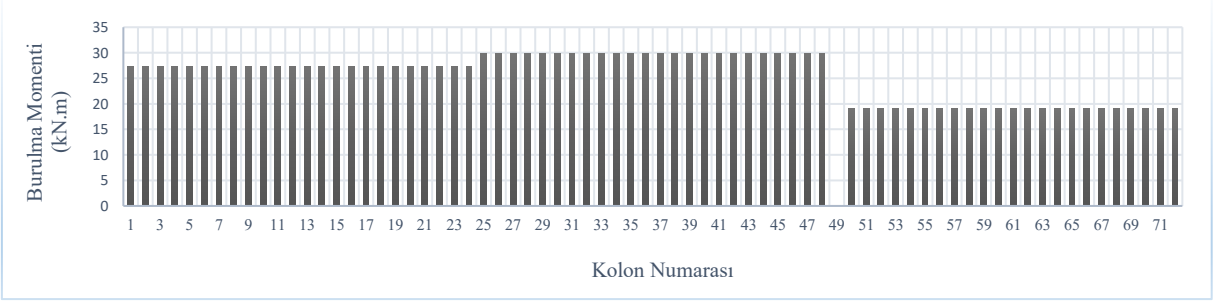
Şekil 4.315: Senaryo B-1'de kolonların Y yönünde maksimum momentleri (kN.m).



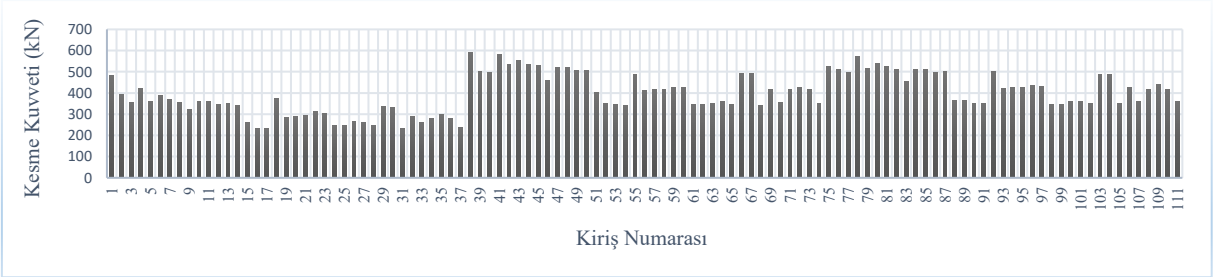
Şekil 4.316: Senaryo B-1'de kolonların X yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).



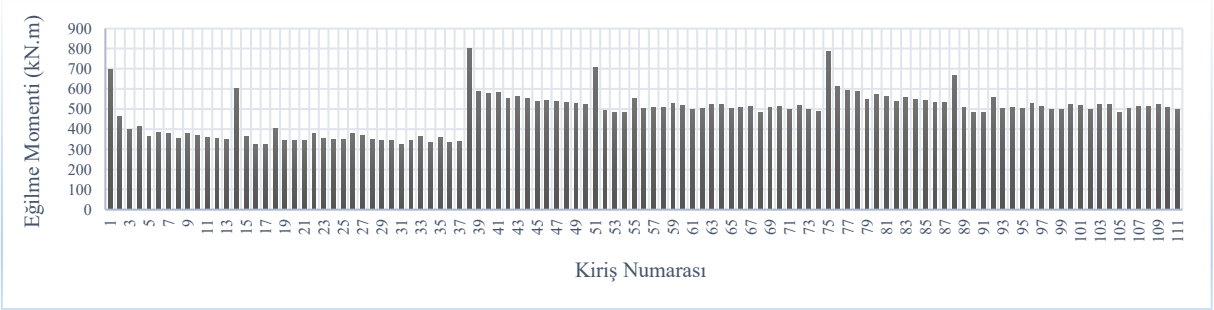
Şekil 4.317: Senaryo B-1'de kolonların Y yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).



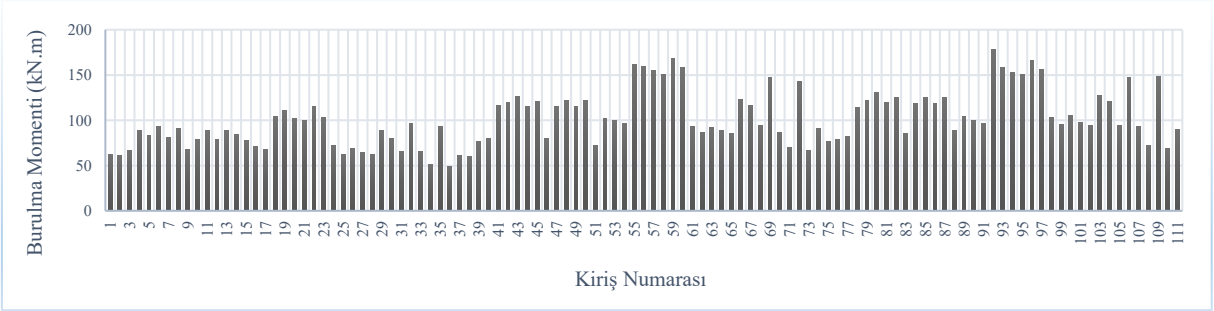
Şekil 4.318: Senaryo B-1'de kolonların maksimum burulma momentleri (kN.m).



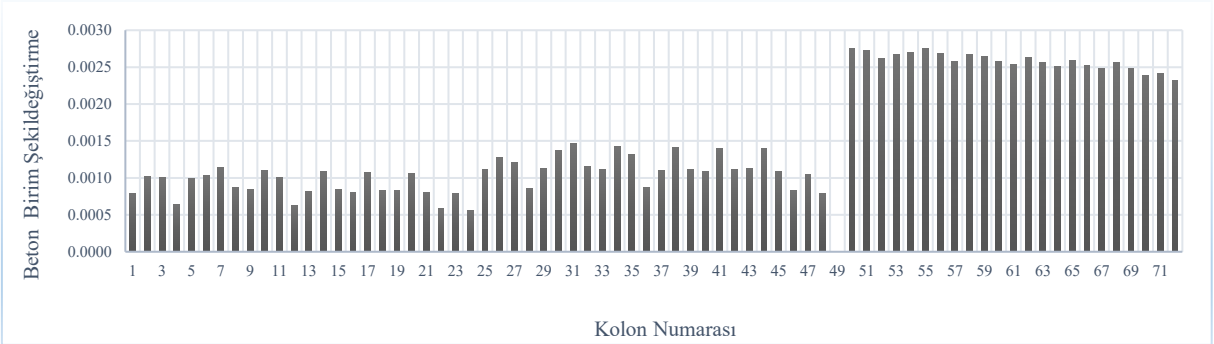
Şekil 4.319: Senaryo B-1'de kirişlerin maksimum kesme kuvvetleri (kN).



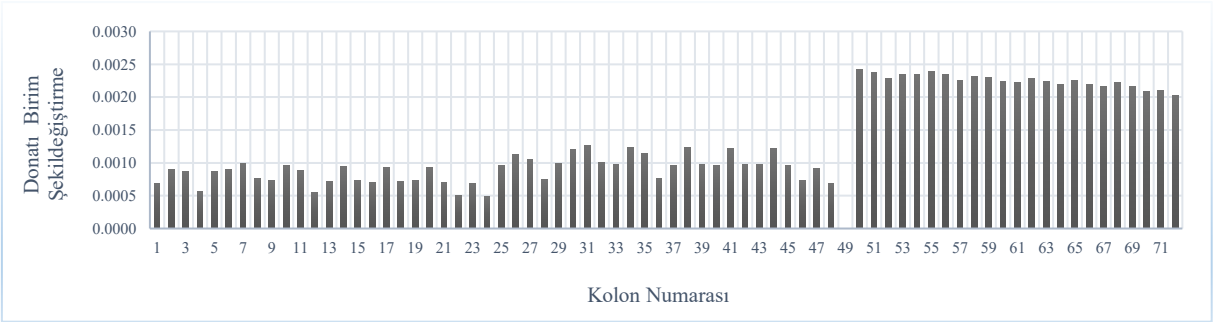
Şekil 4.320: Senaryo B-1'de kirişlerin maksimum eğilme momentleri (kN.m).



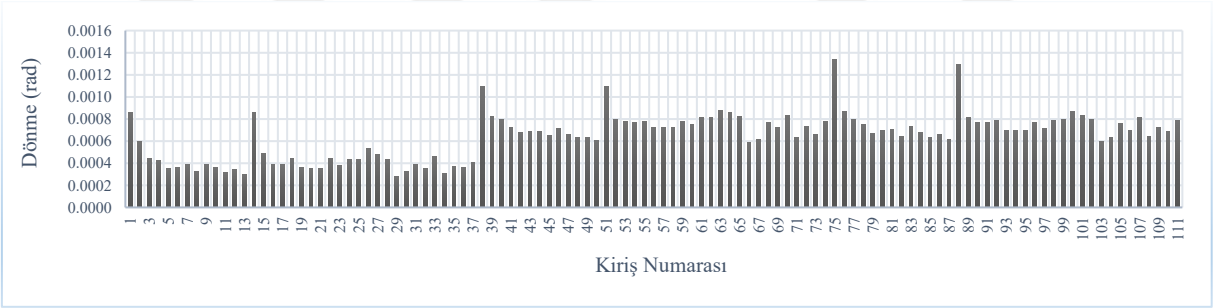
Şekil 4.321: Senaryo B-1'de kirişlerin maksimum burulma momentleri (kN.m).



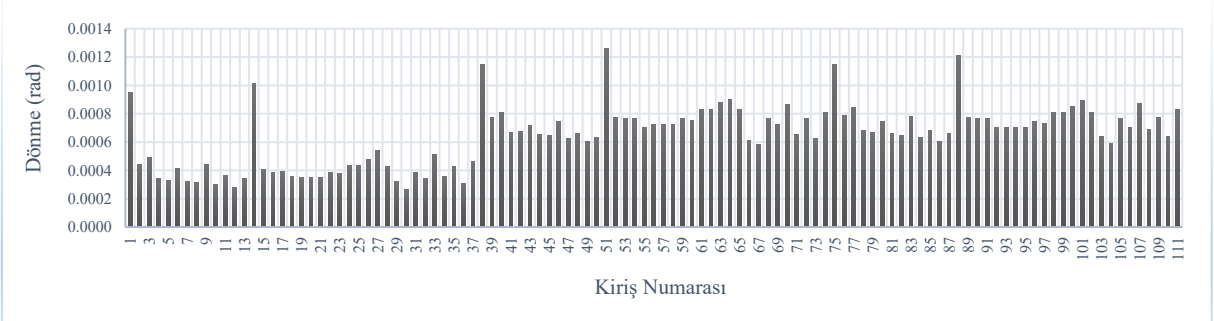
Şekil 4.322: Senaryo B-1'de kolon kesitlerinin betonunda maksimum birim şekildeğiştirme değerleri.



Şekil 4.323: Senaryo B-1'de kolon kesitlerinin donatısında maksimum birim şekildeğiştirme değerleri.



Şekil 4.324: Senaryo B-1'de kiriş kesitlerinin I ucunda maksimum dönme değerleri (rad).



Şekil 4.325: Senaryo B-1'de kiriş kesitlerinin J ucunda maksimum dönme değerleri (rad).

Tablo 4.118: Senaryo B-1'de kirişlerin hasar bölgeleri.

Kat	Kiriş sayısı					
	Sınırlı hasar	Belirgin hasar	İleri hasar	Göçme	Gevrek kırılma	Toplam
3	0	37	0	0	0	37
2	0	37	0	0	0	37
1	0	37	0	0	0	37

Tablo 4.119: Senaryo B-1'de kolonların hasar bölgeleri.

Kat	Kolon sayısı					
	Sınırlı hasar	Belirgin hasar	İleri hasar	Göçme	Gevrek kırılma	Toplam
3	20	0	0	0	0	24
2	20	0	0	0	0	24
1	5	18	0	1	0	24

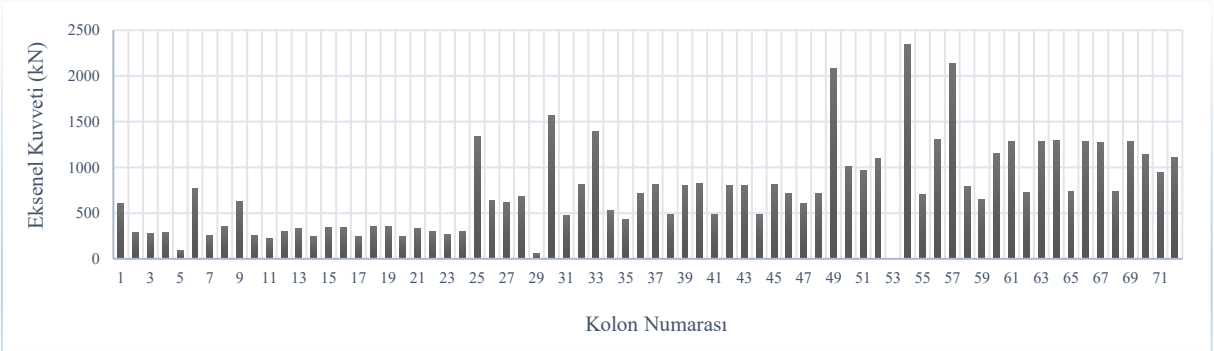
4.2.3. Senaryo B-2 Analiz Sonuçları

İlk katta yer alan tek bir kenar orta kolon kaybı senaryosu için kolon kaybı **Tablo 4.120**'de gelen iç kuvvetler ve kütle ile simüle edilmiştir. Söz konusu kolonun ortadan kalkma süresi 0.05 saniye olarak ayarlanmıştır.

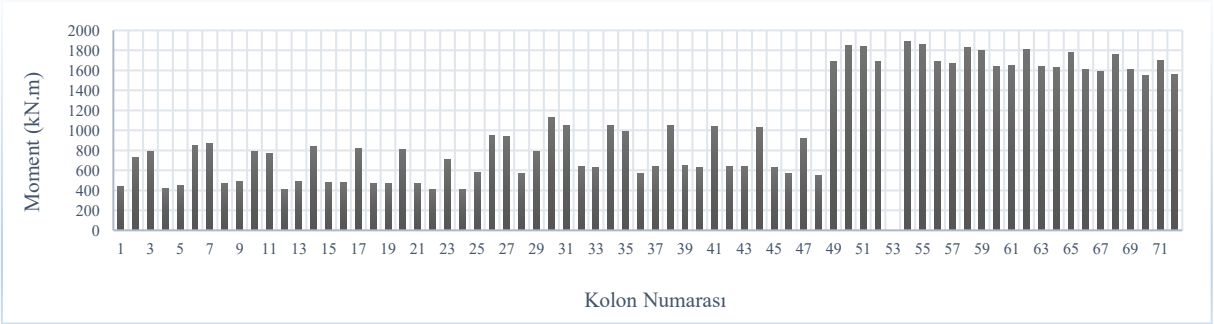
Tablo 4.120: Senaryo B-2'de kolonun sayısal simülasyonu.

P (kN)	M_x (kN.m)	M_y (kN.m)	V_x (kN)	V_y (kN)	Kütle (ton)
1159	1585	2248	715	602	8.59

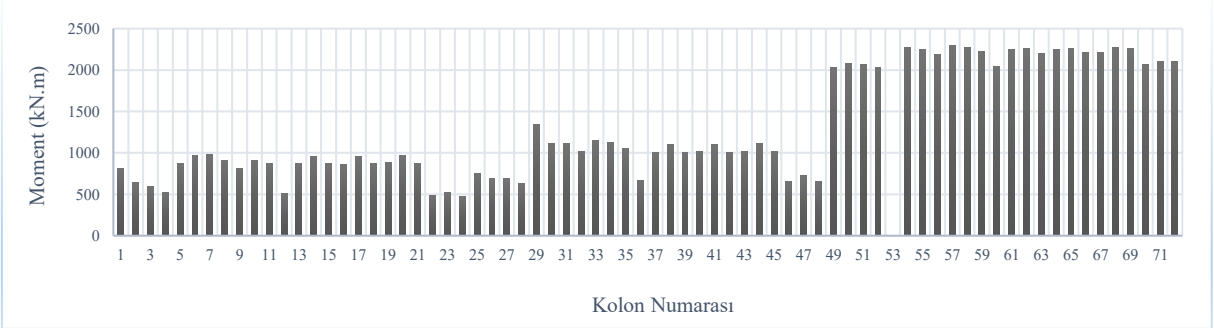
Senaryo B-2'ye ait analiz sonuçları **Şekil 4.326** ila **Şekil 4.338**'de sunulmuştur. Söz konusu şekillerde senaryo B-2 kapsamında kaldırılmış olan kolon 53 numarayla gösterilmiştir. Elemanların hasar düzeyleri ise **Tablo 4.121** ve **Tablo 4.122**'de açıklanmıştır.



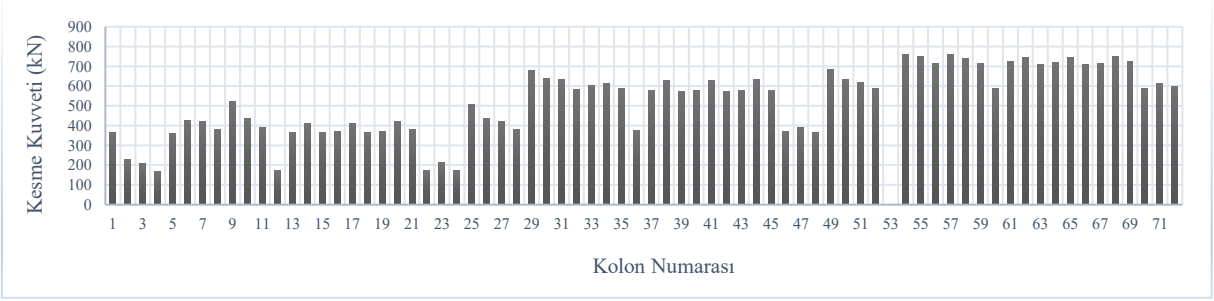
Şekil 4.326: Senaryo B-2'de kolonların maksimum eksenel kuvvetleri (kN).



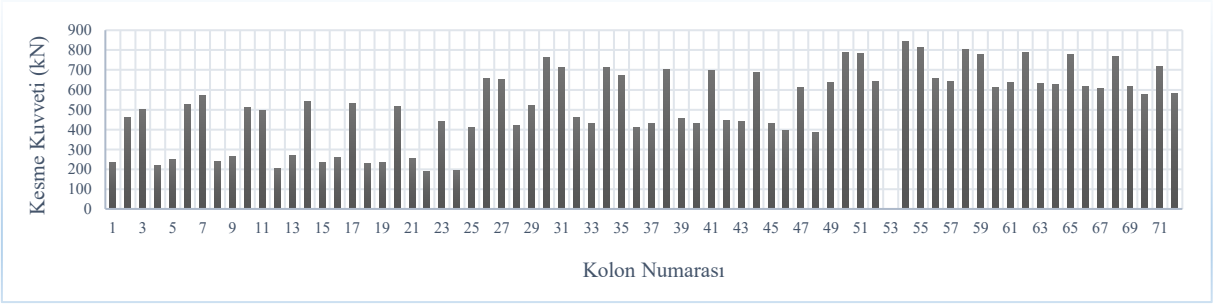
Şekil 4.327: Senaryo B-2'de kolonların X yönünde maksimum momentleri (kN.m).



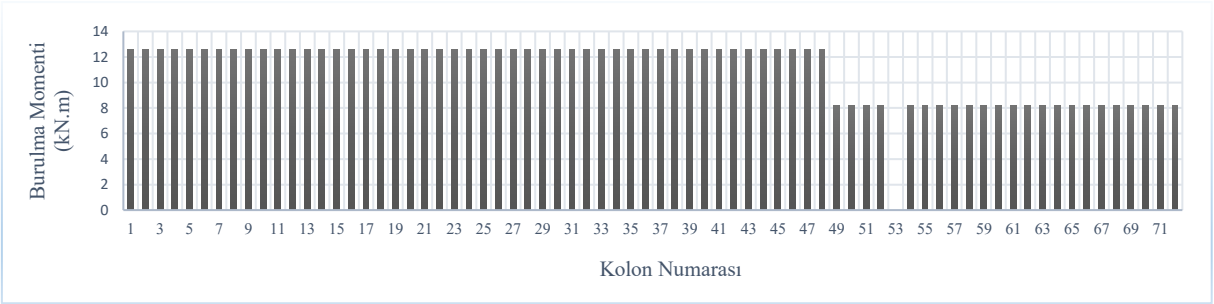
Şekil 4.328: Senaryo B-2'de kolonların Y yönünde maksimum momentleri (kN.m).



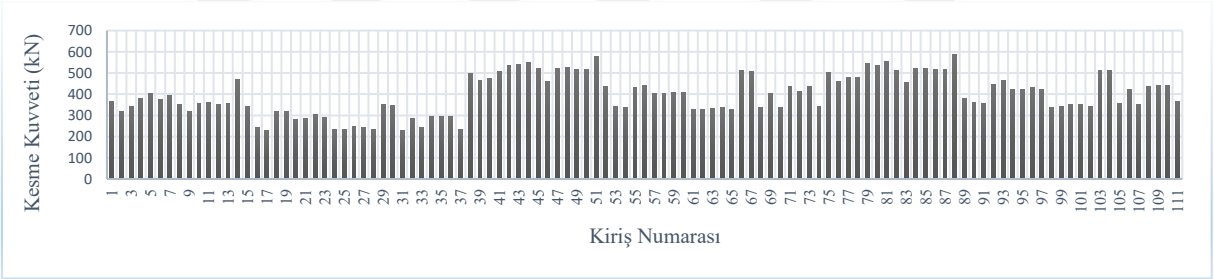
Şekil 4.329: Senaryo B-2'de kolonların X yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).



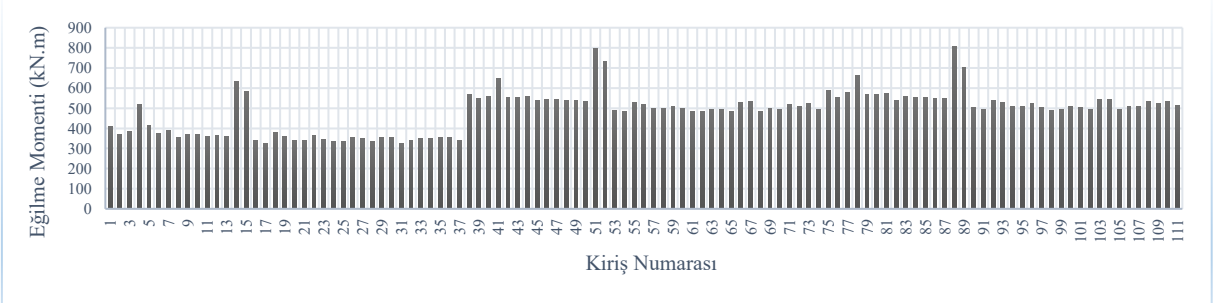
Şekil 4.330: Senaryo B-2'de kolonların Y yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).



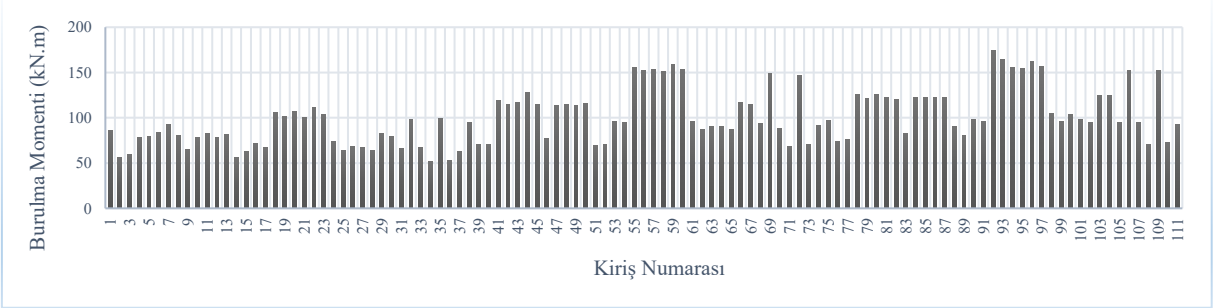
Şekil 4.331: Senaryo B-2'de kolonların maksimum burulma momentleri (kN.m).



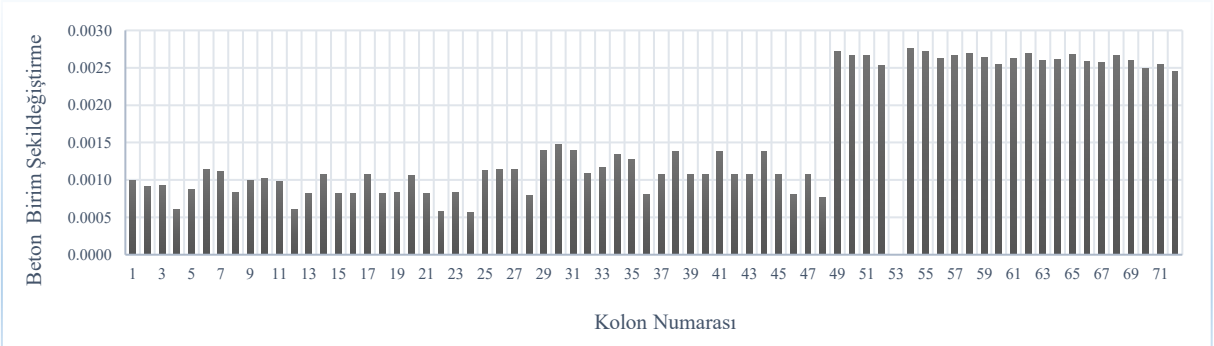
Şekil 4.332: Senaryo B-2'de kirişlerin maksimum kesme kuvvetleri (kN).



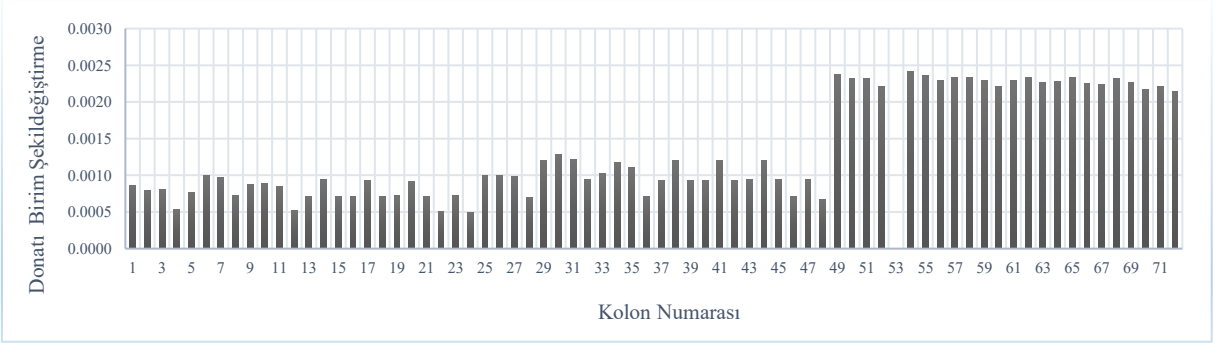
Şekil 4.333: Senaryo B-2'de kirişlerin maksimum eğilme momentleri (kN.m).



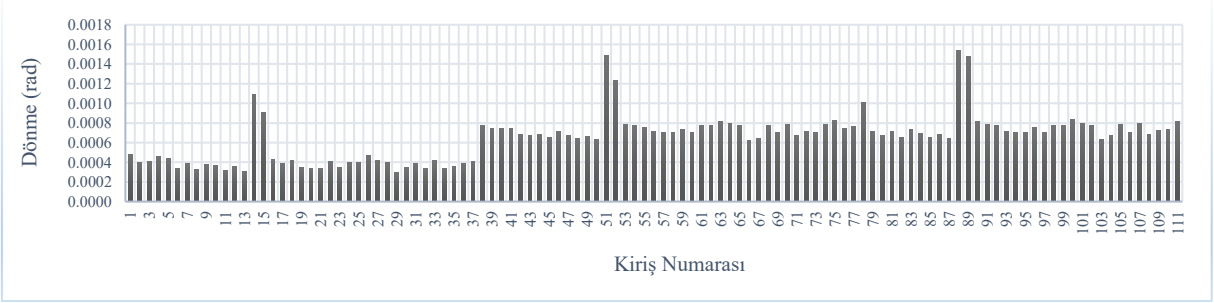
Şekil 4.334: Senaryo B-2'de kirişlerin maksimum burulma momentleri (kN.m).



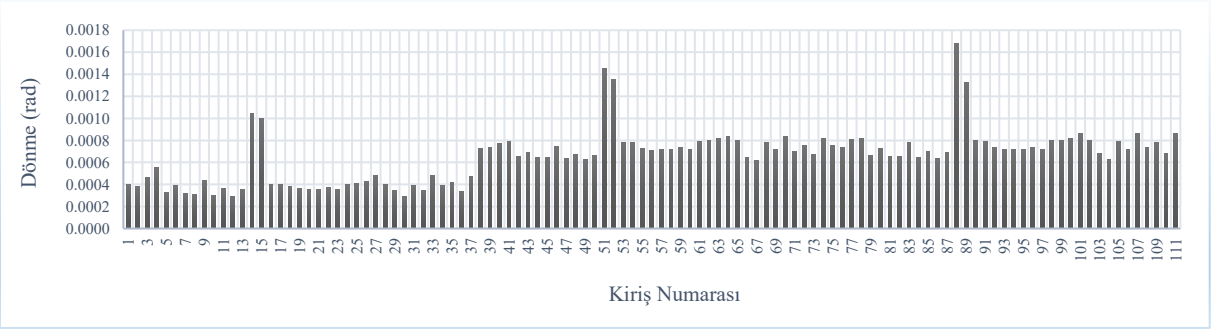
Şekil 4.335: Senaryo B-2'de kolon kesitlerinin betonunda maksimum birim şekildeğiştirme değerleri.



Şekil 4.336: Senaryo B-2'de kolon kesitlerinin donatısında maksimum birim şekildeğiştirme değerleri.



Şekil 4.337: Senaryo B-2'de kiriş kesitlerinin I ucunda maksimum dönme değerleri (rad).



Şekil 4.338: Senaryo B-2'de kiriş kesitlerinin J ucunda maksimum dönme değerleri (rad).

Tablo 4.121: Senaryo B-2'de kirişlerin hasar bölgeleri.

Kat	Kiriş sayısı					
	Sınırlı hasar	Belirgin hasar	İleri hasar	Göçme	Gevrek kırılma	Toplam
3	0	37	0	0	0	37
2	0	37	0	0	0	37
1	0	37	0	0	0	37

Tablo 4.122: Senaryo B-2'de kolonların hasar bölgeleri.

Kat	Kolon sayısı					
	Sınırlı hasar	Belirgin hasar	İleri hasar	Göçme	Gevrek kırılma	Toplam
3	24	0	0	0	0	24
2	24	0	0	0	0	24
1	2	21	0	1	0	204

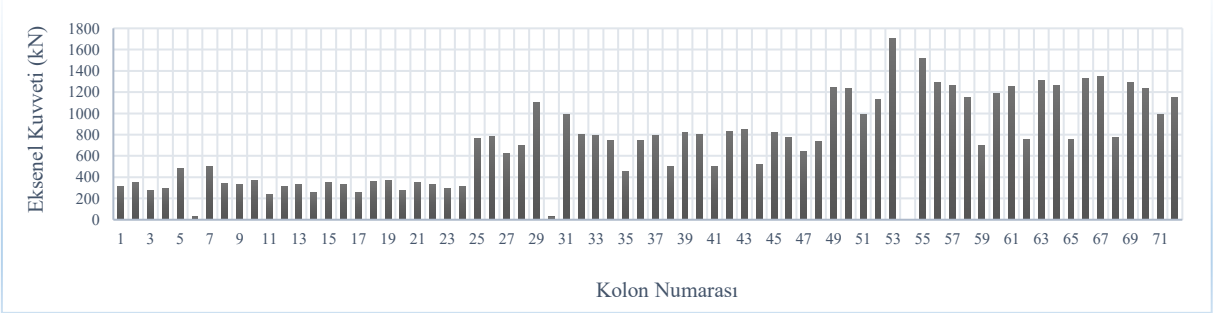
4.2.4. Senaryo B-3 Analiz Sonuçları

İlk katta yer alan tek bir iç kolon kaybı senaryosu için kolon kaybı **Tablo 4.123**'te gelen iç kuvvetler ve kütle ile simüle edilmiştir. Söz konusu kolonun ortadan kalkma süresi 0.05 saniye olarak ayarlanmıştır.

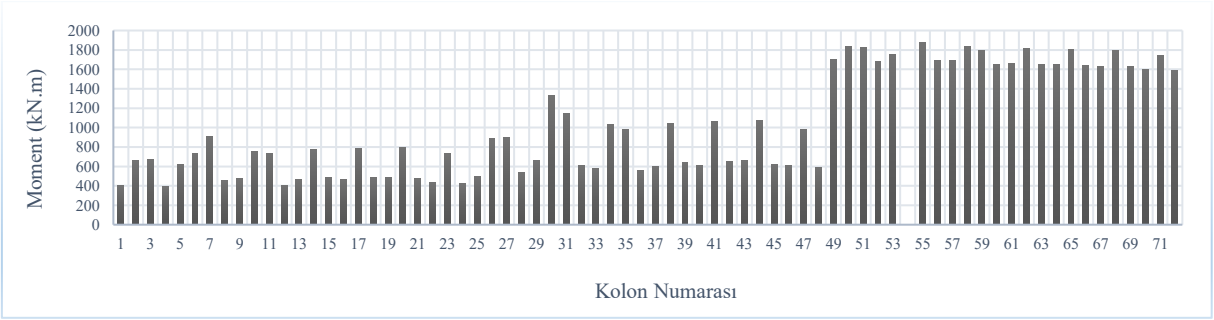
Tablo 4.123: Senaryo B-3'te kolonun sayısal simülasyonu.

P (kN)	M_x (kN.m)	M_y (kN.m)	V_x (kN)	V_y (kN)	Kütle (ton)
730	1752	2295	745	765	13.23

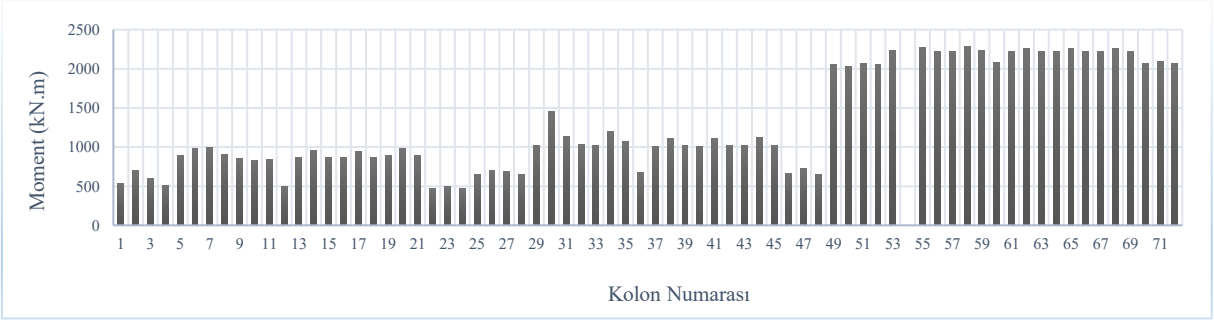
Senaryo B-3'e ait analiz sonuçları **Şekil 4.339** ila **Şekil 4.351**'de sunulmuştur. Söz konusu şekillerde senaryo B-3 kapsamında kaldırılmış olan kolon 54 numarayla gösterilmiştir. Elemanların hasar düzeyleri ise **Tablo 4.124** ve **Tablo 4.125**'te açıklanmıştır.



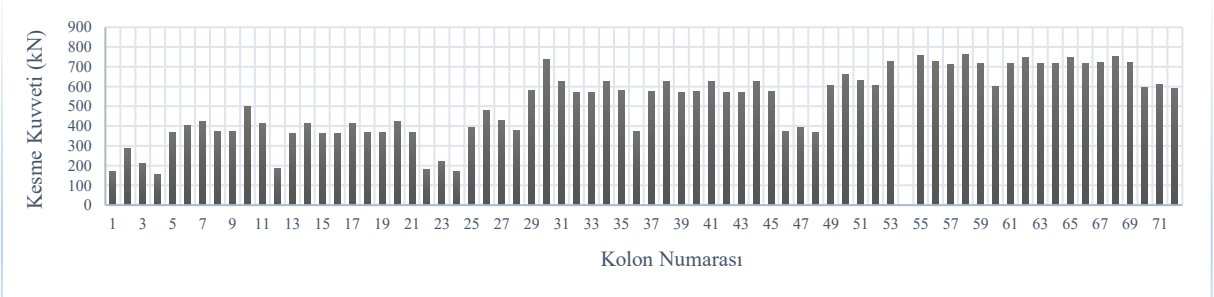
Şekil 4.339: Senaryo B-3'te kolonların maksimum eksenel kuvvetleri (kN).



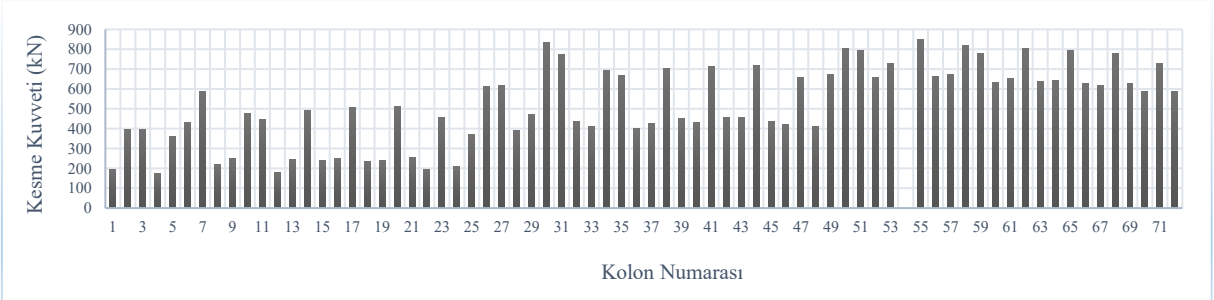
Şekil 4.340: Senaryo B-3'te kolonların X yönünde maksimum momentleri (kN.m).



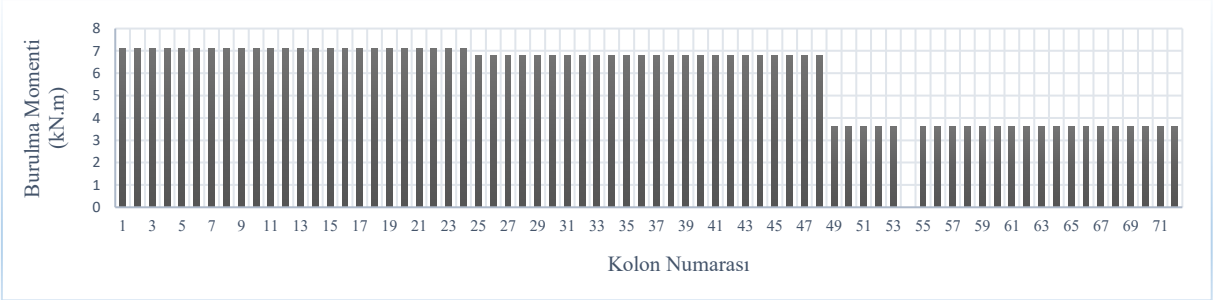
Şekil 4.341: Senaryo B-3'te kolonların Y yönünde maksimum momentleri (kN.m).



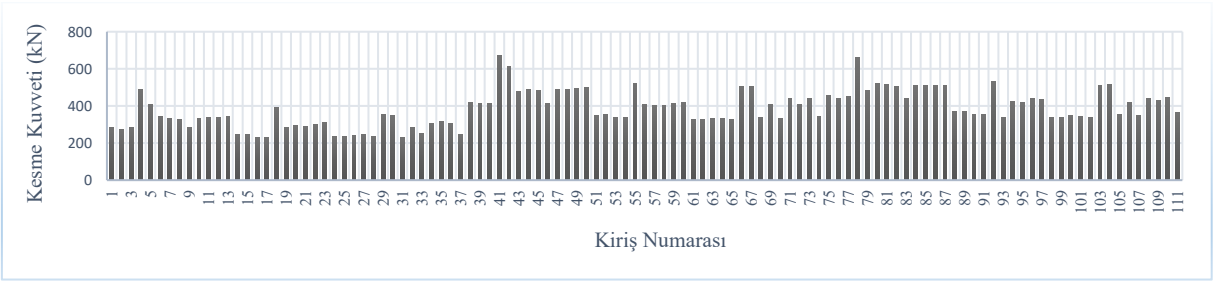
Şekil 4.342: Senaryo B-3'te kolonların X yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).



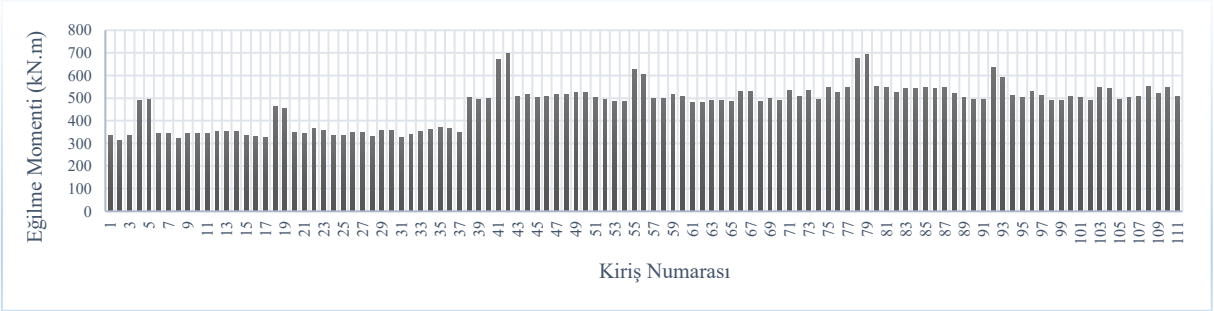
Şekil 4.343: Senaryo B-3'te kolonların Y yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).



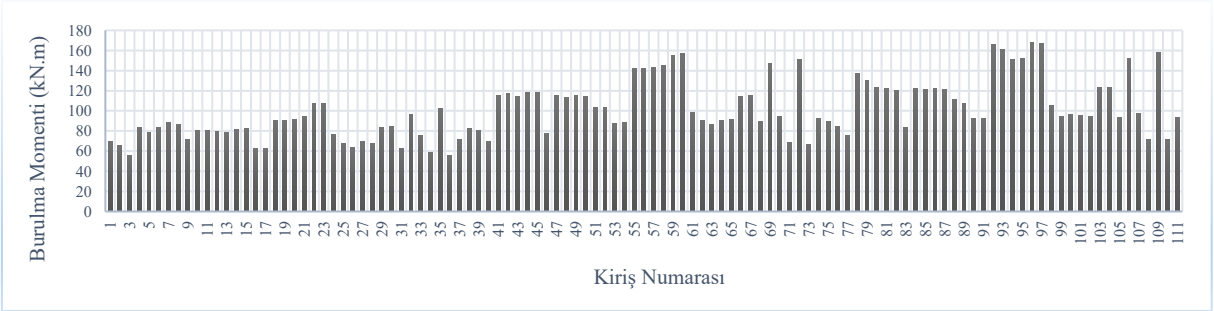
Şekil 4.344: Senaryo B-3'te kolonların maksimum burulma momentleri (kN.m).



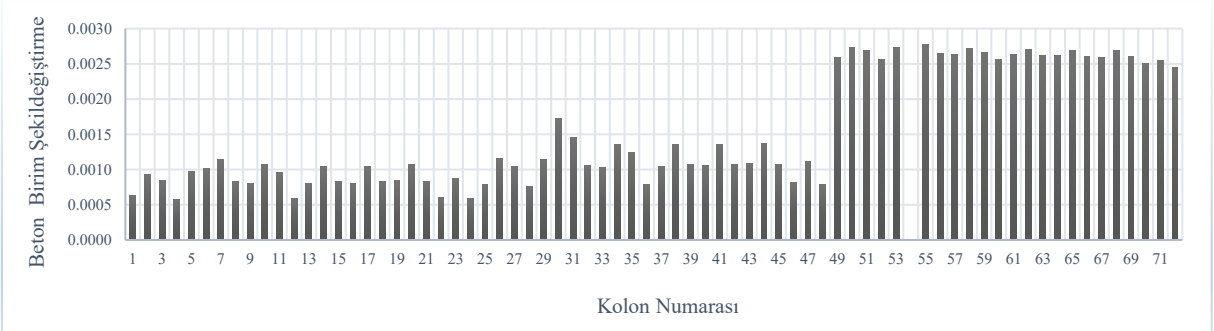
Şekil 4.345: Senaryo B-3'te kirişlerin maksimum kesme kuvvetleri (kN).



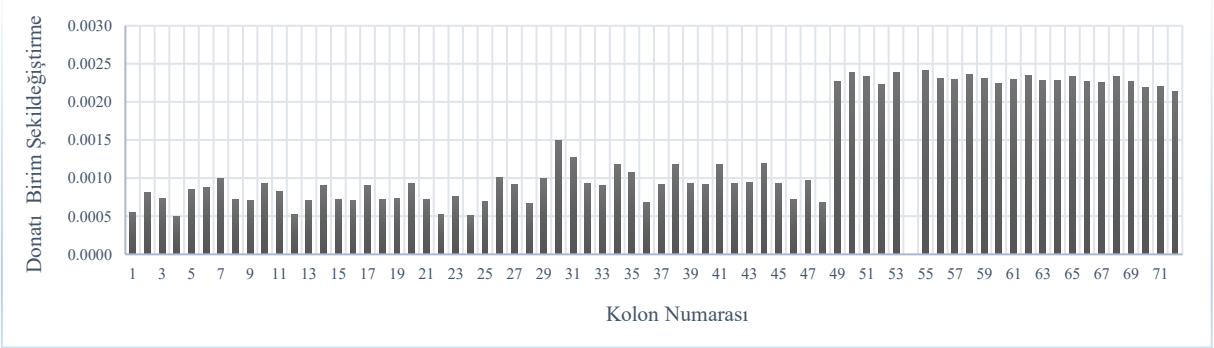
Şekil 4.346: Senaryo B-3'te kirişlerin maksimum eğilme momentleri (kN.m).



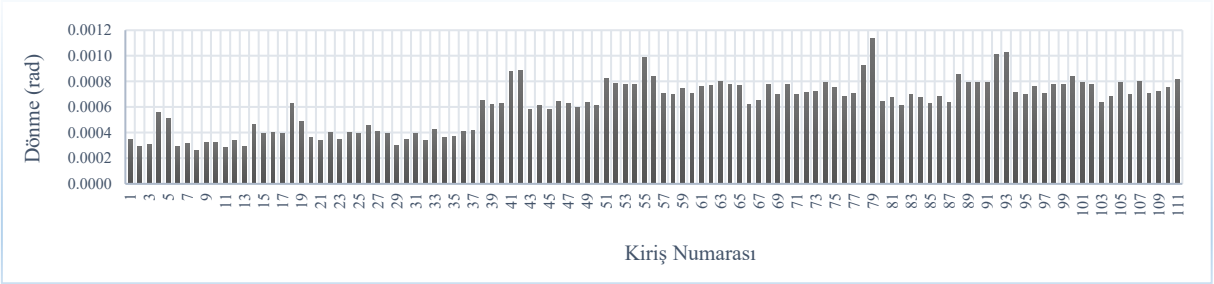
Şekil 4.347: Senaryo B-3'te kirişlerin maksimum burulma momentleri (kN.m).



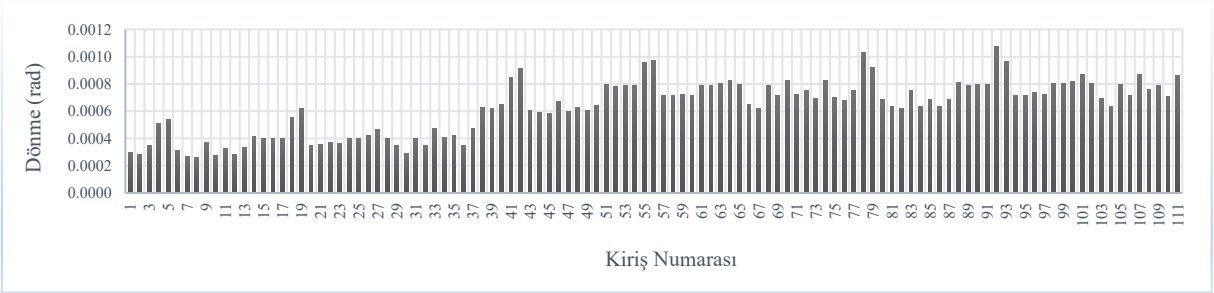
Şekil 4.348: Senaryo B-3'te kolon kesitlerinin betonunda maksimum birim şekildeğiştirme değerleri.



Şekil 4.349: Senaryo B-3'te kolon kesitlerinin donatısında maksimum birim şekildeğiştirme değerleri.



Şekil 4.350: Senaryo B-3'te kiriş kesitlerinin I ucunda maksimum dönme değerleri (rad).



Şekil 4.351: Senaryo B-3'te kiriş kesitlerinin J ucunda maksimum dönme değerleri (rad).

Tablo 4.124: Senaryo B-3'te kirişlerin hasar bölgeleri.

Kat	Kiriş sayısı					
	Sınırlı hasar	Belirgin hasar	İleri hasar	Göçme	Gevrek kırılma	Toplam
3	0	37	0	0	0	37
2	0	37	0	0	0	37
1	0	37	0	0	0	37

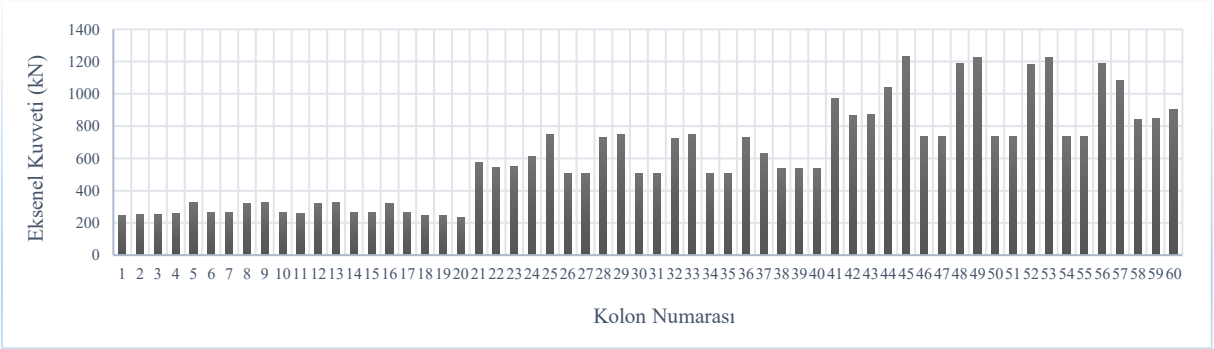
Tablo 4.125: Senaryo B-3'te kolonların hasar bölgeleri.

Kat	Kolon sayısı					
	Sınırlı hasar	Belirgin hasar	İleri hasar	Göçme	Gevrek kırılma	Toplam
3	24	0	0	0	0	24
2	24	0	0	0	0	24
1	1	22	0	1	0	24

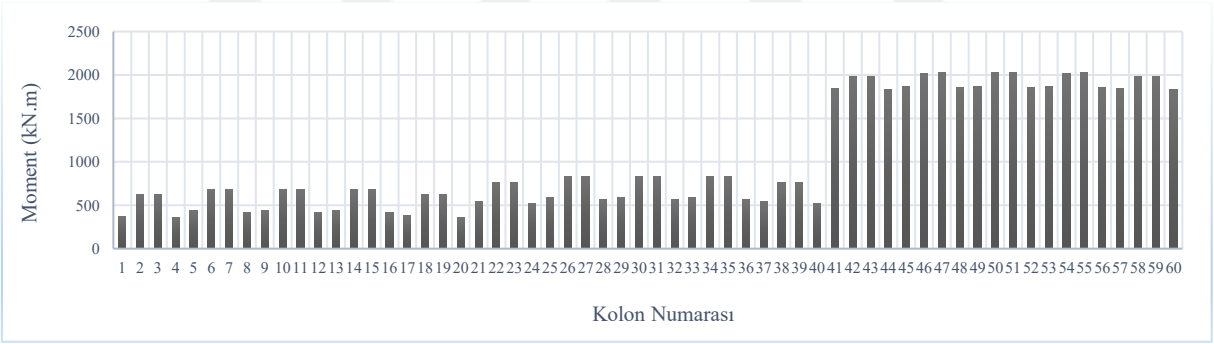
4.3. MODEL C ANALİZ SONUÇLARI

4.3.1. Kontrol Modelinin Analiz Sonuçları

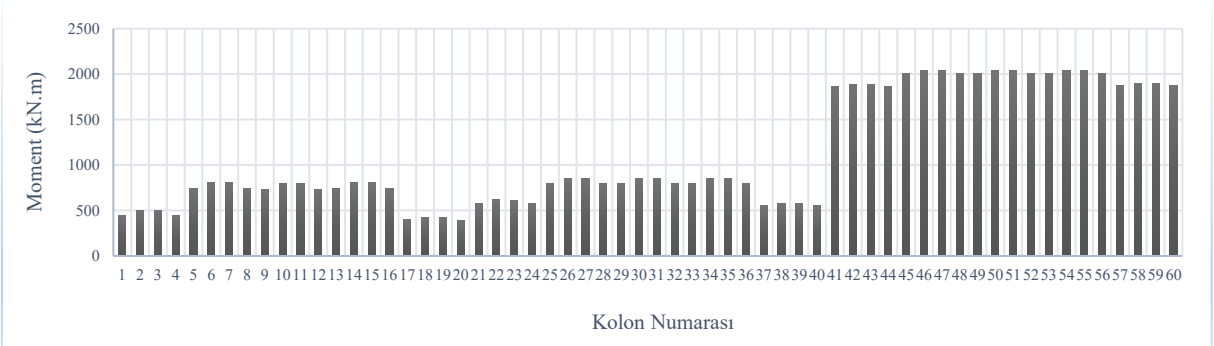
Doğrusal olmayan analizler sonuçlarına göre kontrol modeli DD-2 deprem yer hareketi düzeyinde "Kontrollü Hasar" performans hedefini sağlamıştır. Kontrol modeline ait analiz sonuçları **Şekil 4.352** ila **Şekil 4.364**'te sunulmuştur. Elemanların hasar düzeyleri ise **Tablo 4.126** ve **Tablo 4.127**'da açıklanmıştır.



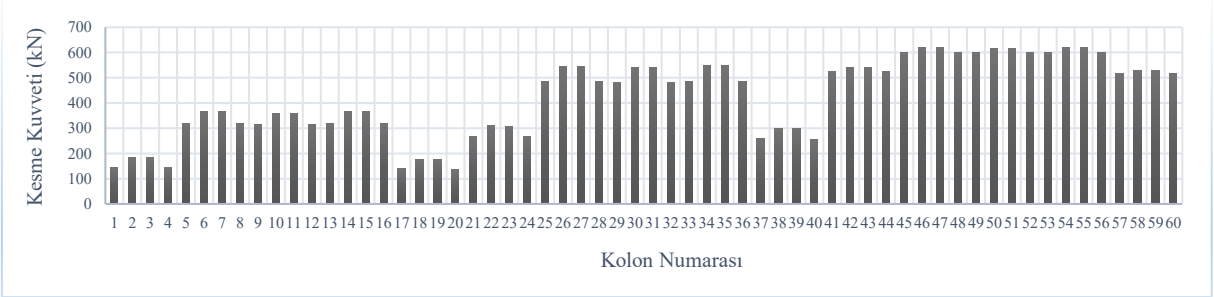
Şekil 4.352: Kontrol modelinde kolonların maksimum eksenel kuvvetleri (kN).



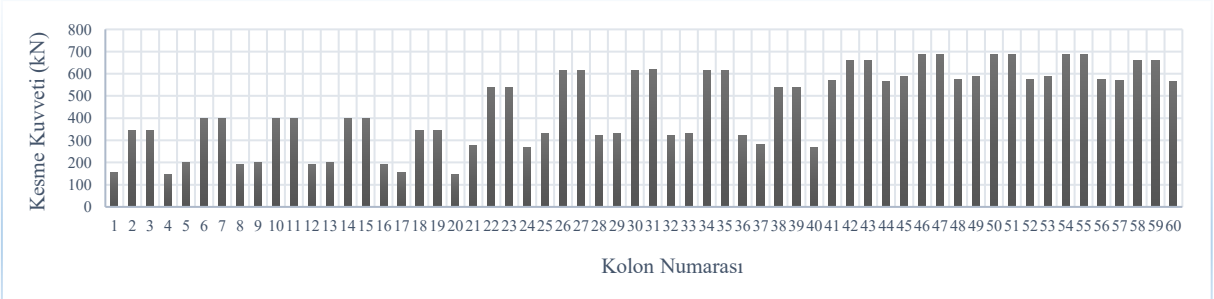
Şekil 4.353: Kontrol modelinde kolonların X yönünde maksimum momentleri (kN.m).



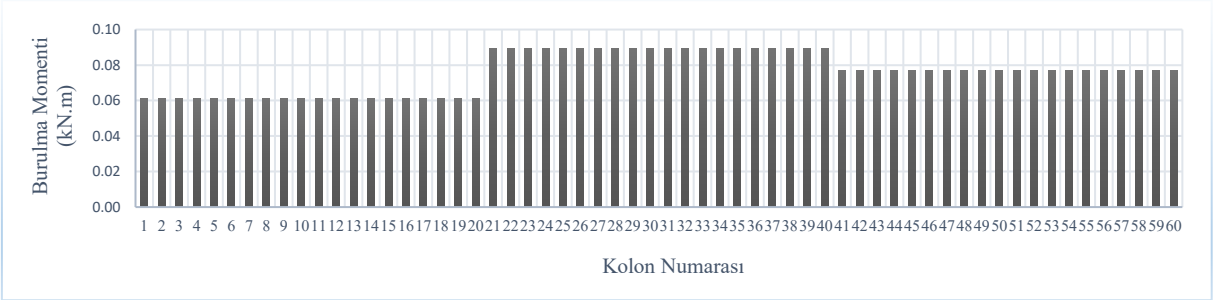
Şekil 4.354: Kontrol modelinde kolonların Y yönünde maksimum momentleri (kN.m).



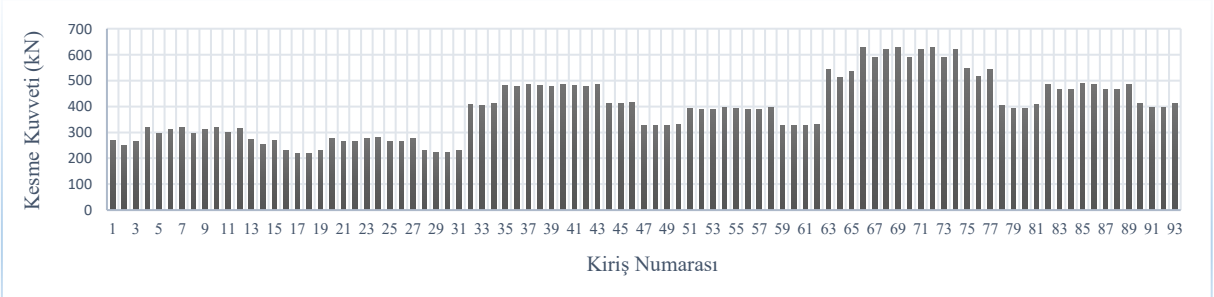
Şekil 4.355: Kontrol modelinde kolonların X yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).



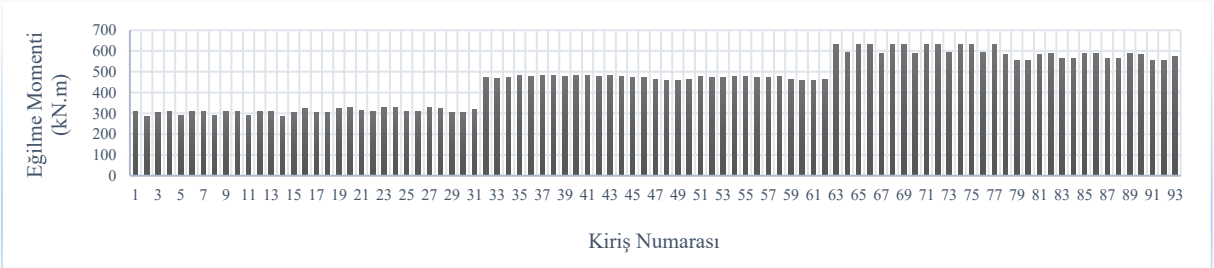
Şekil 4.356: Kontrol modelinde kolonların Y yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).



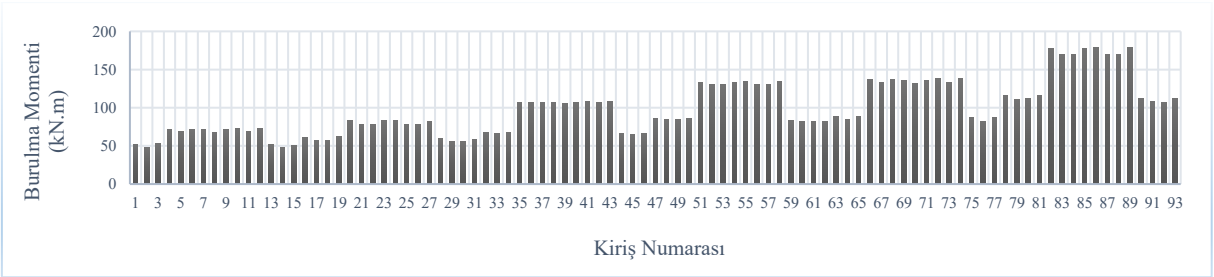
Şekil 4.357: Kontrol modelinde kolonların maksimum burulma momentleri (kN.m).



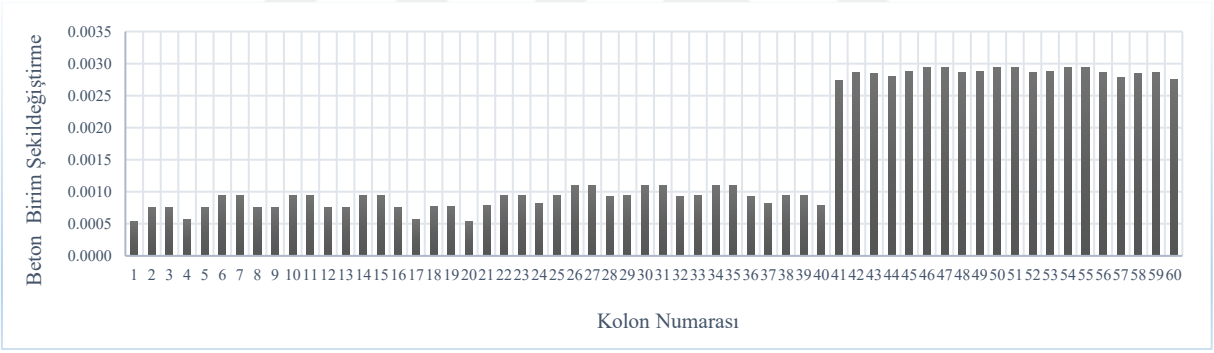
Şekil 4.358: Kontrol modelinde kirişlerin maksimum kesme kuvvetleri (kN).



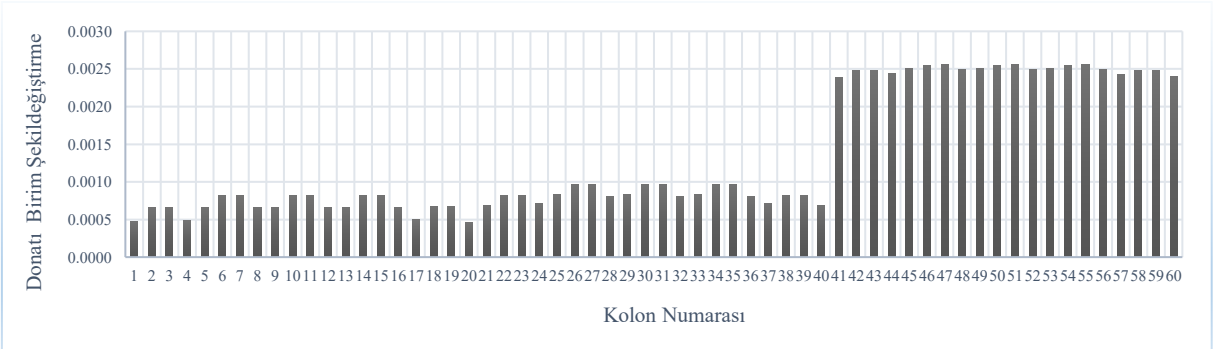
Şekil 4.359: Kontrol modelinde kirişlerin maksimum eğilme momentleri (kN.m).



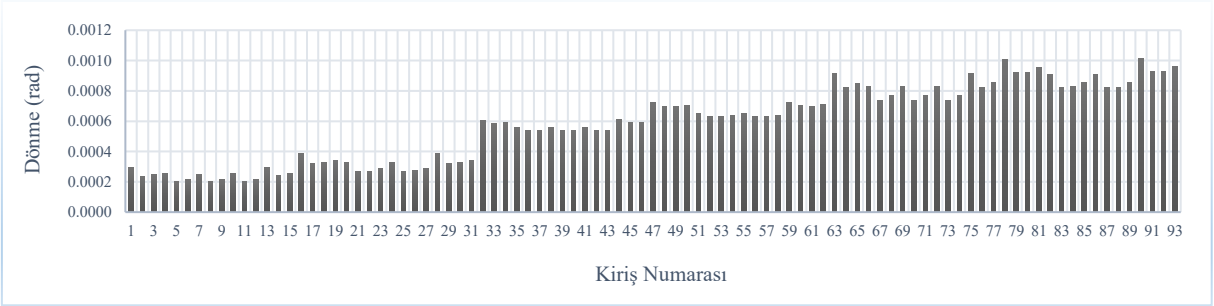
Şekil 4.360: Kontrol modelinde kirişlerin maksimum burulma momentleri (kN.m).



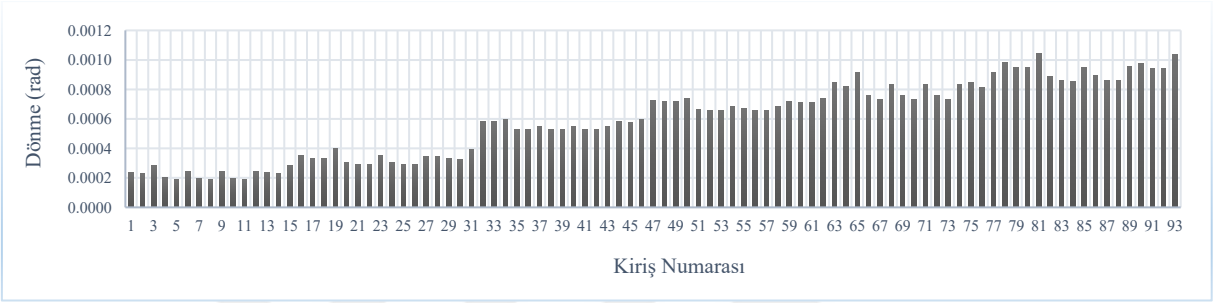
Şekil 4.361: Kontrol modelinde kolon kesitlerinin betonunda maksimum birim şekildeğiştirme değerleri.



Şekil 4.362: Kontrol modelinde kolon kesitlerinin donatısında maksimum birim şekildeğiştirme değerleri.



Şekil 4.363: Kontrol modelinde kiriş kesitlerinin I ucunda maksimum dönme değerleri (rad).



Şekil 4.364: Kontrol modelinde kiriş kesitlerinin J ucunda maksimum dönme değerleri (rad).

Tablo 4.126: Kontrol modelinde kirişlerin hasar bölgeleri.

Kat	Kiriş sayısı					
	Sınırlı hasar	Belirgin hasar	İleri hasar	Göçme	Gevrek kırılma	Toplam
3	0	31	0	0	0	31
2	0	31	0	0	0	31
1	0	31	0	0	0	31

Tablo 4.127: Kontrol modelinde kolonların hasar bölgeleri.

Kat	Kolon sayısı					
	Sınırlı hasar	Belirgin hasar	İleri hasar	Göçme	Gevrek kırılma	Toplam
3	20	0	0	0	0	20
2	20	0	0	0	0	20
1	0	20	0	0	0	20

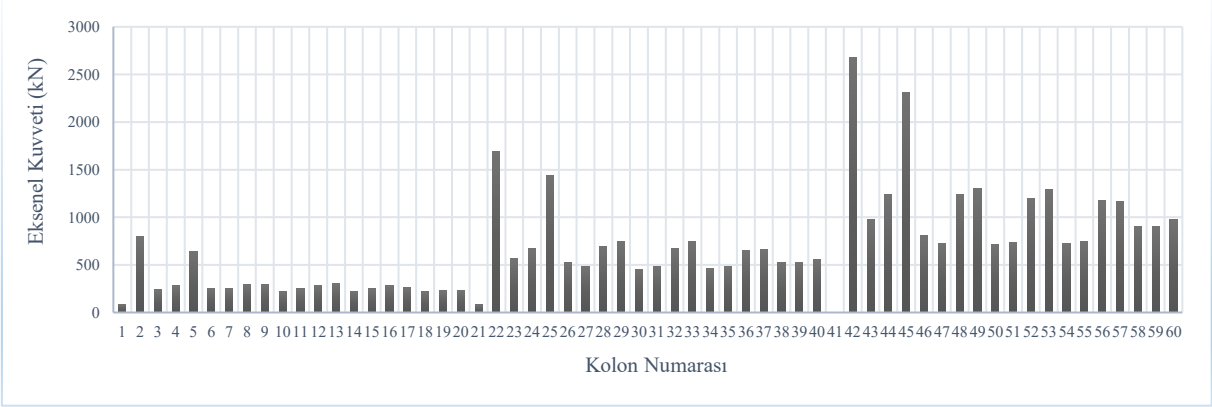
4.3.2. Senaryo C-1 Analiz Sonuçları

İlk katta yer alan tek bir köşe kolon kaybı senaryosu için kolon kaybı **Tablo 4.128**'de gelen iç kuvvetler ve kütle ile simüle edilmiştir. Söz konusu kolonun ortadan kalkma süresi 0.05 saniye olarak ayarlanmıştır.

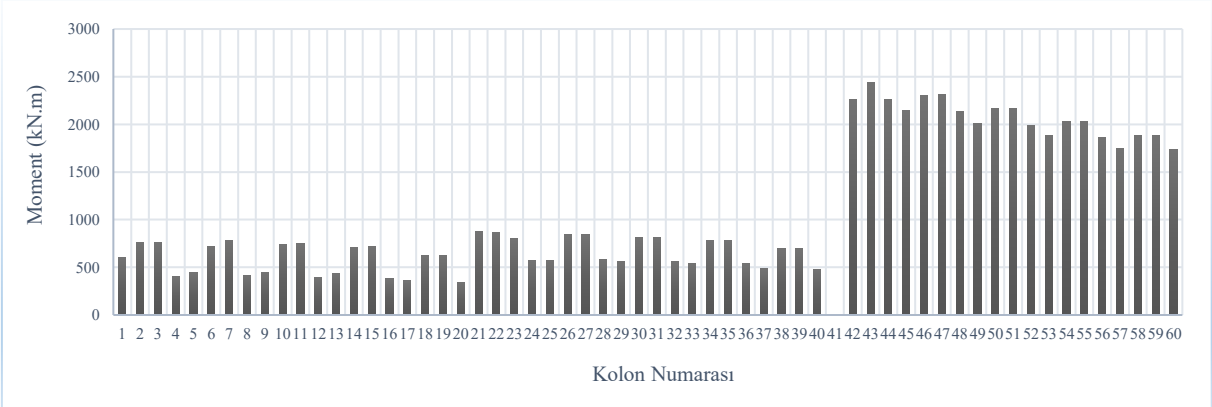
Tablo 4.128: Senaryo C-1'de kolonun sayısal simülasyonu.

P (kN)	M_x (kN.m)	M_y (kN.m)	V_x (kN)	V_y (kN)	Kütle (ton)
971	1843	1867	524	569	6.61

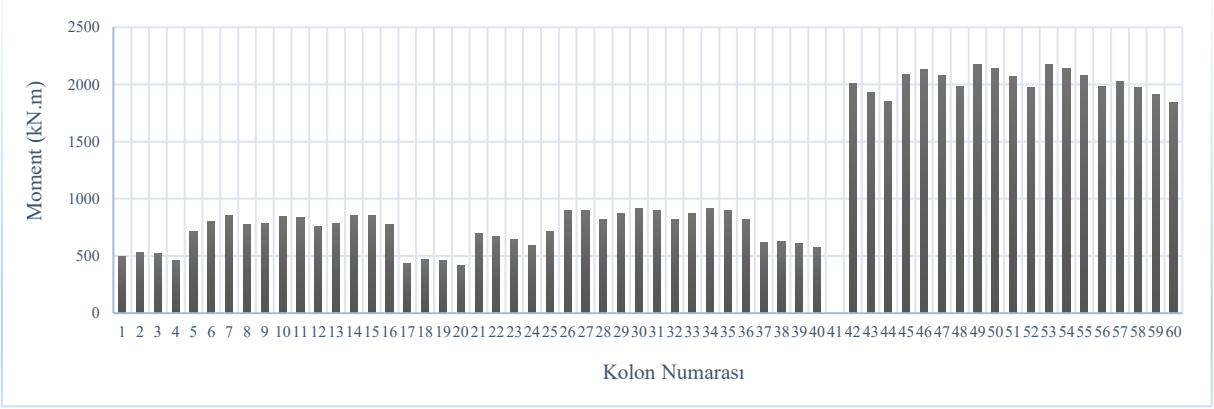
Senaryo C-1'e ait analiz sonuçları **Şekil 4.265** ila **Şekil 4.377**'de sunulmuştur. Söz konusu şekillerde senaryo C-1 kapsamında kaldırılmış olan kolon 41 numarayla gösterilmiştir. Elemanların hasar düzeyleri ise **Tablo 4.129** ve **Tablo 4.130**'da açıklanmıştır.



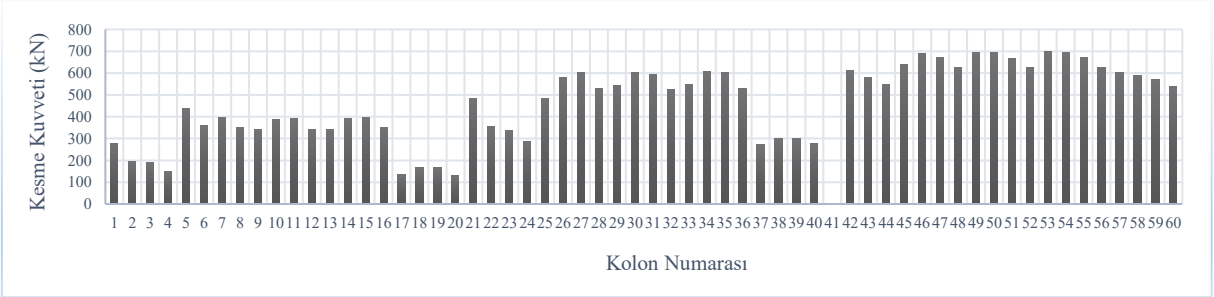
Şekil 4.365: Senaryo C-1'de kolonların maksimum eksenel kuvvetleri (kN).



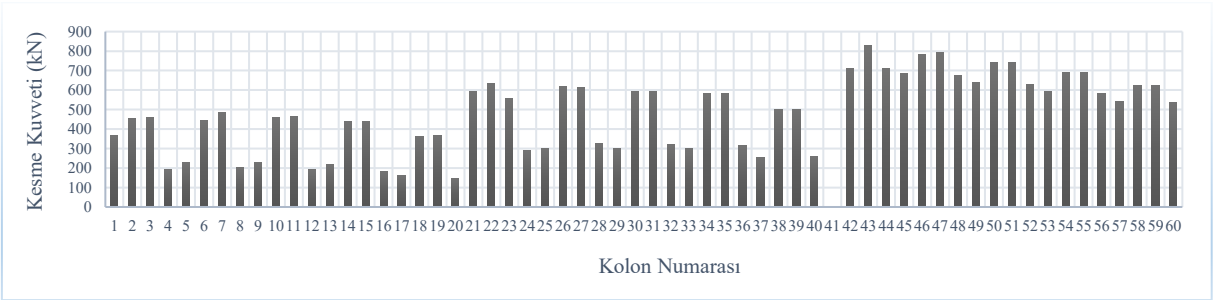
Şekil 4.366: Senaryo C-1'de kolonların X yönünde maksimum momentleri (kN.m).



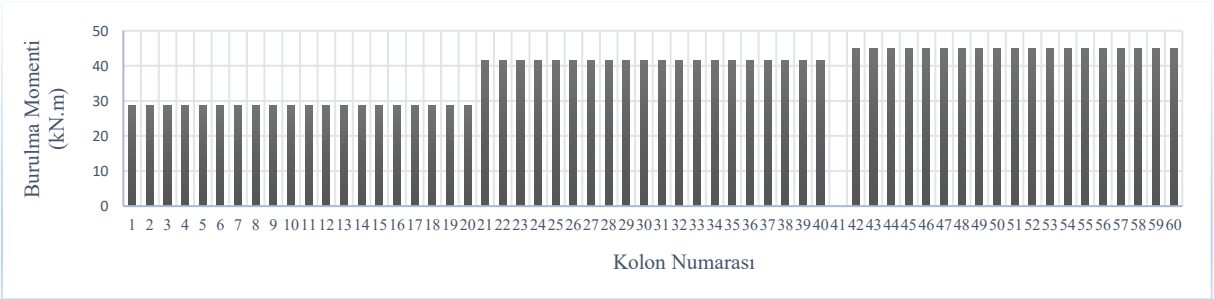
Şekil 4.367: Senaryo C-1'de kolonların Y yönünde maksimum momentleri (kN.m).



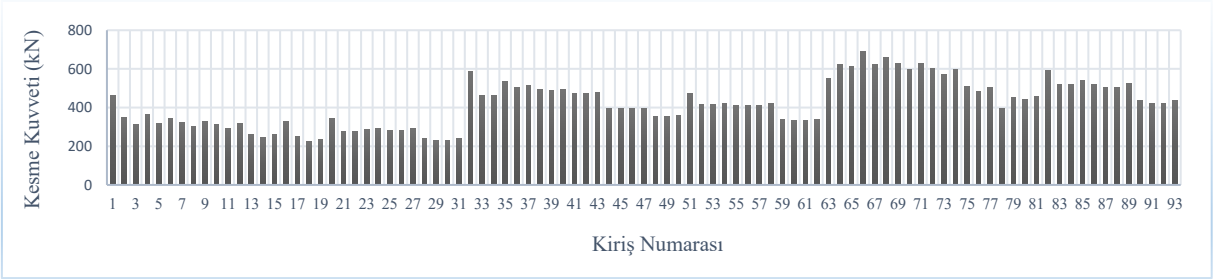
Şekil 4.368: Senaryo C-1'de kolonların X yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).



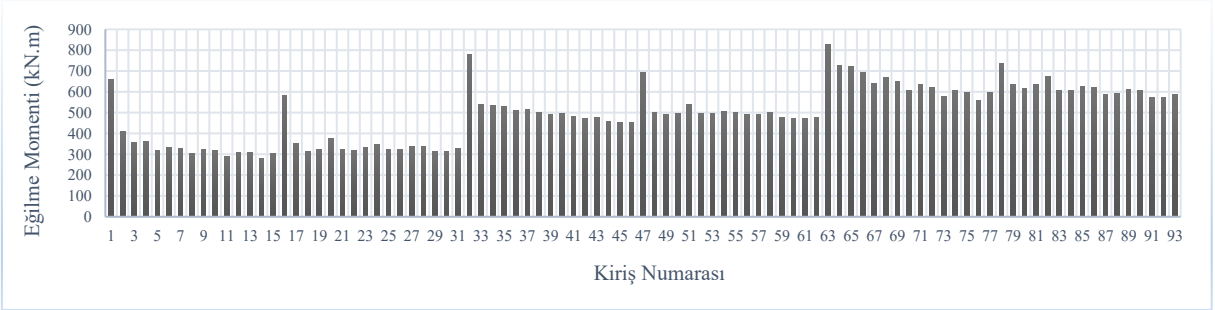
Şekil 4.369: Senaryo C-1'de kolonların Y yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).



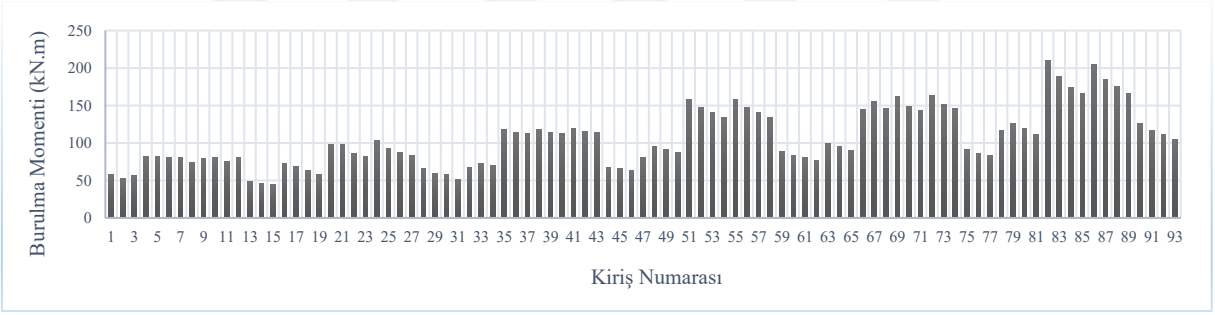
Şekil 4.370: Senaryo C-1'de kolonların maksimum burulma momentleri (kN.m).



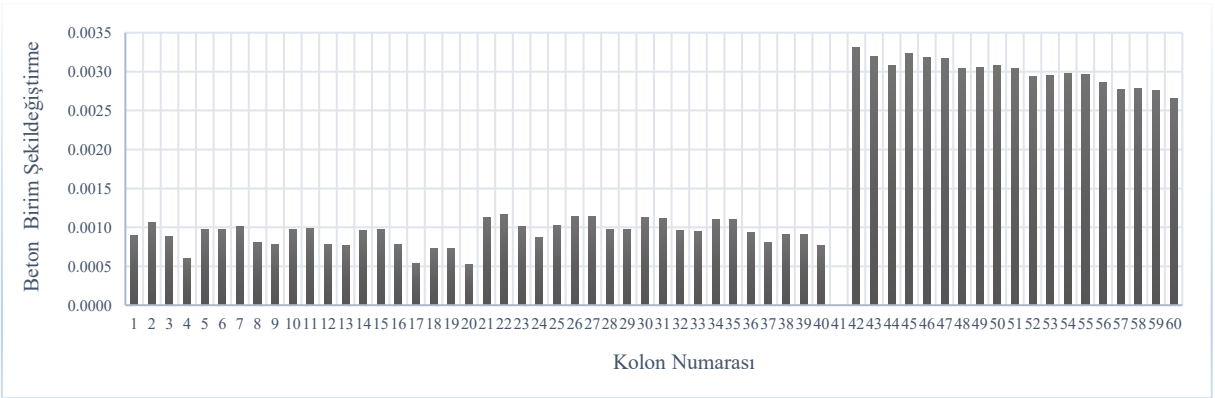
Şekil 4.371: Senaryo C-1'de kirişlerin maksimum kesme kuvvetleri (kN).



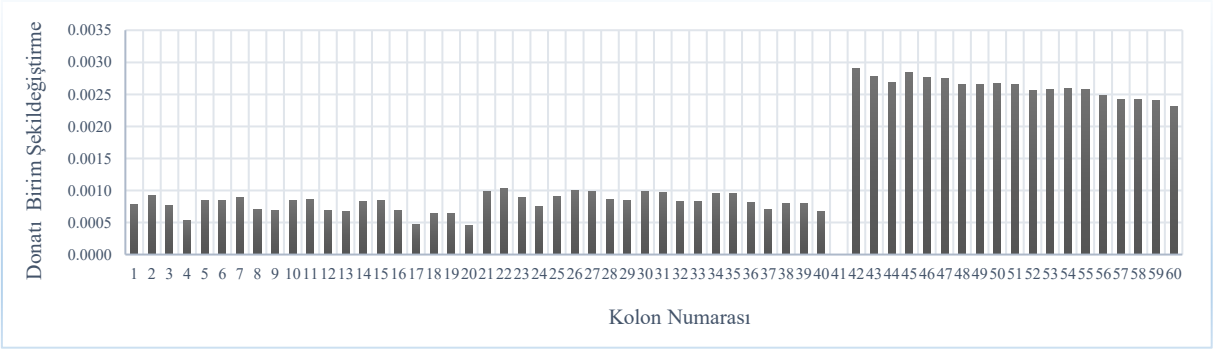
Şekil 4.372: Senaryo C-1'de kirişlerin maksimum eğilme momentleri (kN.m).



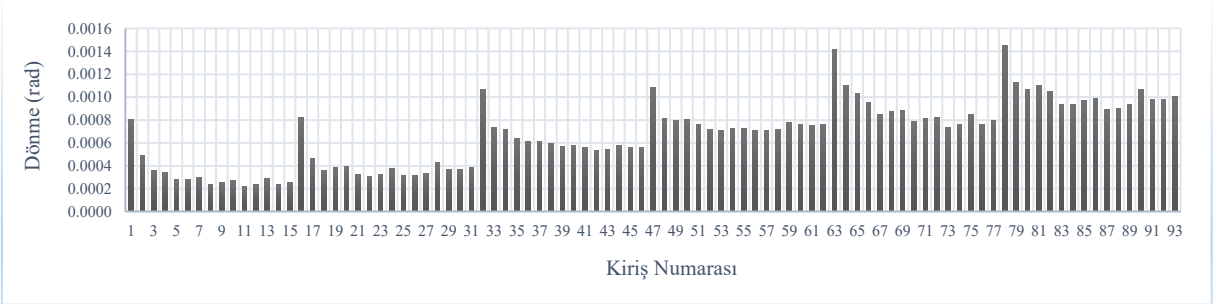
Şekil 4.373: Senaryo C-1'de kirişlerin maksimum burulma momentleri (kN.m).



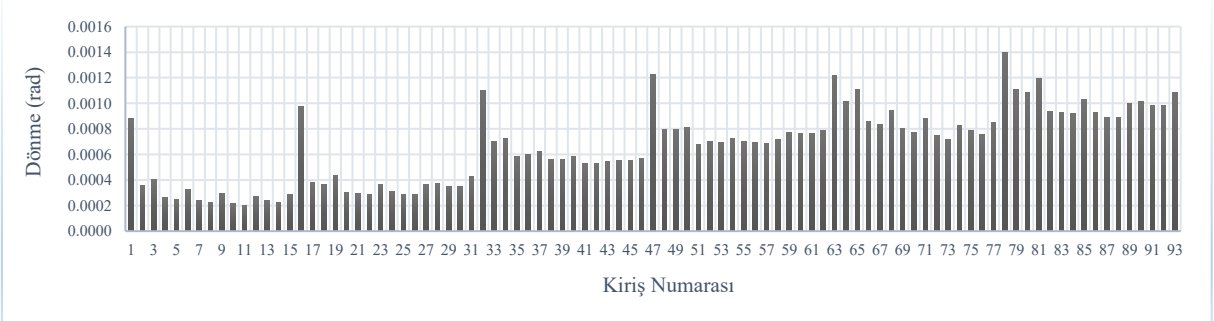
Şekil 4.374: Senaryo C-1'de kolon kesitlerinin betonunda maksimum birim şekildeğiştirme değerleri.



Şekil 4.375: Senaryo C-1'de kolon kesitlerinin donatısında maksimum birim şekildeğiştirme değerleri.



Şekil 4.376: Senaryo C-1'de kiriş kesitlerinin I ucunda maksimum dönme değerleri (rad).



Şekil 4.377: Senaryo C-1'de kiriş kesitlerinin J ucunda maksimum dönme değerleri (rad).

Tablo 4.129: Senaryo C-1'de kirişlerin hasar bölgeleri.

Kat	Kiriş sayısı					
	Sınırlı hasar	Belirgin hasar	İleri hasar	Göçme	Gevrek kırılma	Toplam
3	0	31	0	0	0	31
2	0	31	0	0	0	31
1	0	31	0	0	0	31

Tablo 4.130: Senaryo C-1'de kolonların hasar bölgeleri.

Kat	Kolon sayısı					
	Sınırlı hasar	Belirgin hasar	İleri hasar	Göçme	Gevrek kırılma	Toplam
3	20	0	0	0	0	20
2	20	0	0	0	0	20
1	0	19	0	1	0	20

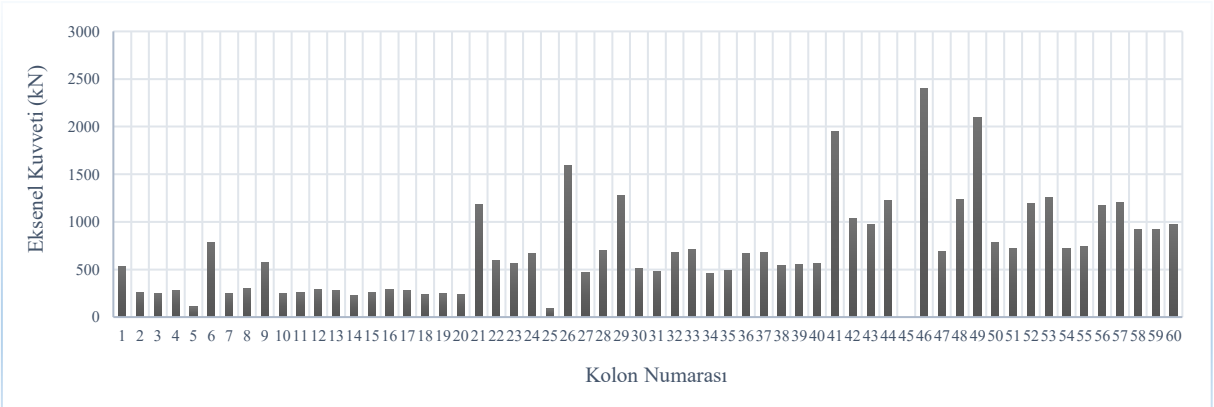
4.3.3. Senaryo C-2 Analiz Sonuçları

İlk katta yer alan tek bir kenar orta kolon kaybı senaryosu için kolon kaybı **Tablo 4.131**'te gelen iç kuvvetler ve kütle ile simüle edilmiştir. Söz konusu kolonun ortadan kalkma süresi 0.05 saniye olarak ayarlanmıştır.

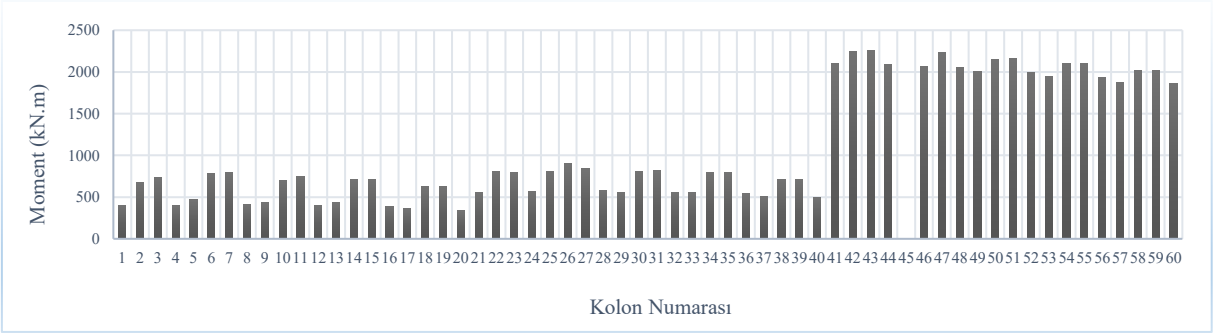
Tablo 4.131: Senaryo C-2'de kolonun sayısal simülasyonu.

P (kN)	M_x (kN.m)	M_y (kN.m)	V_x (kN)	V_y (kN)	Kütle (ton)
1233	1872	2009	601	588	9.55

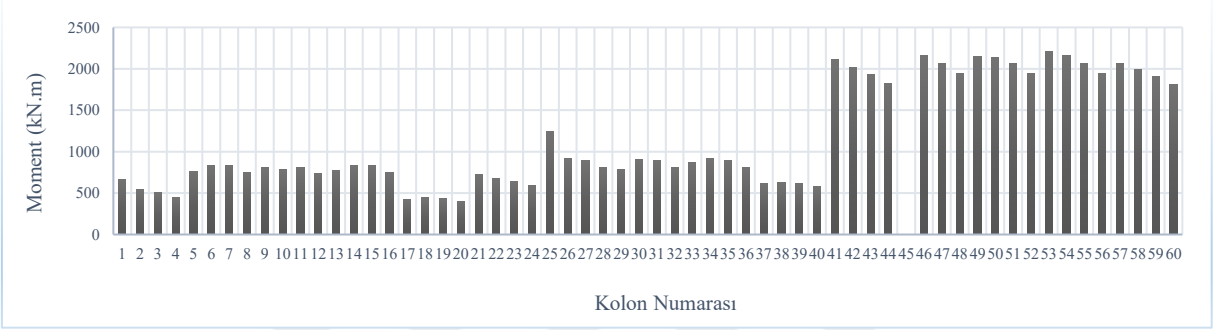
Senaryo C-2'e ait analiz sonuçları **Şekil 4.-378** ila **Şekil 4.390**'da sunulmuştur. Söz konusu şekillerde senaryo C-2 kapsamında kaldırılmış olan kolon 45 numarayla gösterilmiştir. Elemanların hasar düzeyleri ise **Tablo 4.132** ve **Tablo 4.133**'te açıklanmıştır.



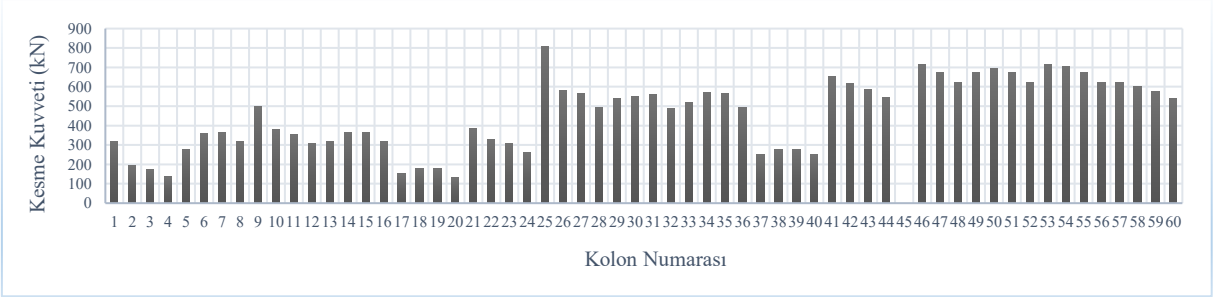
Şekil 4.378: Senaryo C-2'de kolonların maksimum eksenel kuvvetleri (kN).



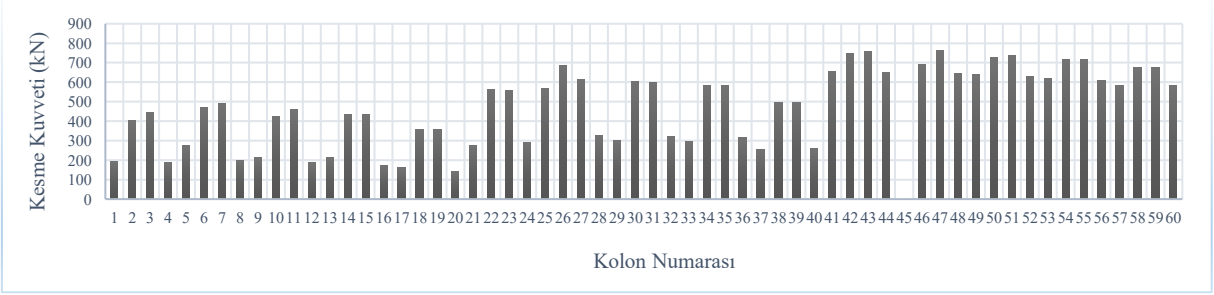
Şekil 4.379: Senaryo C-2'de kolonların X yönünde maksimum momentleri (kN.m).



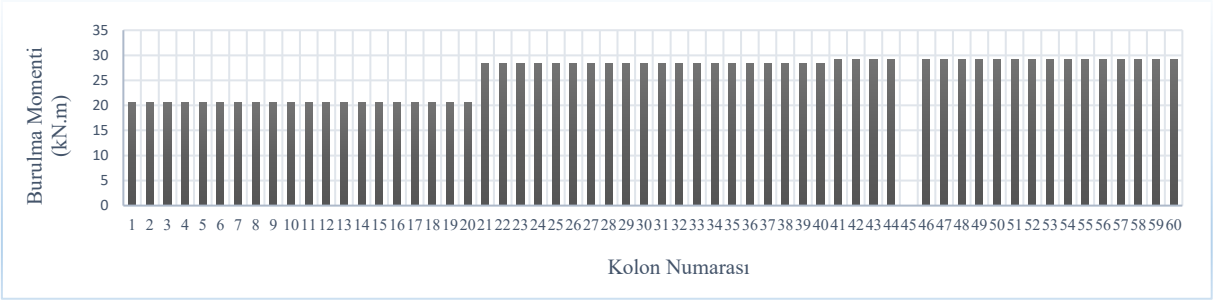
Şekil 4.380: Senaryo C-2'de kolonların Y yönünde maksimum momentleri (kN.m).



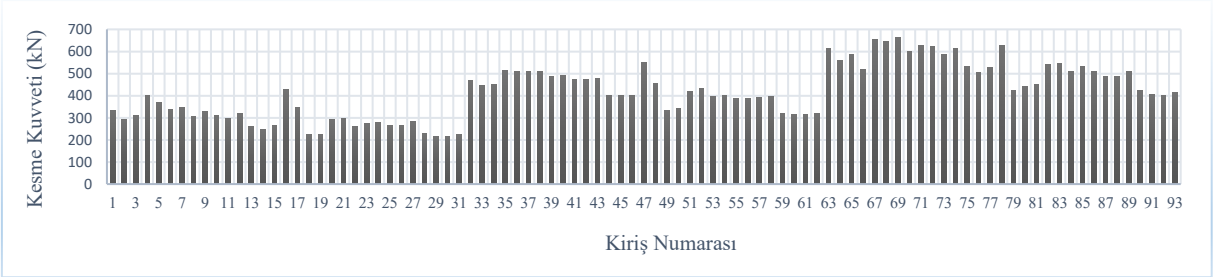
Şekil 4.381: Senaryo C-2'de kolonların X yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).



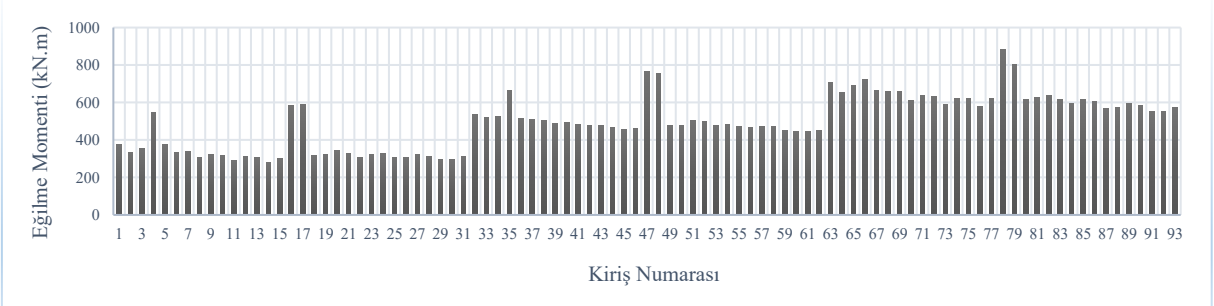
Şekil 4.382: Senaryo C-2'de kolonların Y yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).



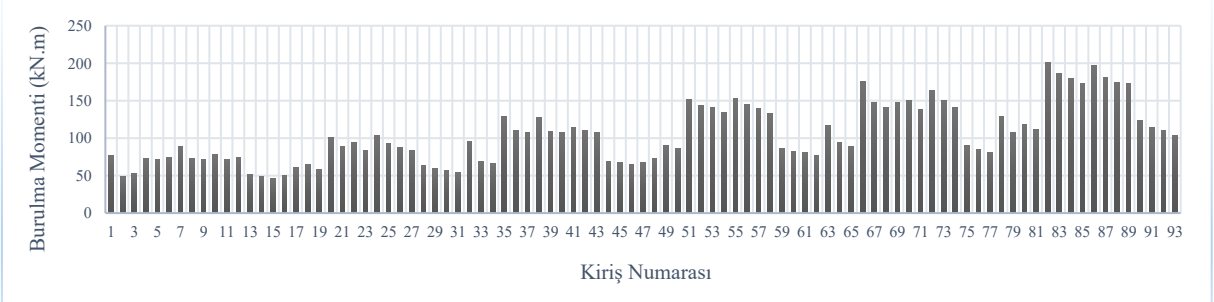
Şekil 4.383: Senaryo C-2'de kolonların maksimum burulma momentleri (kN.m).



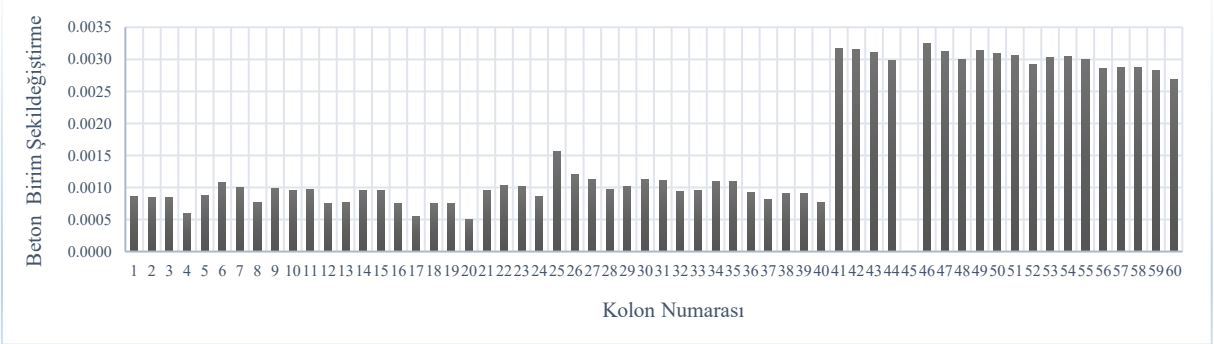
Şekil 4.384: Senaryo C-2'de kirişlerin maksimum kesme kuvvetleri (kN).



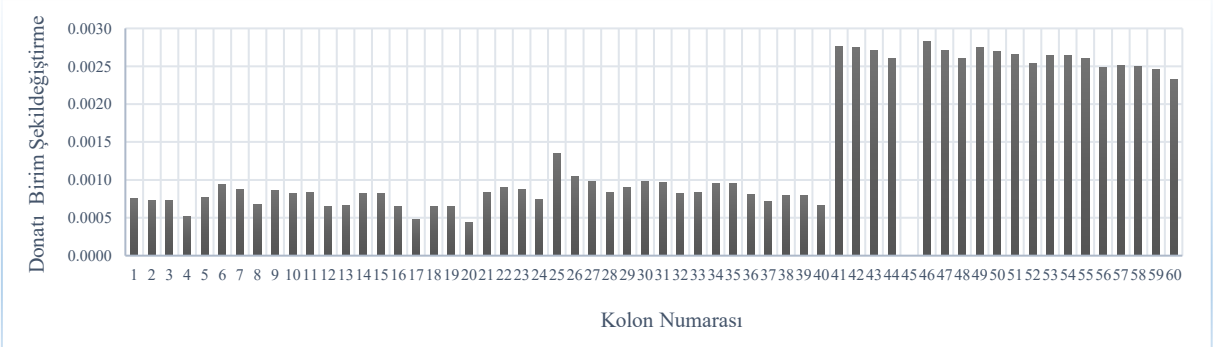
Şekil 4.385: Senaryo C-2'de kirişlerin maksimum eğilme momentleri (kN.m).



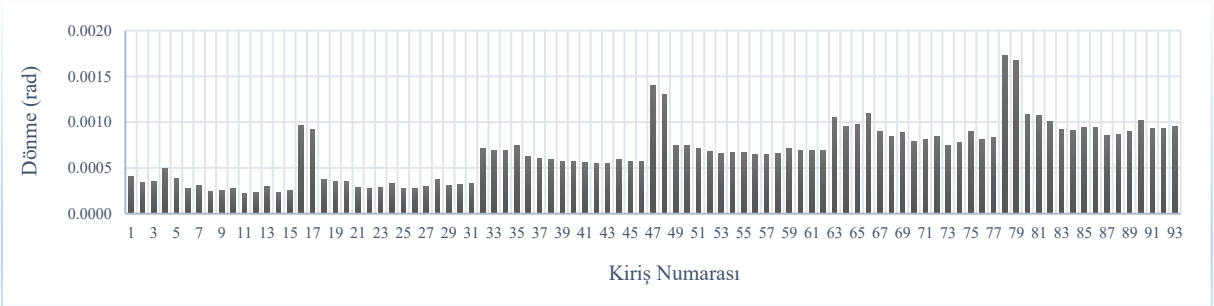
Şekil 4.386: Senaryo C-2'de kirişlerin maksimum burulma momentleri (kN.m).



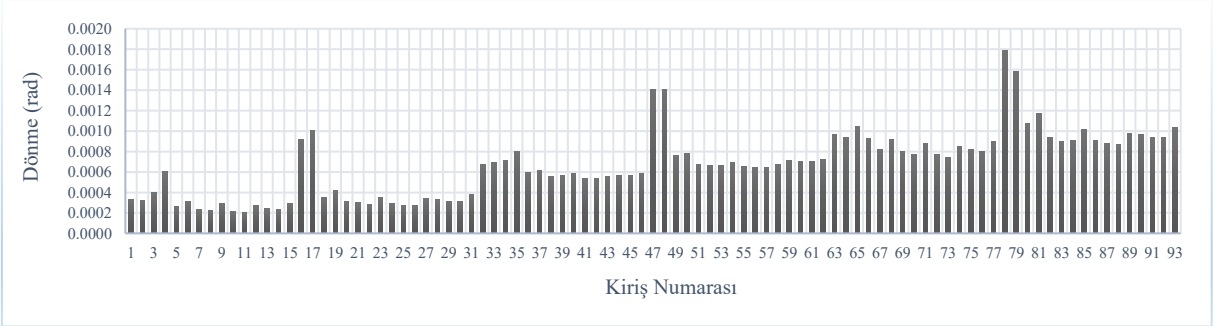
Şekil 4.387: Senaryo C-2'de kolon kesitlerinin betonunda maksimum birim şekildeğiştirme değerleri.



Şekil 4.388: Senaryo C-2'de kolon kesitlerinin donatısında maksimum birim şekildeğiştirme değerleri.



Şekil 4.389: Senaryo C-2'de kiriş kesitlerinin I ucunda maksimum dönme değerleri (rad).



Şekil 4.390: Senaryo C-2'de kiriş kesitlerinin J ucunda maksimum dönme değerleri (rad).

Tablo 4.132: Senaryo C-2'de kirişlerin hasar bölgeleri.

Kat	Kiriş sayısı					
	Sınırlı hasar	Belirgin hasar	İleri hasar	Göçme	Gevrek kırılma	Toplam
3	0	31	0	0	0	31
2	0	31	0	0	0	31
1	0	31	0	0	0	31

Tablo 4.133: Senaryo C-2'de kolonların hasar bölgeleri.

Kat	Kolon sayısı					
	Sınırlı hasar	Belirgin hasar	İleri hasar	Göçme	Gevrek kırılma	Toplam
3	20	0	0	0	0	20
2	20	0	0	0	0	20
1	0	19	0	1	0	20

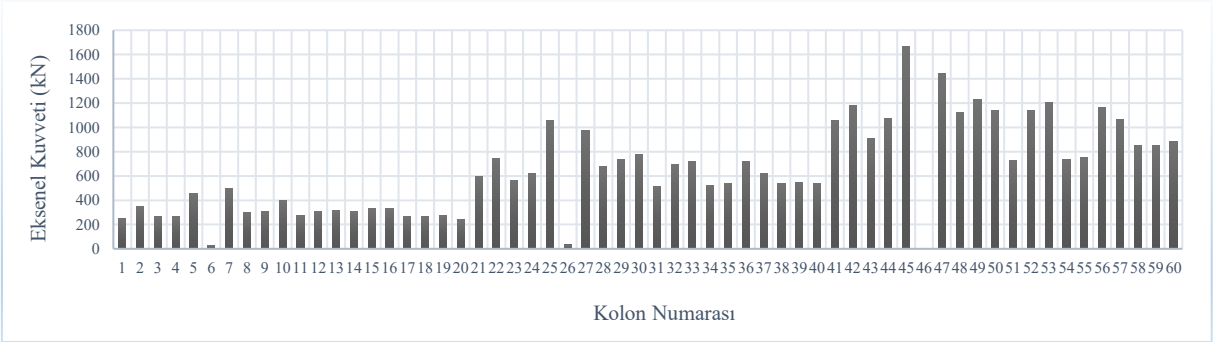
4.3.4. Senaryo C-3 Analiz Sonuçları

İlk katta yer alan tek bir iç kolon kaybı senaryosu için kolon kaybı **Tablo 4.134**'te gelen iç kuvvetler ve kütle ile simüle edilmiştir. Söz konusu kolonun ortadan kalkma süresi 0.05 saniye olarak ayarlanmıştır.

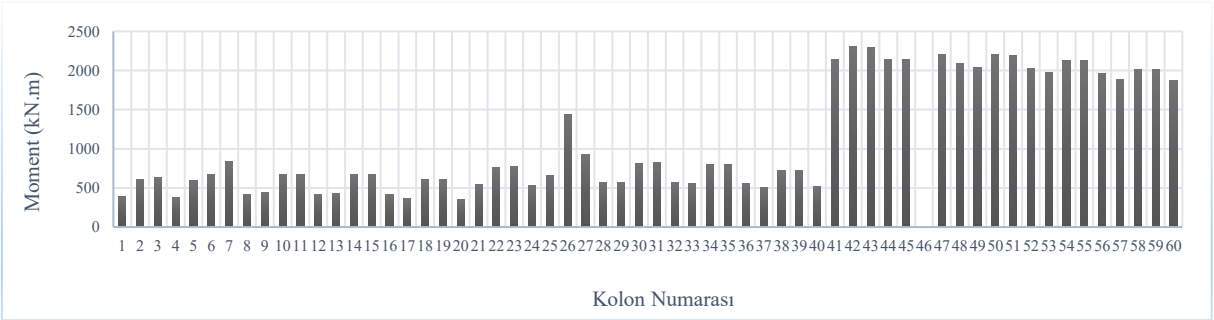
Tablo 4.134: Senaryo C-3'te kolonun sayısal simülasyonu.

P (kN)	M_x (kN.m)	M_y (kN.m)	V_x (kN)	V_y (kN)	Kütle (ton)
735	2023	2043	621	685	14.19

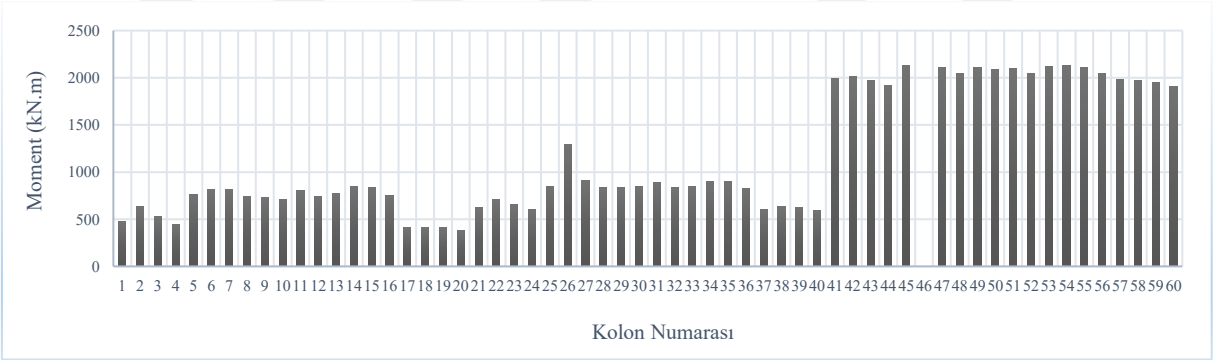
Senaryo E-3'e ait analiz sonuçları **Şekil 4.391** ila **Şekil 4.403**'te sunulmuştur. Söz konusu şekillerde senaryo E-3 kapsamında kaldırılmış olan kolon 46 numarayla gösterilmiştir. Elemanların hasar düzeyleri ise **Tablo 4.135** ve **Tablo 4.136**'da açıklanmıştır.



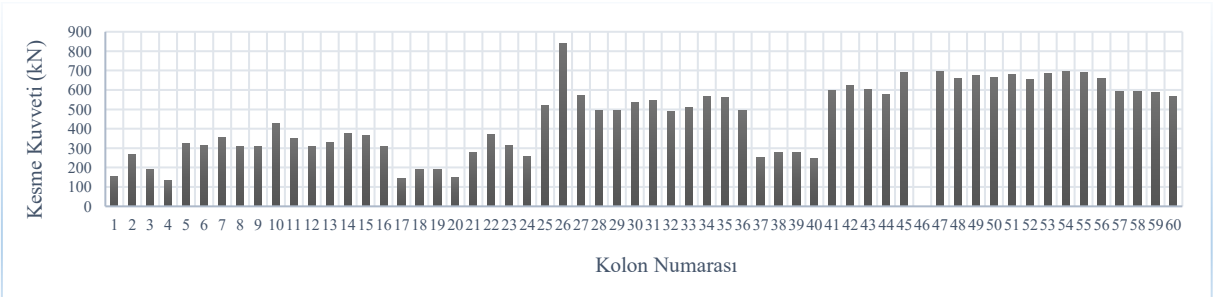
Şekil 4.391: Senaryo C-3'te kolonların maksimum eksenel kuvvetleri (kN).



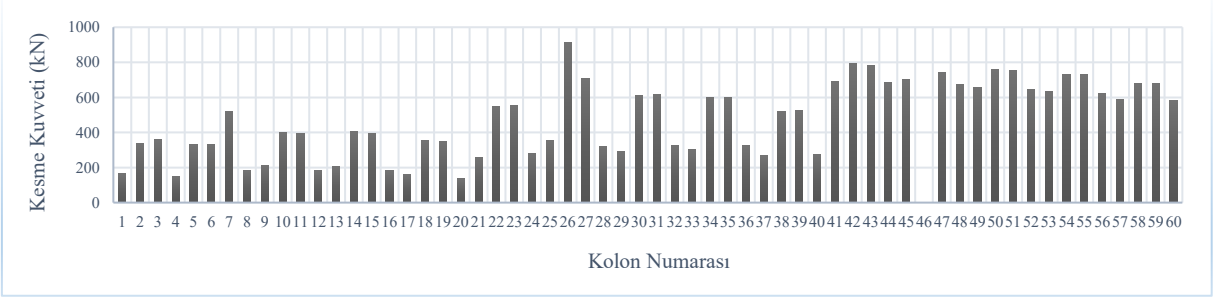
Şekil 4.392: Senaryo C-3'te kolonların X yönünde maksimum momentleri (kN.m).



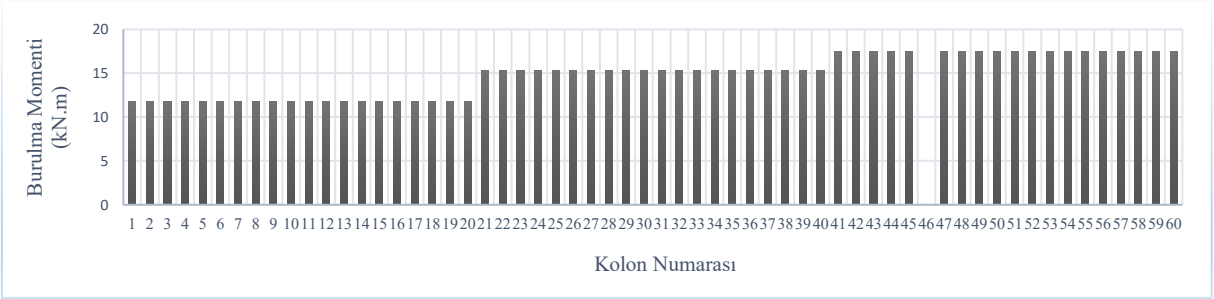
Şekil 4.393: Senaryo C-3'te kolonların Y yönünde maksimum momentleri (kN.m).



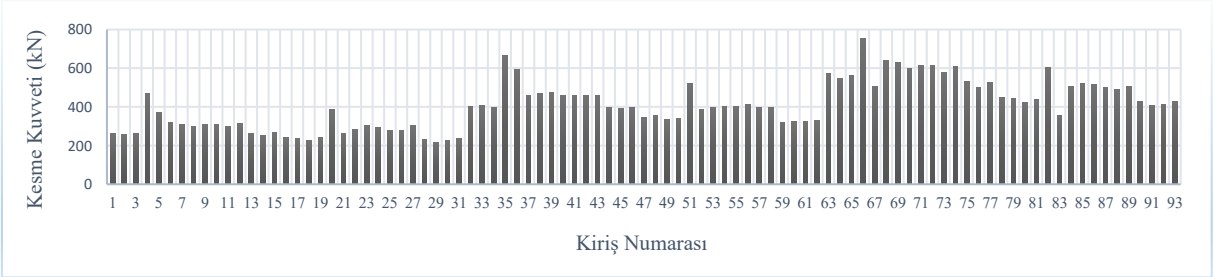
Şekil 4.394: Senaryo C-3'te kolonların X yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).



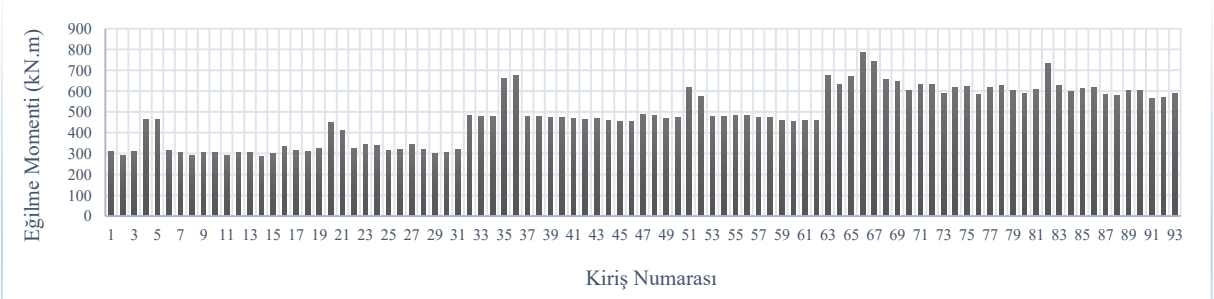
Şekil 4.395: Senaryo C-3'te kolonların Y yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).



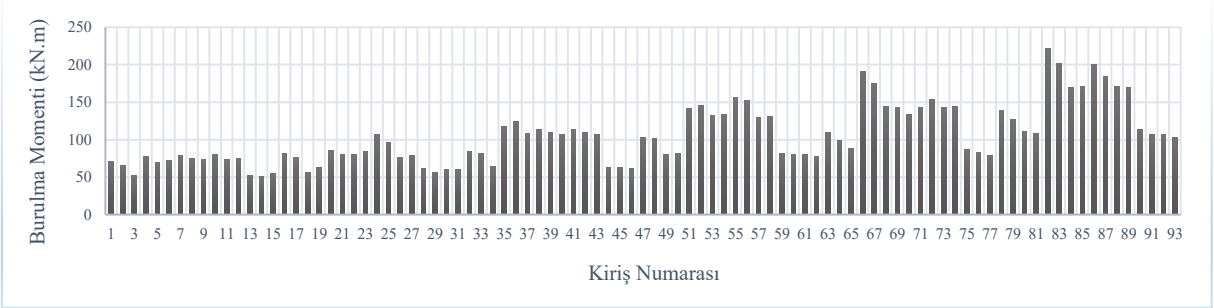
Şekil 4.396: Senaryo C-3'te kolonların maksimum burulma momentleri (kN.m).



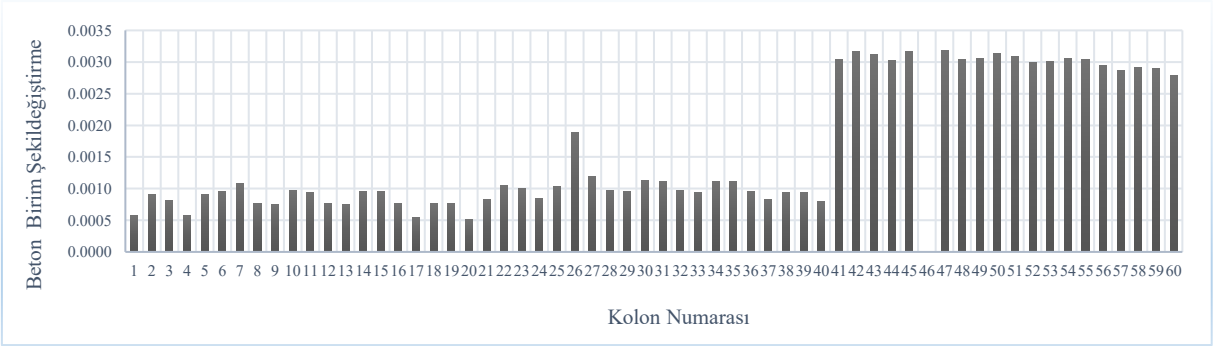
Şekil 4.397: Senaryo C-3'te kirişlerin maksimum kesme kuvvetleri (kN).



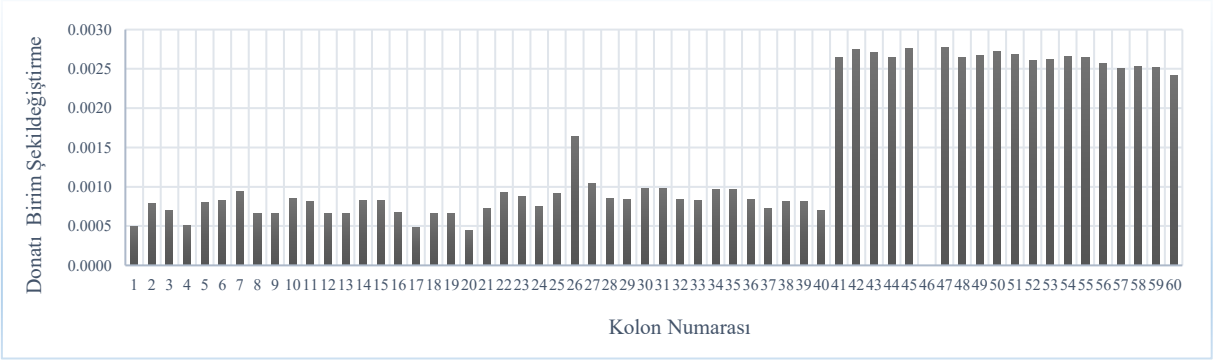
Şekil 4.398: Senaryo C-3'te kirişlerin maksimum eğilme momentleri (kN.m).



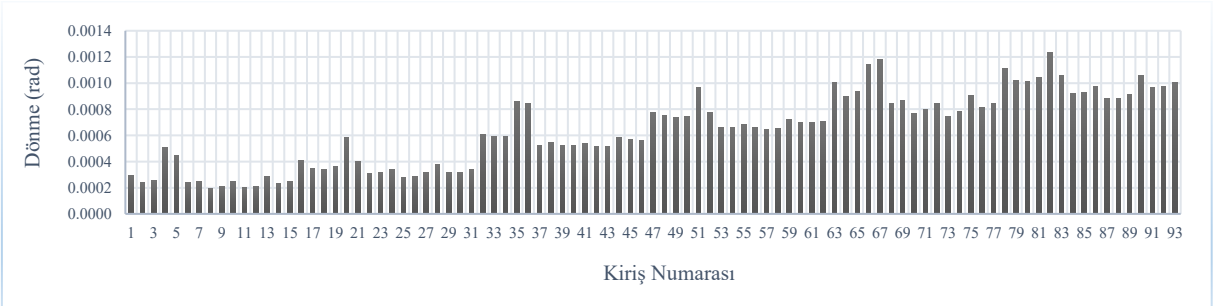
Şekil 4.399: Senaryo C-3'te kirişlerin maksimum burulma momentleri (kN.m).



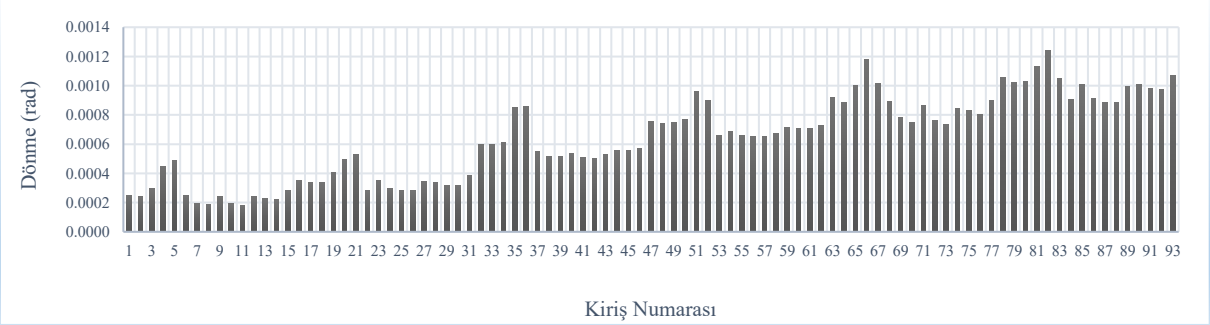
Şekil 4.400: Senaryo C-3'te kolon kesitlerinin betonunda maksimum birim şekildeğiştirme değerleri.



Şekil 4.401: Senaryo C-3'te kolon kesitlerinin donatısında maksimum birim şekildeğiştirme değerleri.



Şekil 4.402: Senaryo C-3'te kiriş kesitlerinin I ucunda maksimum dönme değerleri (rad).



Şekil 4.403: Senaryo C-3'te kiriş kesitlerinin J ucunda maksimum dönme değerleri (rad).

Tablo 4.135: Senaryo C-3'te kirişlerin hasar bölgeleri.

Kat	Kiriş sayısı					
	Sınırlı hasar	Belirgin hasar	İleri hasar	Göçme	Gevrek kırılma	Toplam
3	0	31	0	0	0	31
2	0	31	0	0	0	31
1	0	31	0	0	0	31

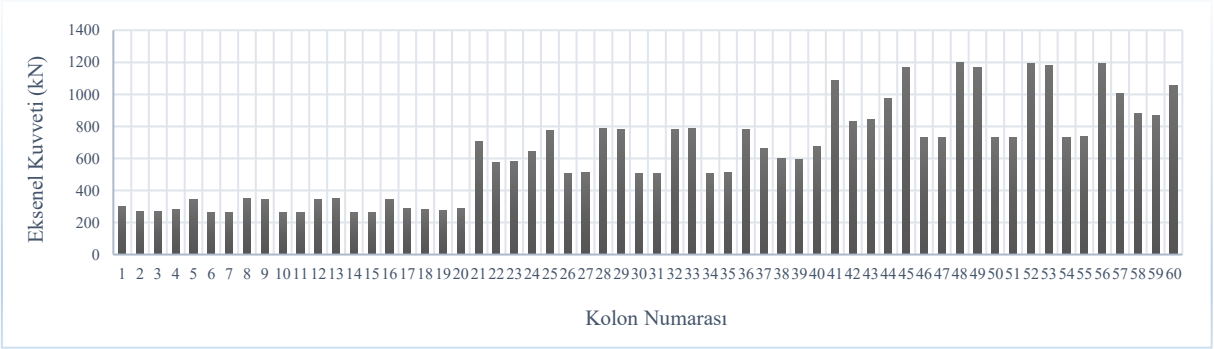
Tablo 4.136: Senaryo C-3'te kolonların hasar bölgeleri.

Kat	Kolon sayısı					
	Sınırlı hasar	Belirgin hasar	İleri hasar	Göçme	Gevrek kırılma	Toplam
3	20	0	0	0	0	20
2	20	0	0	0	0	20
1	0	19	0	1	0	20

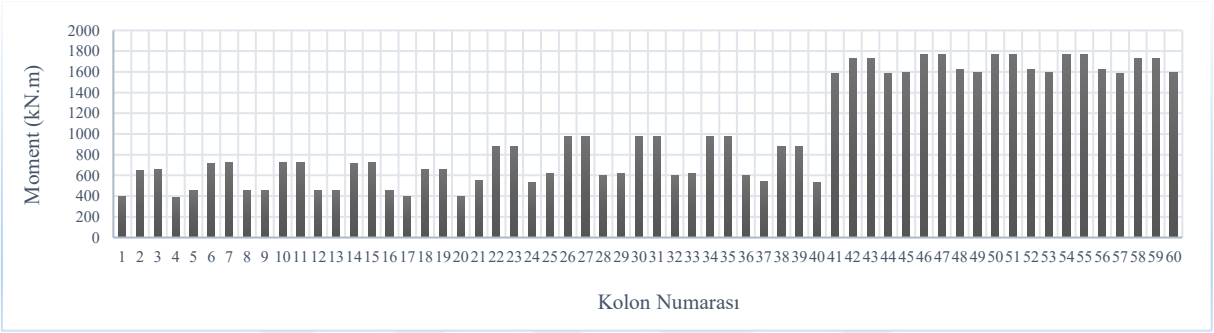
4.4. MODEL D ANALİZ SONUÇLARI

4.4.1. Kontrol Modelinin Analiz Sonuçları

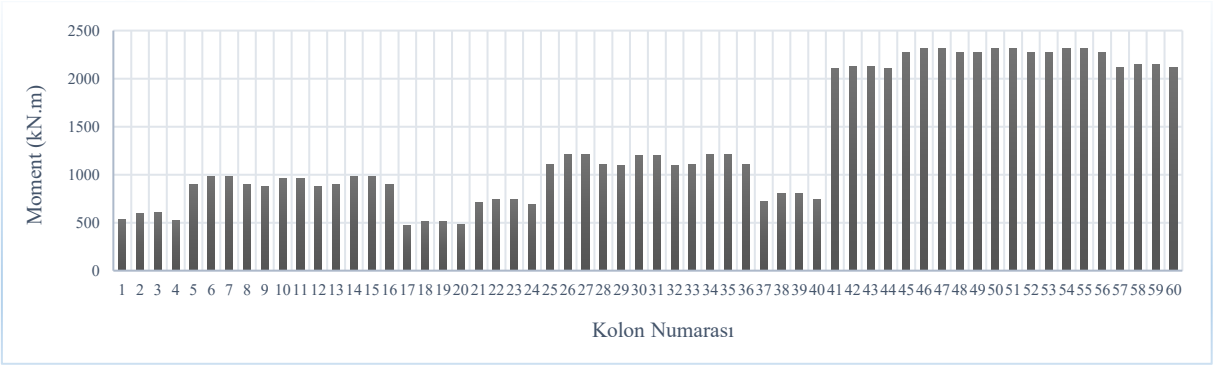
Doğrusal olmayan analizler sonuçlarına göre kontrol modeli DD-2 deprem yer hareketi düzeyinde "Kontrollü Hasar" performans hedefini sağlamıştır. Kontrol modeline ait analiz sonuçları **Şekil 4.404** ila **Şekil 4.416**'da sunulmuştur. Elemanların hasar düzeyleri ise **Tablo 4.137** ve **Tablo 4.138**'de açıklanmıştır.



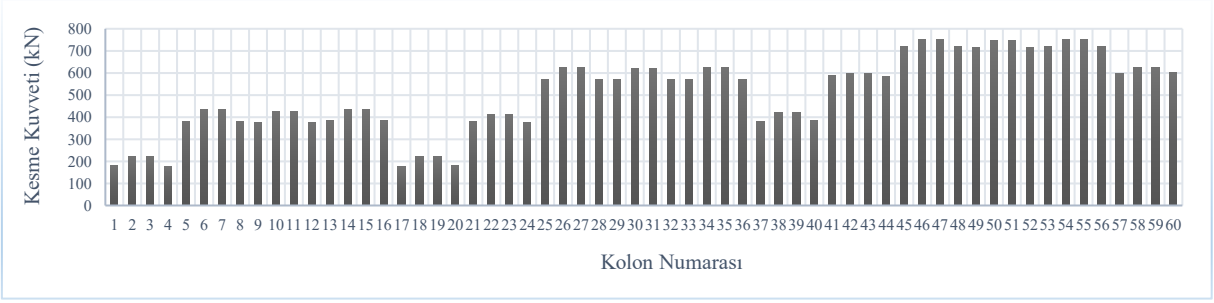
Şekil 4.404: Kontrol modelinde kolonların maksimum eksenel kuvvetleri (kN).



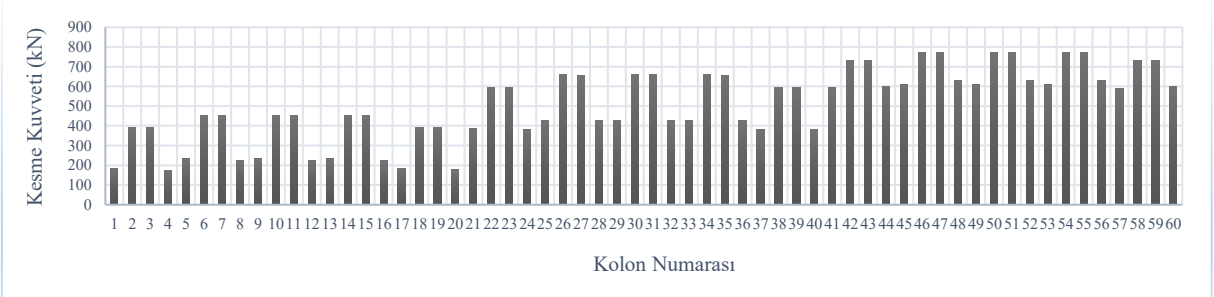
Şekil 4.405: Kontrol modelinde kolonların X yönünde maksimum momentleri (kN.m).



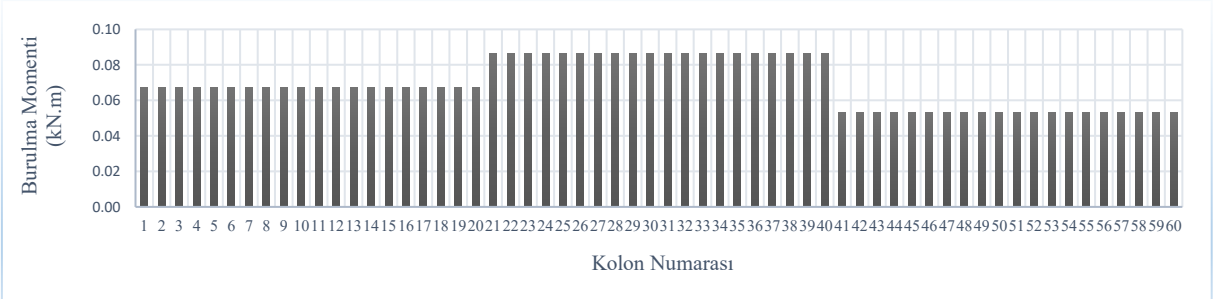
Şekil 4.406: Kontrol modelinde kolonların Y yönünde maksimum momentleri (kN.m).



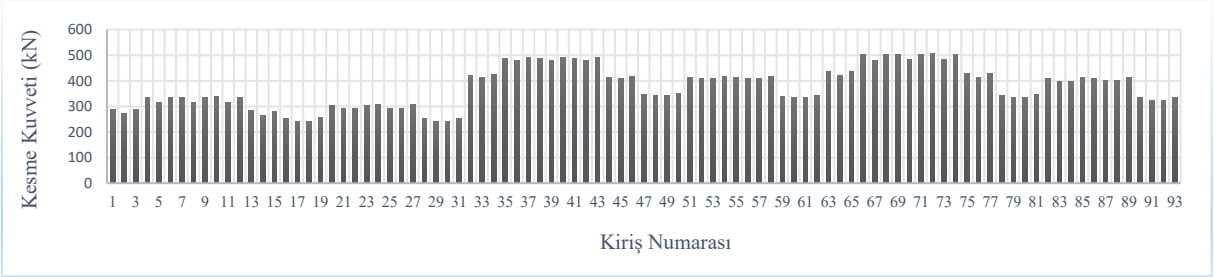
Şekil 4.407: Kontrol modelinde kolonların X yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).



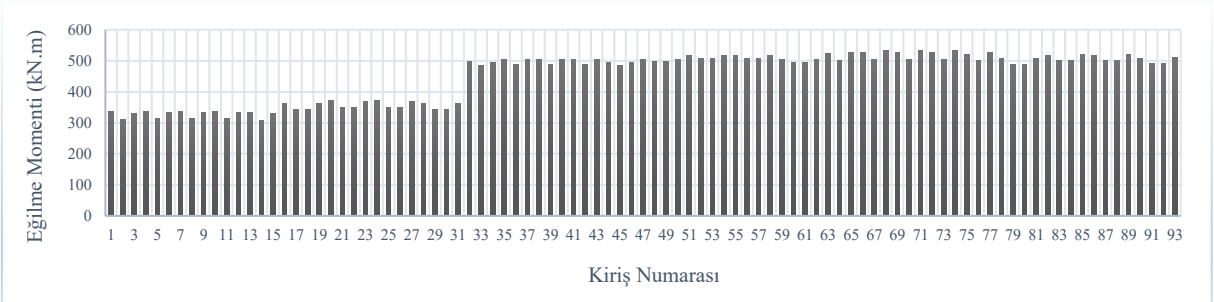
Şekil 4.408: Kontrol modelinde kolonların Y yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).



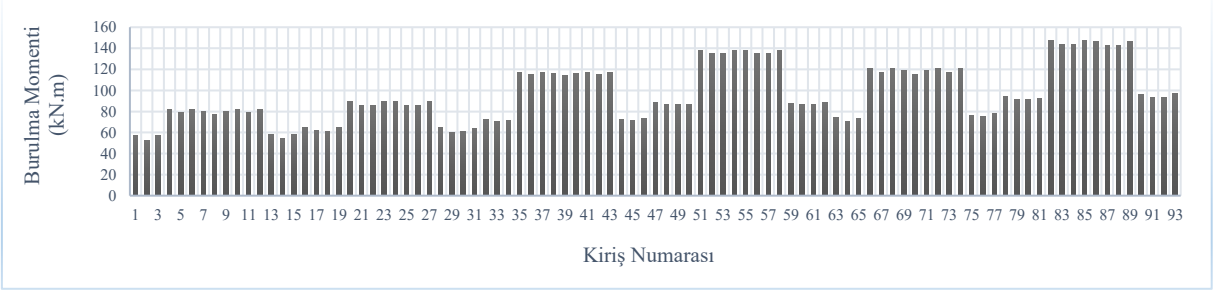
Şekil 4.409: Kontrol modelinde kolonların maksimum burulma momentleri (kN.m).



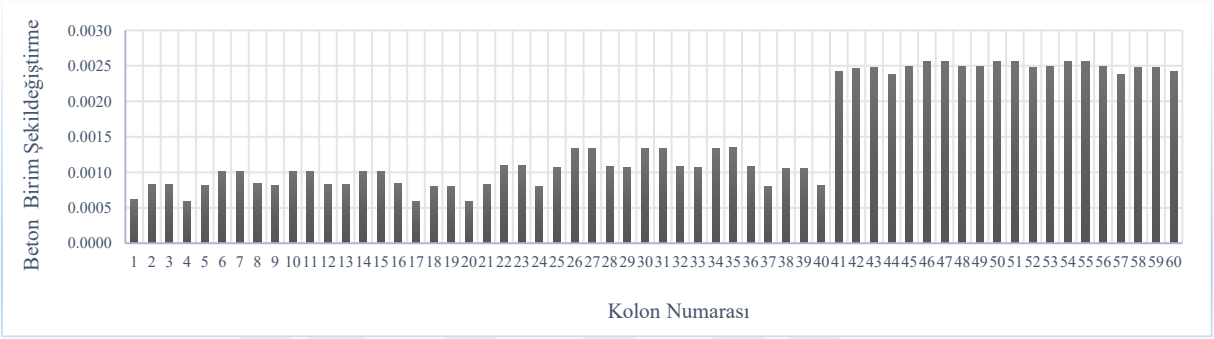
Şekil 4.410: Kontrol modelinde kirişlerin maksimum kesme kuvvetleri (kN).



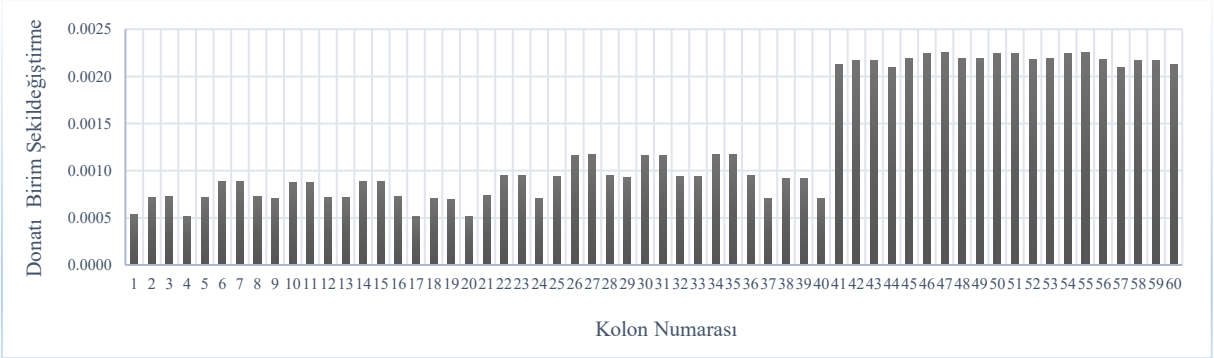
Şekil 4.411: Kontrol modelinde kirişlerin maksimum eğilme momentleri (kN.m).



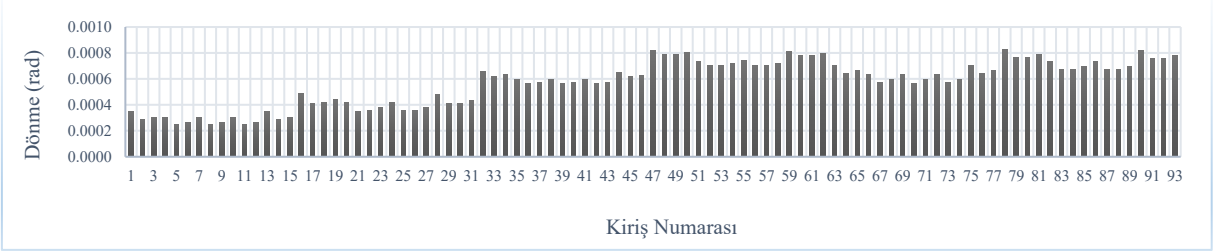
Şekil 4.412: Kontrol modelinde kirişlerin maksimum burulma momentleri (kN.m).



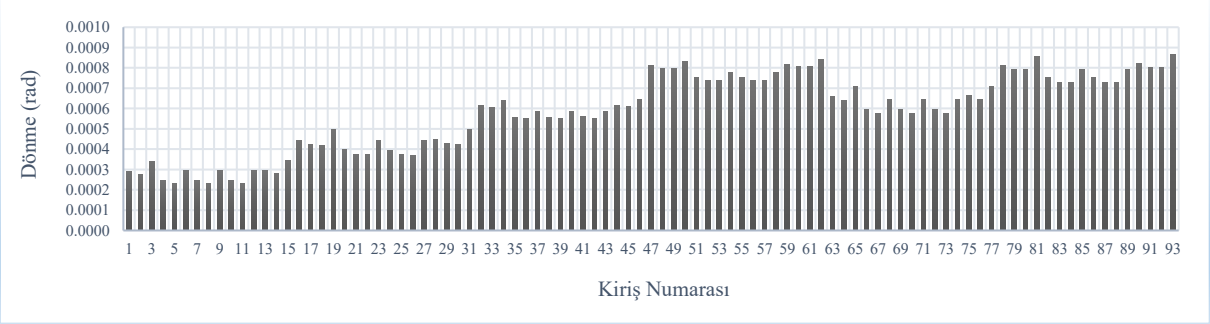
Şekil 4.413: Kontrol modelinde kolon kesitlerinin betonunda maksimum birim şekildeğiştirme değerleri.



Şekil 4.414: Kontrol modelinde kolon kesitlerinin donatısında maksimum birim şekildeğiştirme değerleri.



Şekil 4.415: Kontrol modelinde kiriş kesitlerinin I ucunda maksimum dönme değerleri (rad).



Şekil 4.416: Kontrol modelinde kiriş kesitlerinin J ucunda maksimum dönme değerleri (rad).

Tablo 4.137: Kontrol modelinde kirişlerin hasar bölgeleri.

Kat	Kiriş sayısı					
	Sınırlı hasar	Belirgin hasar	İleri hasar	Göçme	Gevrek kırılma	Toplam
3	0	31	0	0	0	31
2	0	31	0	0	0	31
1	0	31	0	0	0	31

Tablo 4.138: Kontrol modelinde kolonların hasar bölgeleri.

Kat	Kolon sayısı					
	Sınırlı hasar	Belirgin hasar	İleri hasar	Göçme	Gevrek kırılma	Toplam
3	20	0	0	0	0	20
2	20	0	0	0	0	20
1	14	6	0	0	0	20

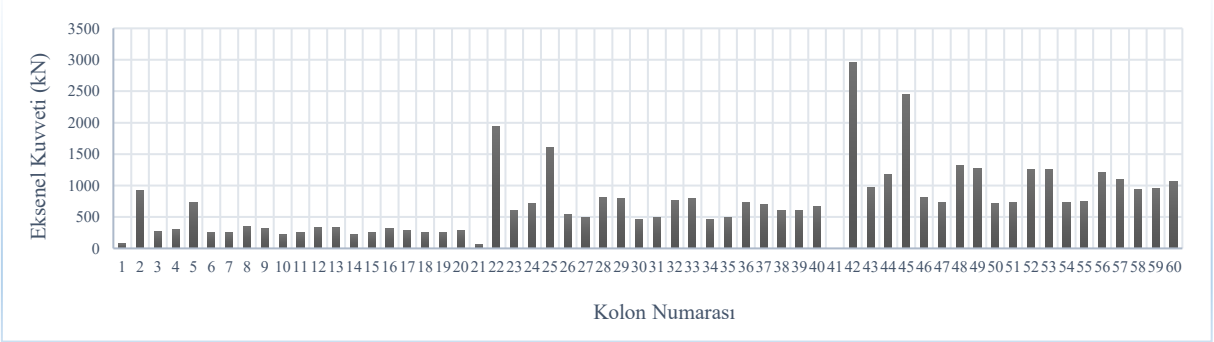
4.4.2. Senaryo D-1 Analiz Sonuçları

İlk katta yer alan tek bir köşe kolon kaybı senaryosu için kolon kaybı **Tablo 4.139**'da gelen iç kuvvetler ve kütle ile simüle edilmiştir. Söz konusu kolonun ortadan kalkma süresi 0.05 saniye olarak ayarlanmıştır.

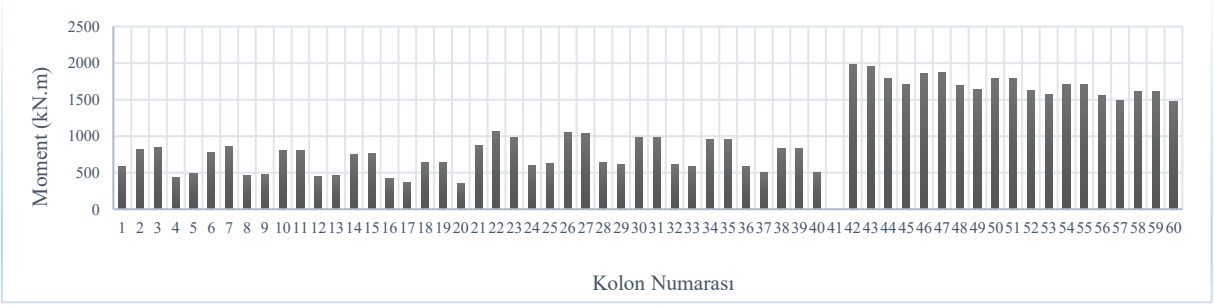
Tablo 4.139: Senaryo D-1'de kolonun sayısal simülasyonu.

P (kN)	M_x (kN.m)	M_y (kN.m)	V_x (kN)	V_y (kN)	Kütle (ton)
1083	1580	2108	588	592	5.65

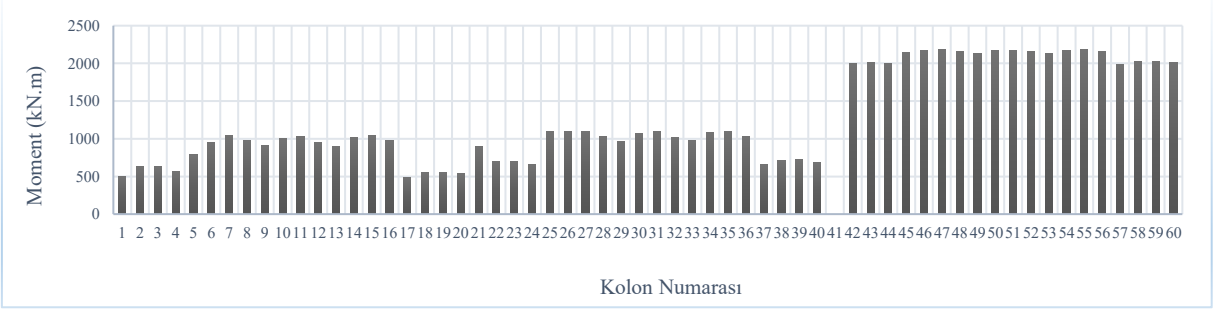
Senaryo D-1'e ait analiz sonuçları **Şekil 4.417** ila **Şekil 4.429**'da sunulmuştur. Söz konusu şekillerde senaryo D-1 kapsamında kaldırılmış olan kolon 41 numarayla gösterilmiştir. Elemanların hasar düzeyleri ise **Tablo 4.140** ve **Tablo 4.141**'de açıklanmıştır.



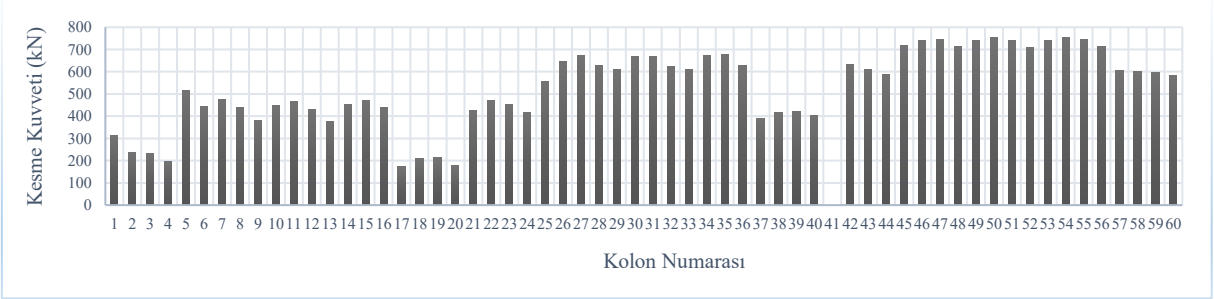
Şekil 4.417: Senaryo D-1'te kolonların maksimum eksenel kuvvetleri (kN).



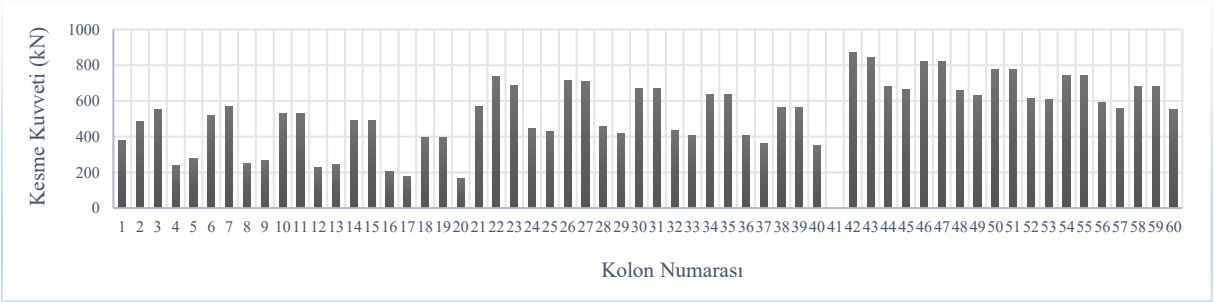
Şekil 4.418: Senaryo D-1'te kolonların X yönünde maksimum momentleri (kN.m).



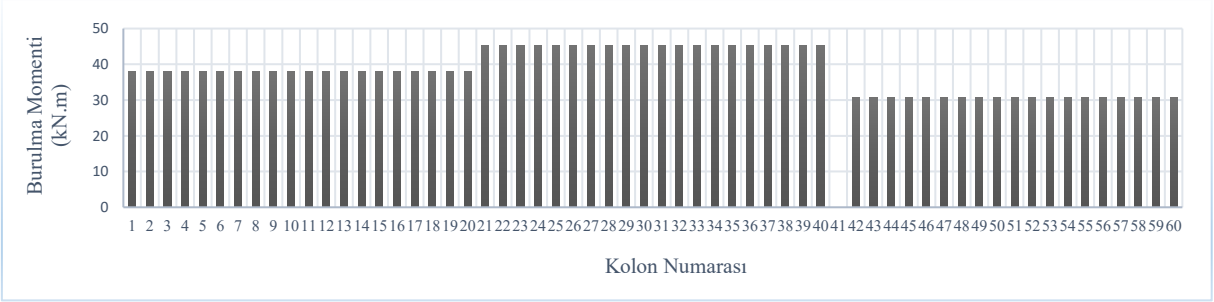
Şekil 4.419: Senaryo D-1'te kolonların Y yönünde maksimum momentleri (kN.m).



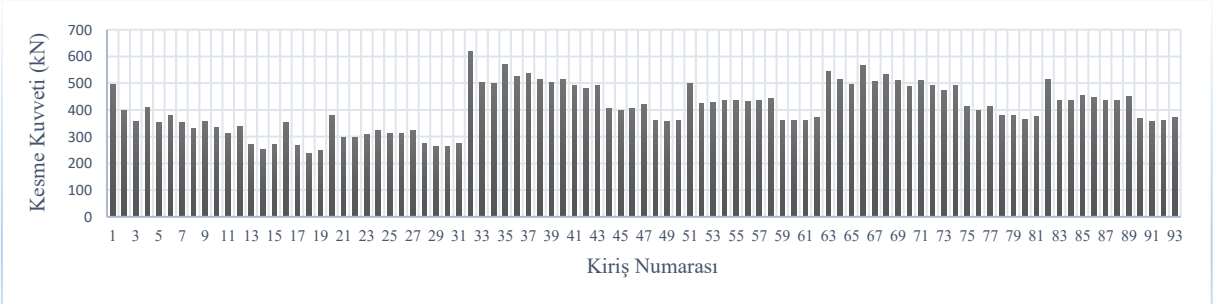
Şekil 4.420: Senaryo D-1'te kolonların X yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).



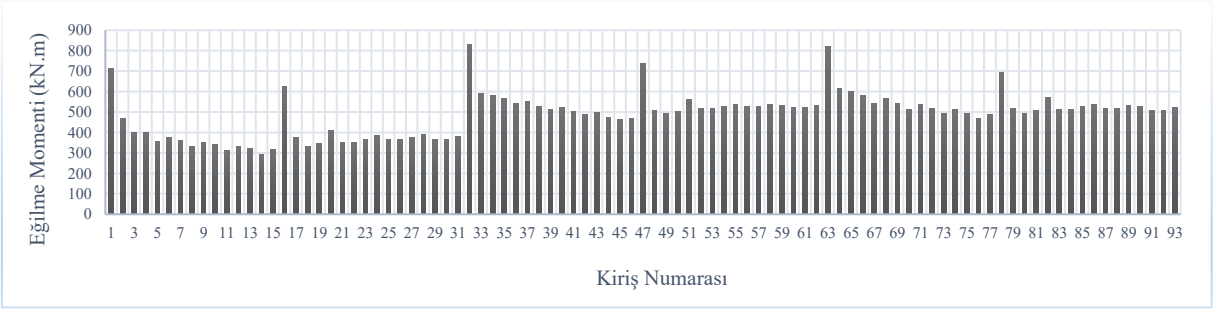
Şekil 4.421: Senaryo D-1'te kolonların Y yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).



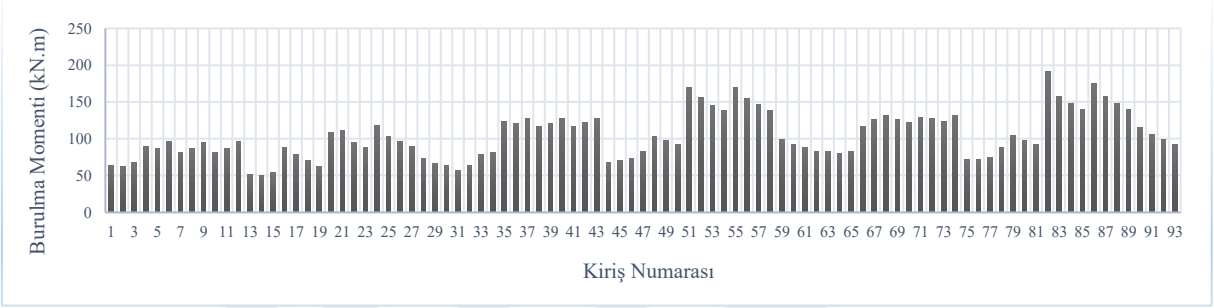
Şekil 4.422: Senaryo D-1'te kolonların maksimum burulma momentleri (kN.m).



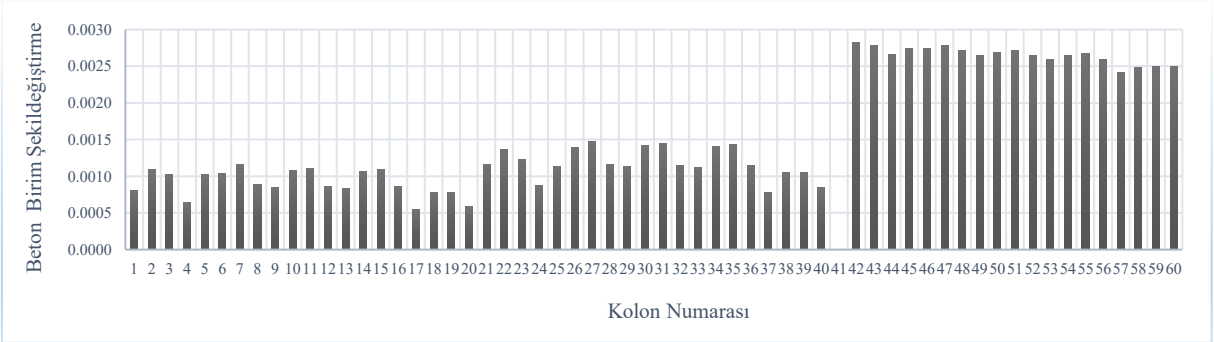
Şekil 4.423: Senaryo D-1'te kirişlerin maksimum kesme kuvvetleri (kN).



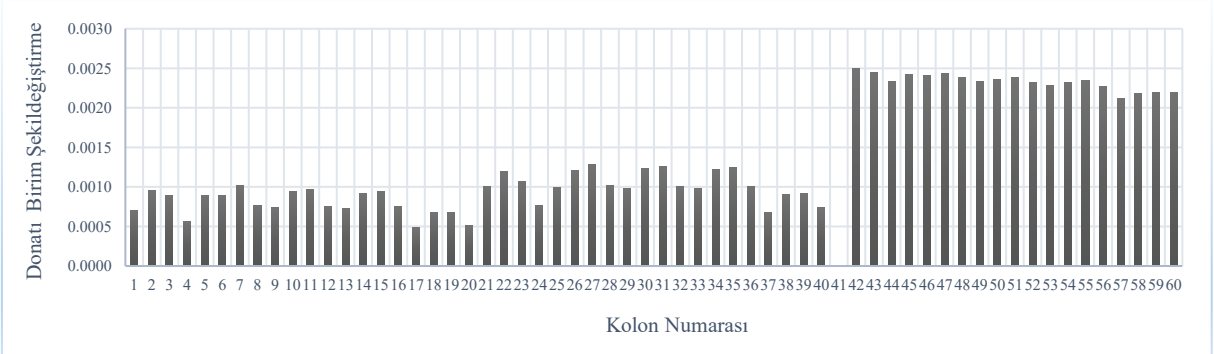
Şekil 4.424: Senaryo D-1'te kirişlerin maksimum eğilme momentleri (kN.m).



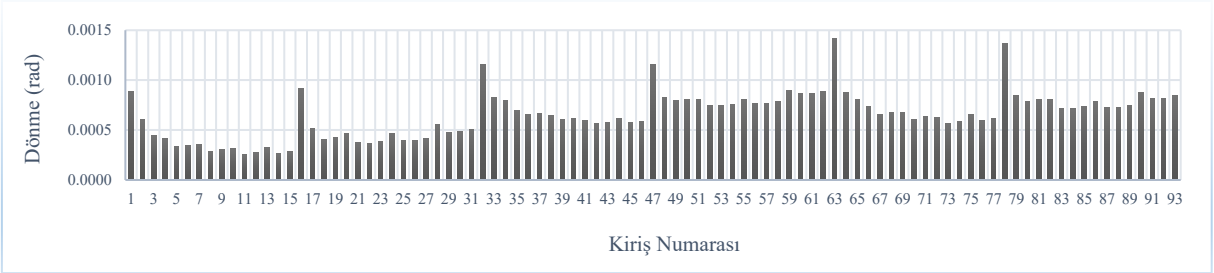
Şekil 4.425: Senaryo D-1'te kirişlerin maksimum burulma momentleri (kN.m).



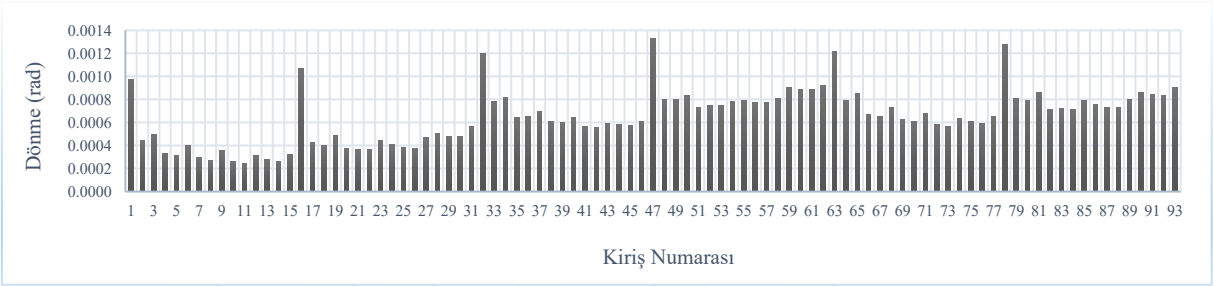
Şekil 4.426: Senaryo D-1'te kolon kesitlerinin betonunda maksimum birim şekildeğiştirme değerleri.



Şekil 4.427: Senaryo D-1'te kolon kesitlerinin donatısında maksimum birim şekildeğiştirme değerleri.



Şekil 4.428: Senaryo D-1'te kiriş kesitlerinin I ucunda maksimum dönme değerleri (rad).



Şekil 4.429: Senaryo D-1'te kiriş kesitlerinin J ucunda maksimum dönme değerleri (rad).

Tablo 4.140: Senaryo D-1'de kirişlerin hasar bölgeleri.

Kat	Kiriş sayısı					
	Sınırlı hasar	Belirgin hasar	İleri hasar	Göçme	Gevrek kırılma	Toplam
3	0	31	0	0	0	31
2	0	31	0	0	0	31
1	0	31	0	0	0	31

Tablo 4.141: Senaryo D-1'de kolonların hasar bölgeleri.

Kat	Kolon sayısı					
	Sınırlı hasar	Belirgin hasar	İleri hasar	Göçme	Gevrek kırılma	Toplam
3	20	0	0	0	0	20
2	20	0	0	0	0	20
1	3	16	0	1	0	20

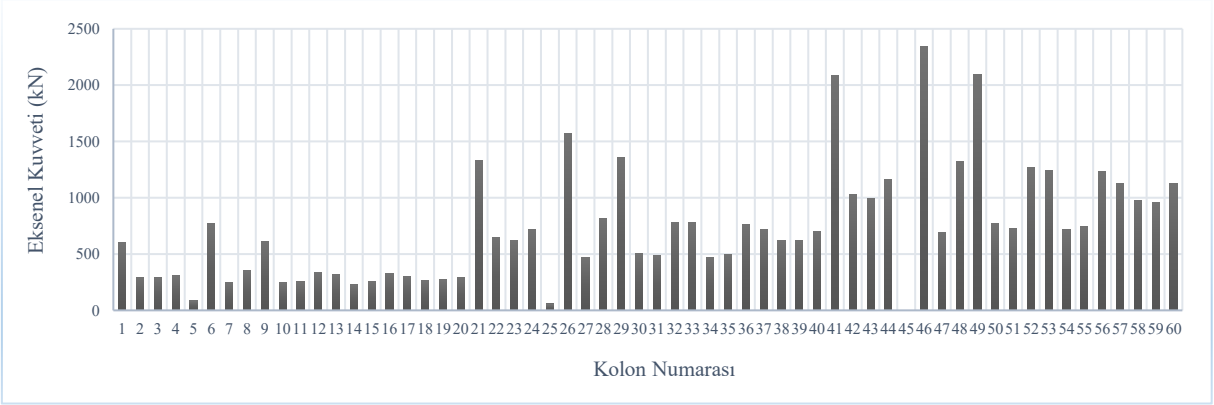
4.4.3. Senaryo D-2 Analiz Sonuçları

İlk katta yer alan tek bir kenar orta kolon kaybı senaryosu için kolon kaybı **Tablo 4.142**'de gelen iç kuvvetler ve kütle ile simüle edilmiştir. Söz konusu kolonun ortadan kalkma süresi 0.05 saniye olarak ayarlanmıştır.

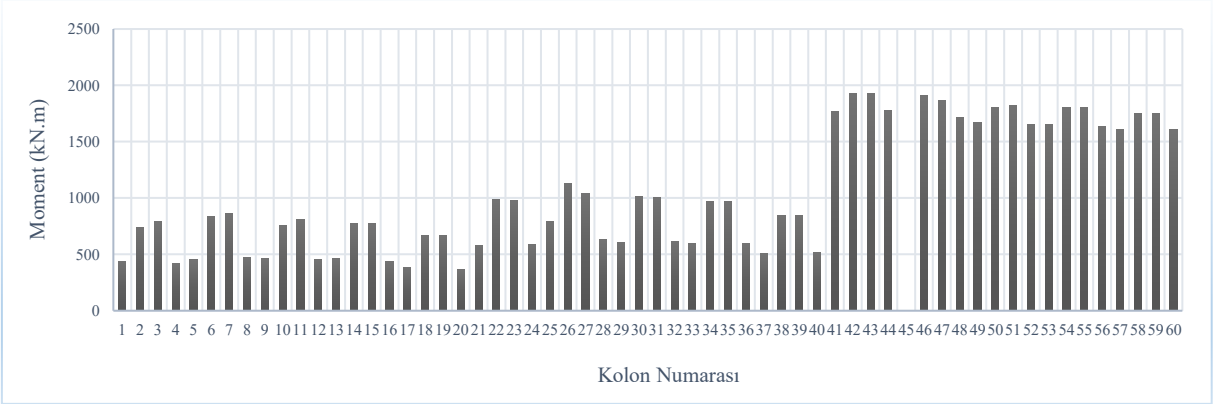
Tablo 4.142: Senaryo D-2'de kolonun sayısal simülasyonu.

P (kN)	M_x (kN.m)	M_y (kN.m)	V_x (kN)	V_y (kN)	Kütle (ton)
1167	1597	2274	719	608	8.59

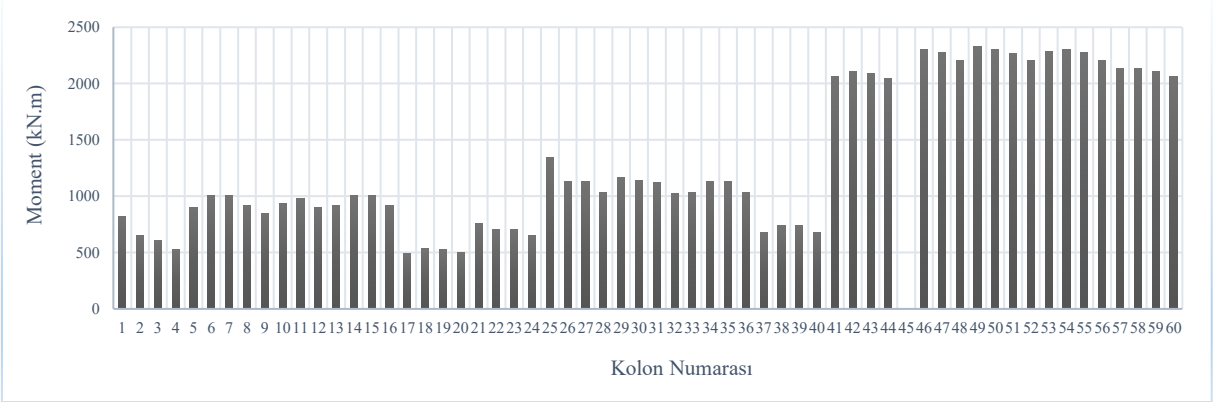
Senaryo D-2'e ait analiz sonuçları **Şekil 4.430** ila **Şekil 4.442**'de sunulmuştur. Söz konusu şekillerde senaryo D-2 kapsamında kaldırılmış olan kolon 45 numarayla gösterilmiştir. Elemanların hasar düzeyleri ise **Tablo 4.143** ve **Tablo 4.144**'te açıklanmıştır.



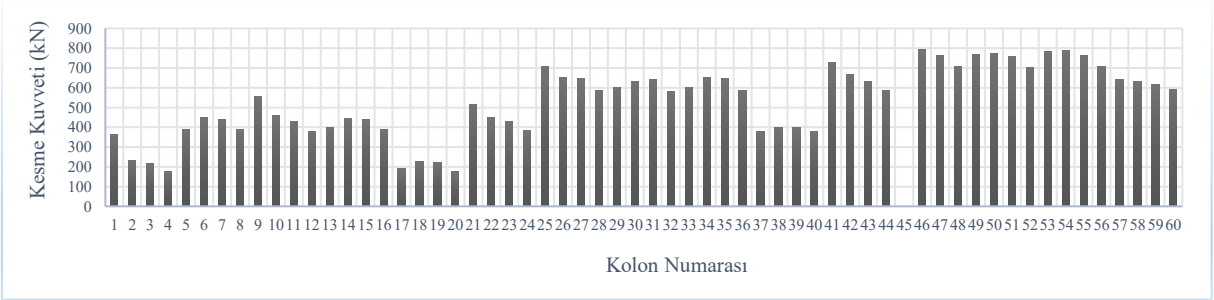
Şekil 4.430: Senaryo D-2'te kolonların maksimum eksenel kuvvetleri (kN).



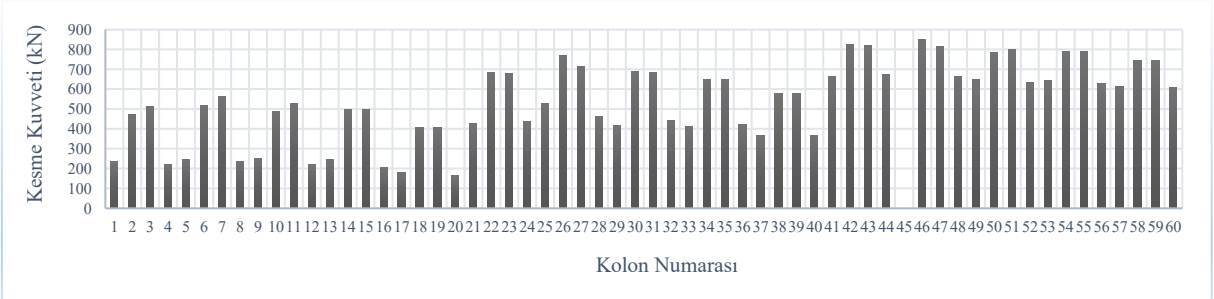
Şekil 4.431: Senaryo D-2'te kolonların X yönünde maksimum momentleri (kN.m).



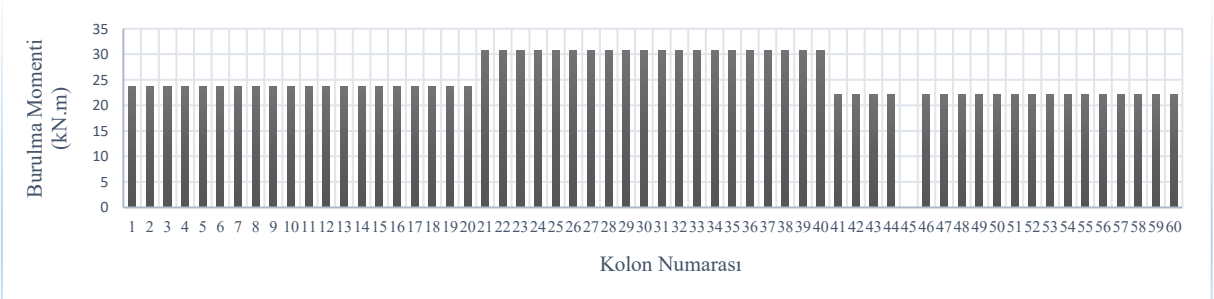
Şekil 4.432: Senaryo D-2'te kolonların Y yönünde maksimum momentleri (kN.m).



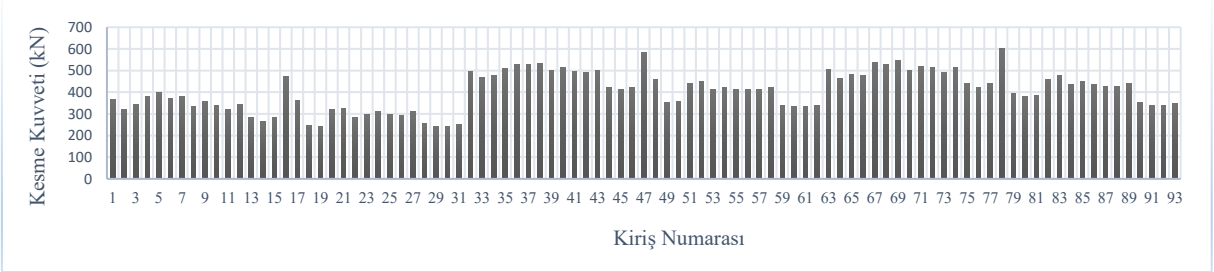
Şekil 4.433: Senaryo D-2'te kolonların X yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).



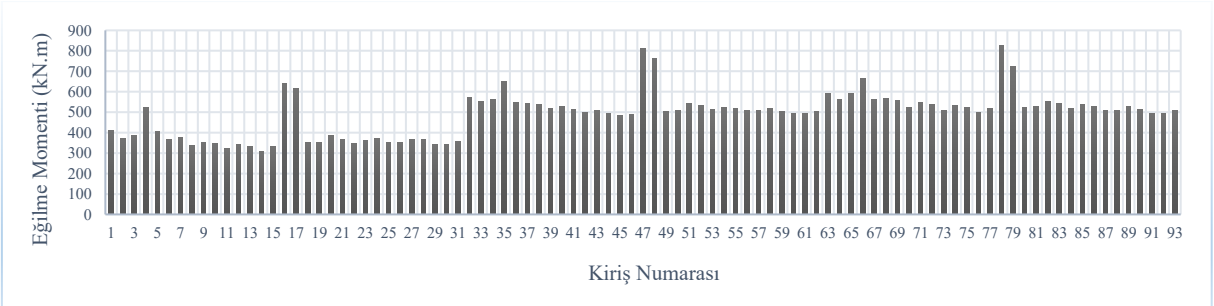
Şekil 4.434: Senaryo D-2'te kolonların Y yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).



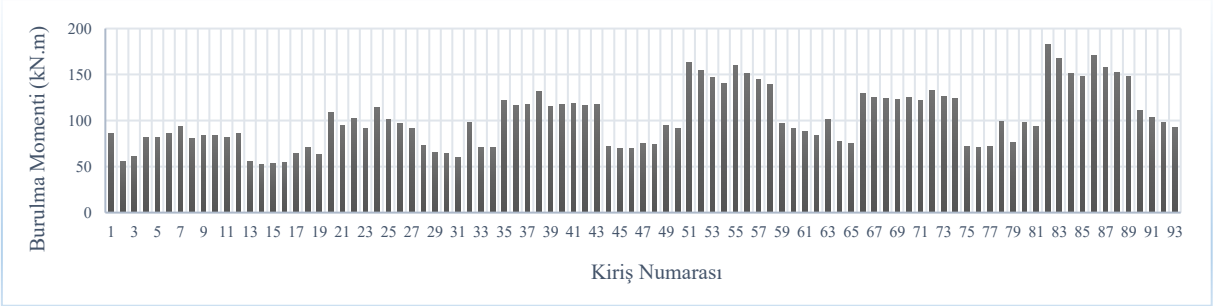
Şekil 4.435: Senaryo D-2'te kolonların maksimum burulma momentleri (kN.m).



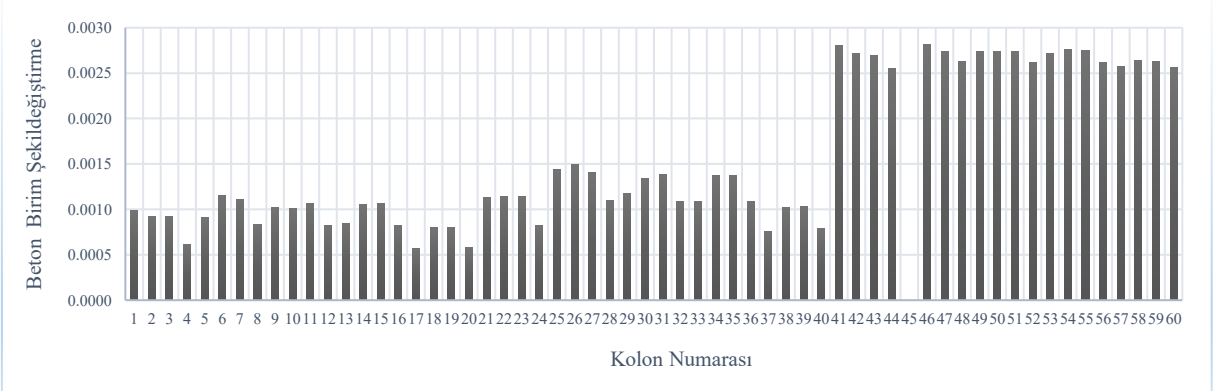
Şekil 4.436: Senaryo D-2'te kirişlerin maksimum kesme kuvvetleri (kN).



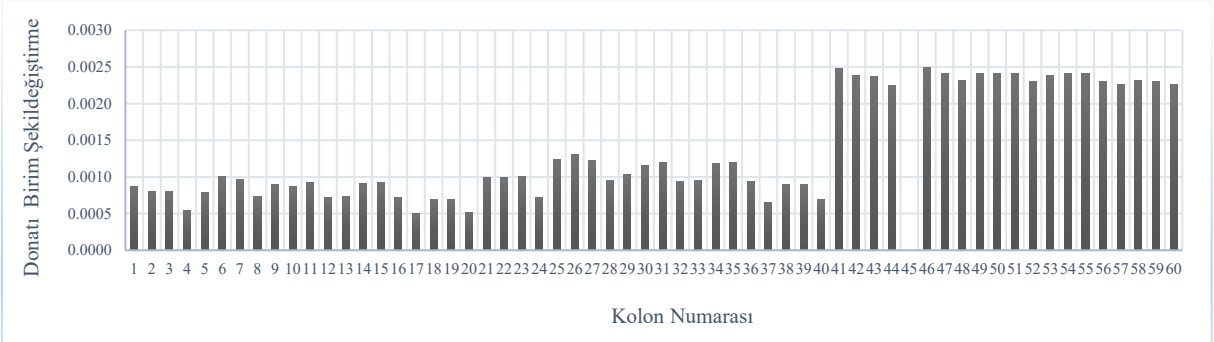
Şekil 4.437: Senaryo D-2'te kirişlerin maksimum eğilme momentleri (kN.m).



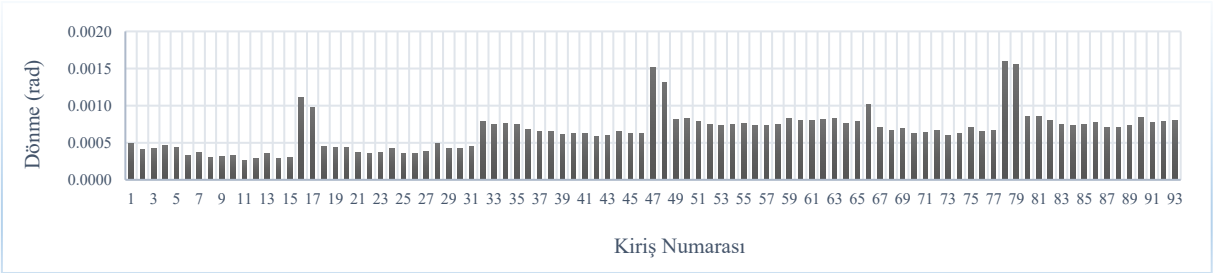
Şekil 4.438: Senaryo D-2'te kirişlerin maksimum burulma momentleri (kN.m).



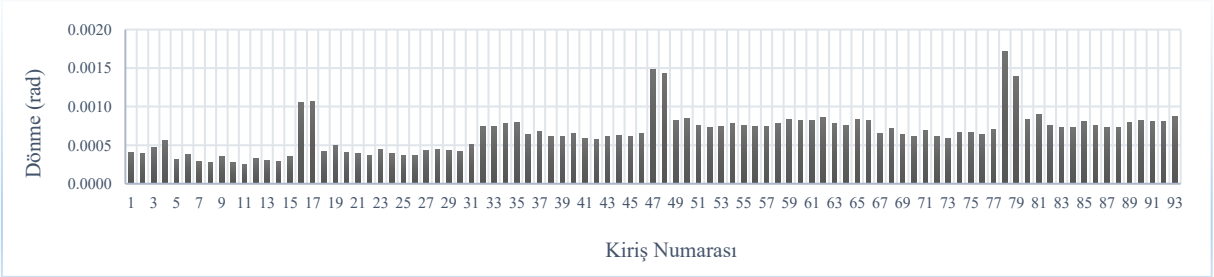
Şekil 4.439: Senaryo D-2'te kolon kesitlerinin betonunda maksimum birim şekildeğiştirme değerleri.



Şekil 4.440: Senaryo D-2'te kolon kesitlerinin donatısında maksimum birim şekildeğiştirme değerleri.



Şekil 4.441: Senaryo D-2'te kiriş kesitlerinin I ucunda maksimum dönme değerleri (rad).



Şekil 4.442: Senaryo D-2'te kiriş kesitlerinin J ucunda maksimum dönme değerleri (rad).

Tablo 4.143: Senaryo D-2'de kirişlerin hasar bölgeleri.

Kat	Kiriş sayısı					
	Sınırlı hasar	Belirgin hasar	İleri hasar	Göçme	Gevrek kırılma	Toplam
3	0	31	0	0	0	31
2	0	31	0	0	0	31
1	0	31	0	0	0	31

Tablo 4.144: Senaryo D-2'de kolonların hasar bölgeleri.

Kat	Kolon sayısı					
	Sınırlı hasar	Belirgin hasar	İleri hasar	Göçme	Gevrek kırılma	Toplam
3	20	0	0	0	0	20
2	20	0	0	0	0	20
1	0	19	0	1	0	20

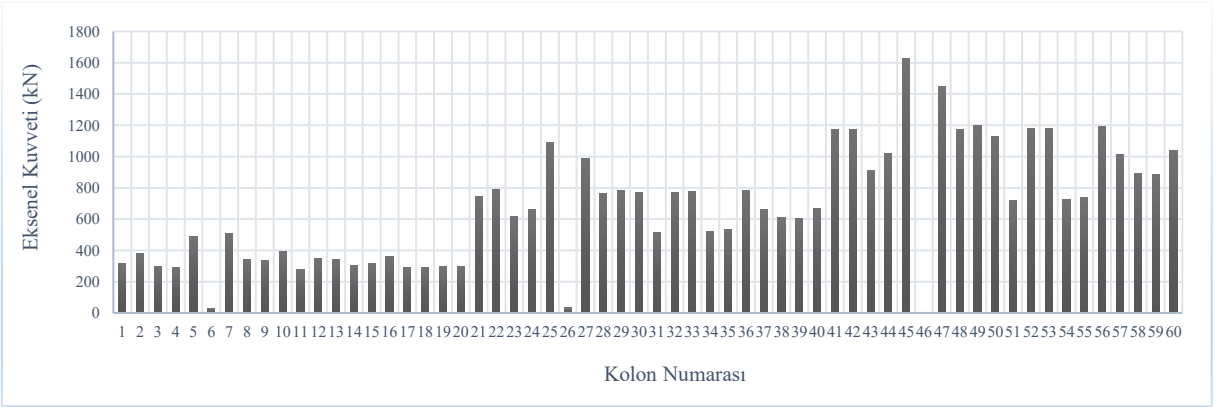
4.4.4. Senaryo D-3 Analiz Sonuçları

İlk katta yer alan tek bir iç kolon kaybı senaryosu için kolon kaybı **Tablo 4.145**'te gelen iç kuvvetler ve kütle ile simüle edilmiştir. Söz konusu kolonun ortadan kalkma süresi 0.05 saniye olarak ayarlanmıştır.

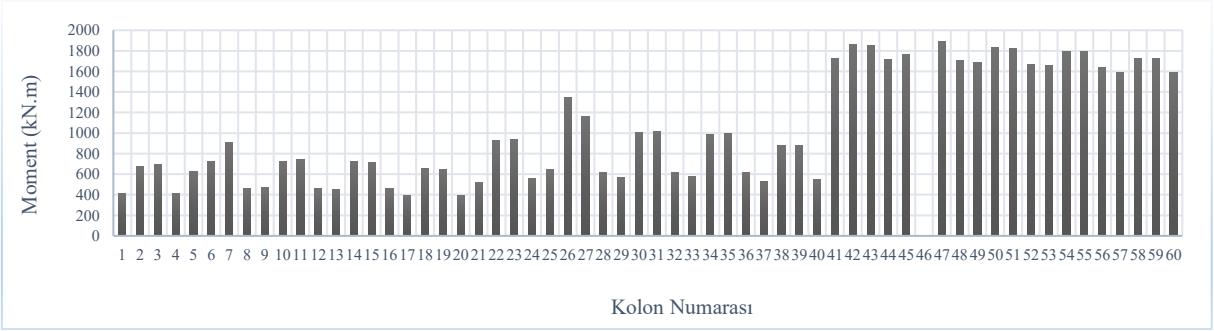
Tablo 4.145: Senaryo D-3'te kolonun sayısal simülasyonu.

P (kN)	M_x (kN.m)	M_y (kN.m)	V_x (kN)	V_y (kN)	Kütle (ton)
730	1765	2316	752	772	13.23

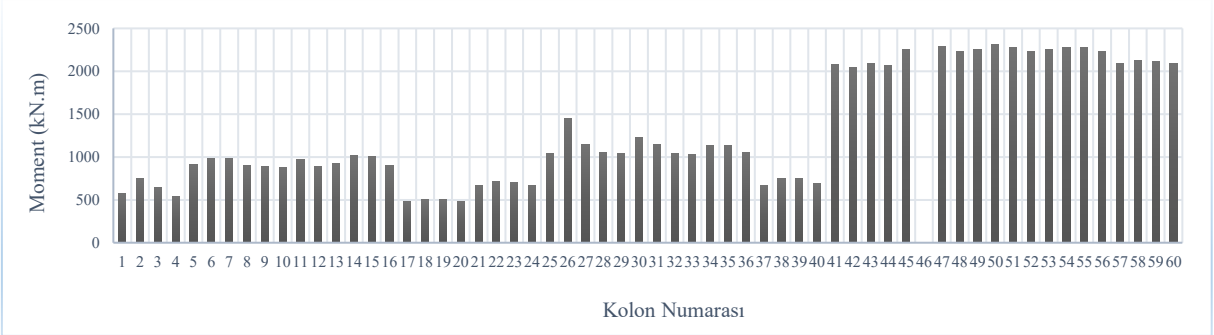
Senaryo D-3'e ait analiz sonuçları **Şekil 4.443** ila **Şekil 4.455**'te sunulmuştur. Söz konusu şekillerde senaryo D-3 kapsamında kaldırılmış olan kolon 46 numarayla gösterilmiştir. Elemanların hasar düzeyleri ise **Tablo 4.146** ve **Tablo 4.147**'de açıklanmıştır.



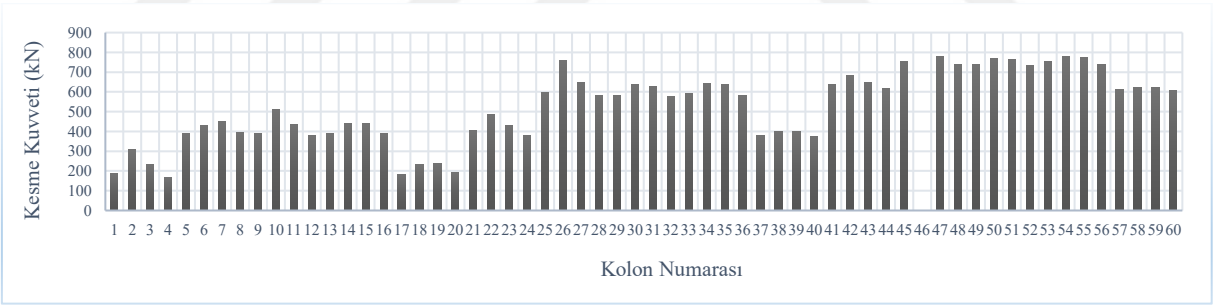
Şekil 4.443: Senaryo D-3'te kolonların maksimum eksenel kuvvetleri (kN).



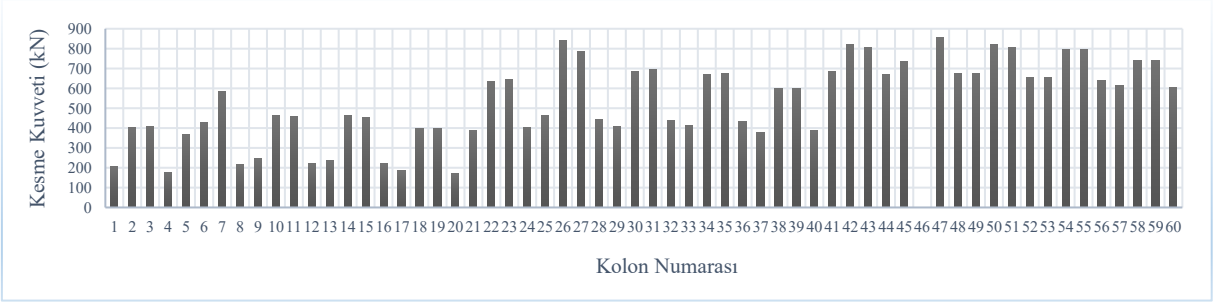
Şekil 4.444: Senaryo D-3'te kolonların X yönünde maksimum momentleri (kN.m).



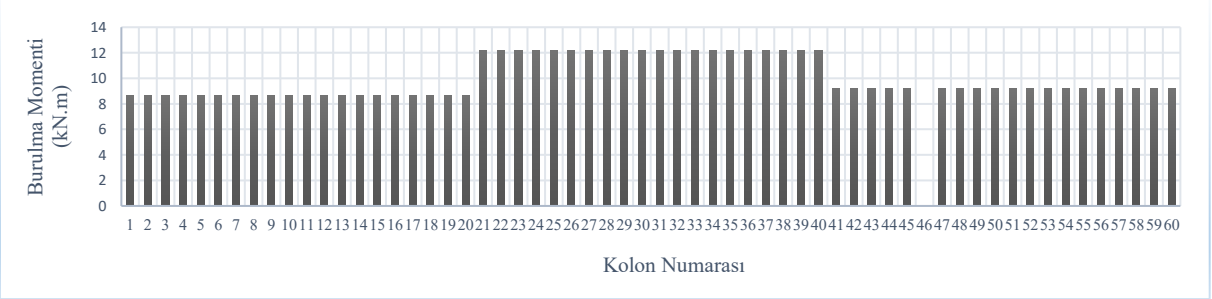
Şekil 4.445: Senaryo D-3'te kolonların Y yönünde maksimum momentleri (kN.m).



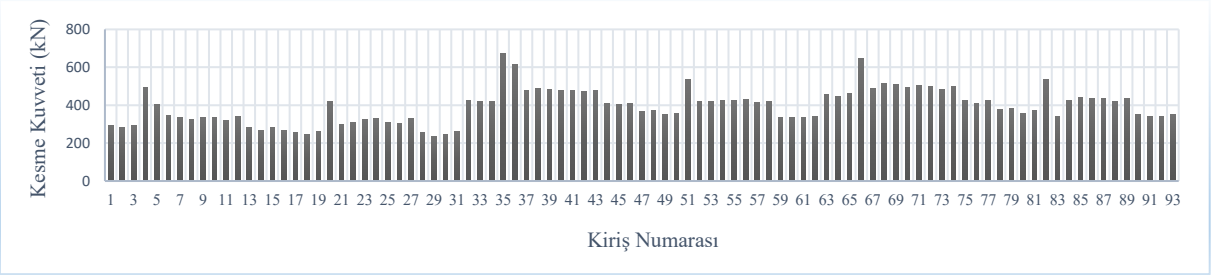
Şekil 4.446: Senaryo D-3'te kolonların X yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).



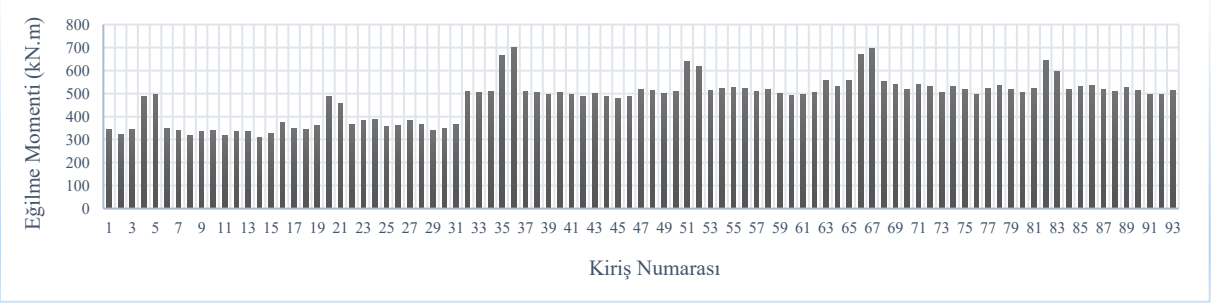
Şekil 4.447: Senaryo D-3'te kolonların Y yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).



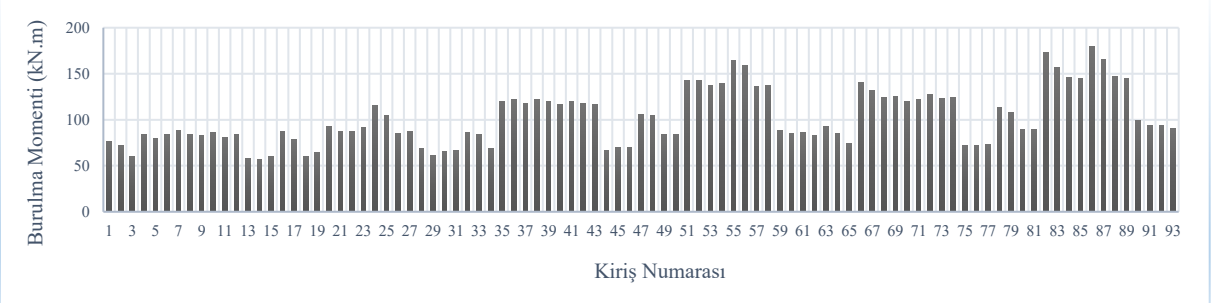
Şekil 4.448: Senaryo D-3'te kolonların maksimum burulma momentleri (kN.m).



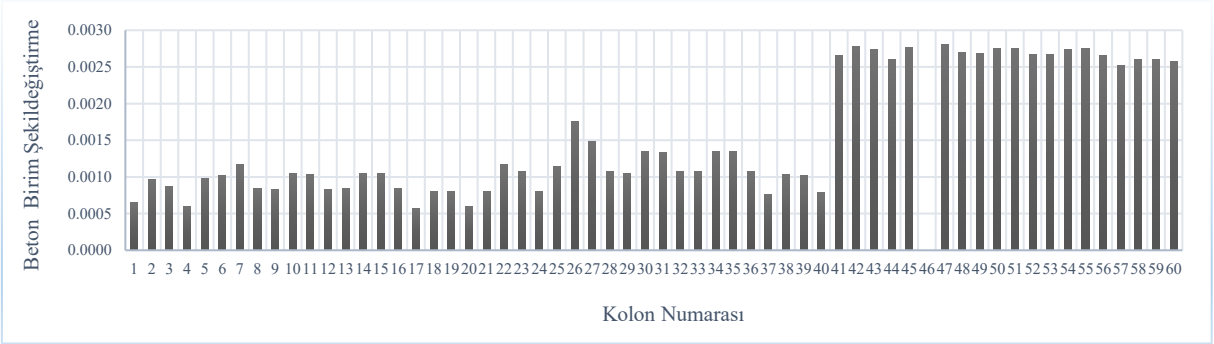
Şekil 4.449: Senaryo D-3'te kirişlerin maksimum kesme kuvvetleri (kN).



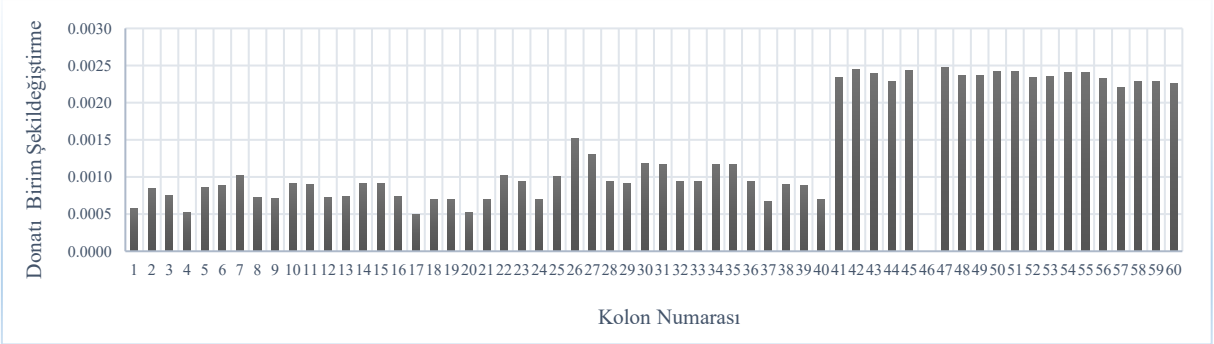
Şekil 4.450: Senaryo D-3'te kirişlerin maksimum eğilme momentleri (kN.m).



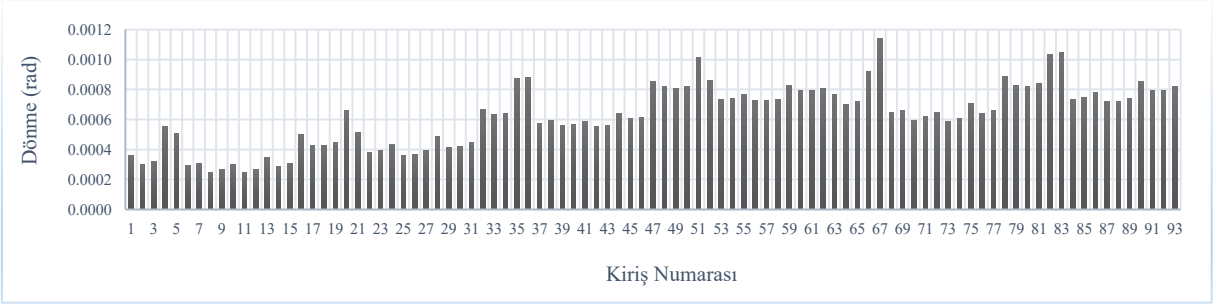
Şekil 4.451: Senaryo D-3'te kirişlerin maksimum burulma momentleri (kN.m).



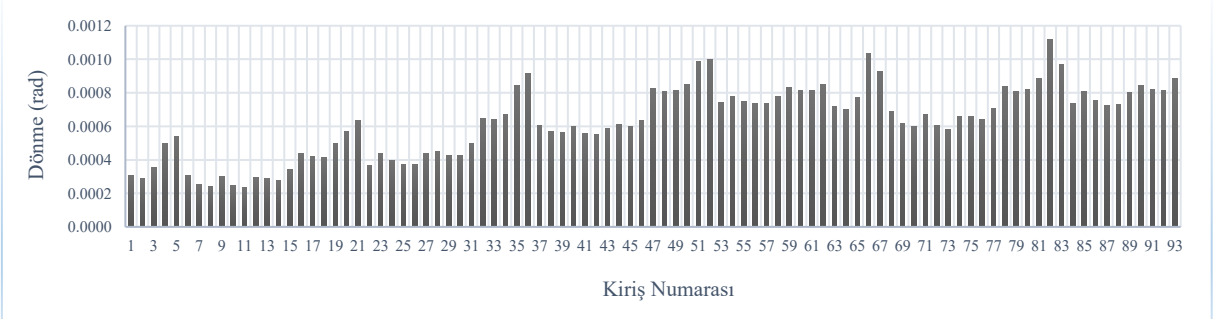
Şekil 4.452: Senaryo D-3'te kolon kesitlerinin betonunda maksimum birim şekildeğiştirme değerleri.



Şekil 4.453: Senaryo D-3'te kolon kesitlerinin donatısında maksimum birim şekildeğiştirme değerleri.



Şekil 4.454: Senaryo D-3'te kiriş kesitlerinin I ucunda maksimum dönme değerleri (rad).



Şekil 4.455: Senaryo D-3'te kiriş kesitlerinin J ucunda maksimum dönme değerleri (rad).

Tablo 4.146: Senaryo D-3'te kirişlerin hasar bölgeleri.

Kat	Kiriş sayısı					
	Sınırlı hasar	Belirgin hasar	İleri hasar	Göçme	Gevrek kırılma	Toplam
3	0	31	0	0	0	31
2	0	31	0	0	0	31
1	0	31	0	0	0	31

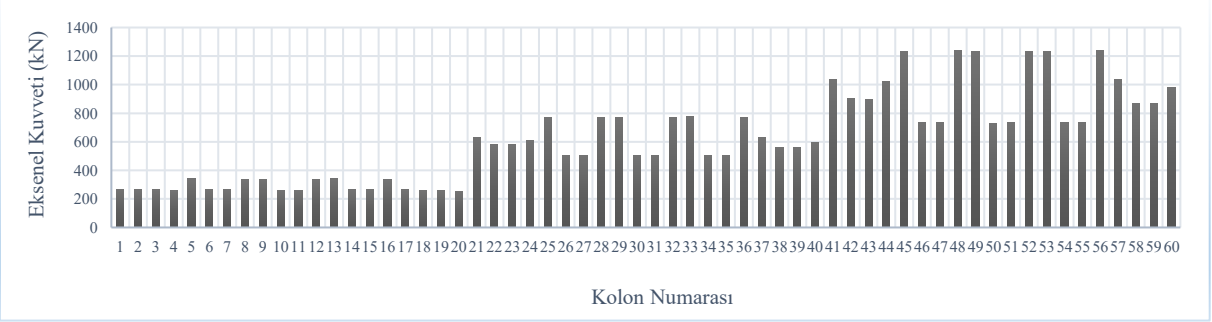
Tablo 4.147: Senaryo D-3'te kolonların hasar bölgeleri.

Kat	Kolon sayısı					
	Sınırlı hasar	Belirgin hasar	İleri hasar	Göçme	Gevrek kırılma	Toplam
3	20	0	0	0	0	20
2	20	0	0	0	0	20
1	0	19	0	1	0	20

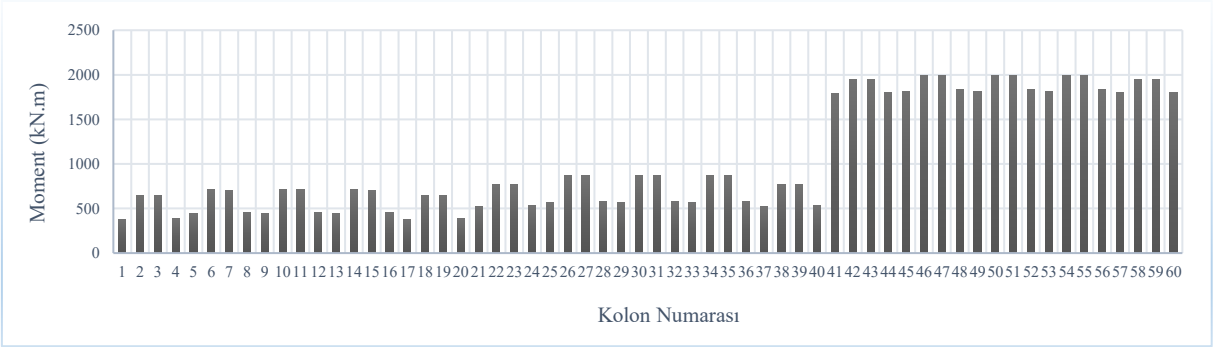
4.5. MODEL E ANALİZ SONUÇLARI

4.5.1. Kontrol Modelinin Analiz Sonuçları

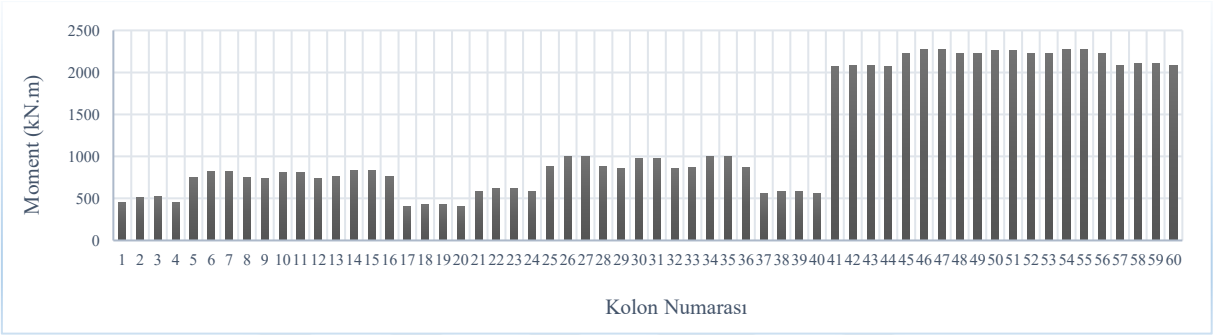
Doğrusal olmayan analizler sonuçlarına göre kontrol modeli DD-2 deprem yer hareketi düzeyinde "Kontrollü Hasar" performans hedefini sağlamıştır. Kontrol modeline ait analiz sonuçları **Şekil 4.456** ila **Şekil 4.468**'de sunulmuştur. Elemanların hasar düzeyleri ise **Tablo 4.148** ve **Tablo 4.149**'da açıklanmıştır.



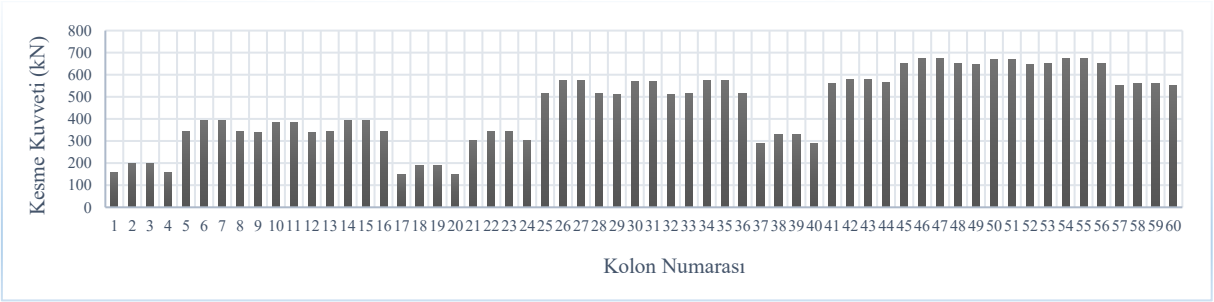
Şekil 4.456: Kontrol modelinde kolonların maksimum eksenel kuvvetleri (kN).



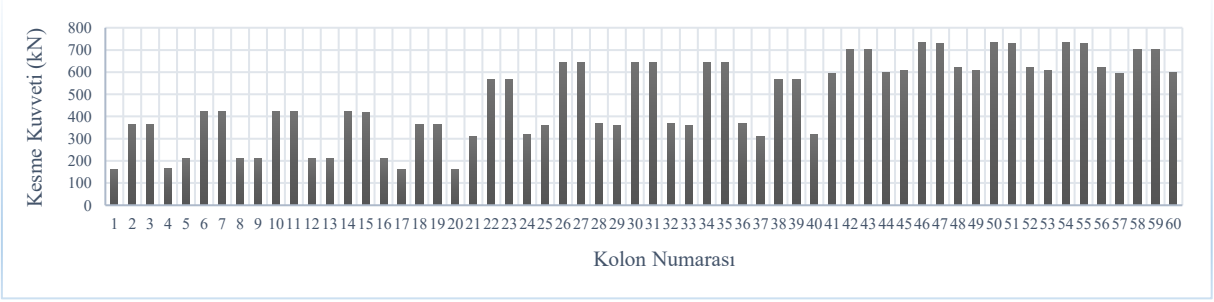
Şekil 4.457: Kontrol modelinde kolonların X yönünde maksimum momentleri (kN.m).



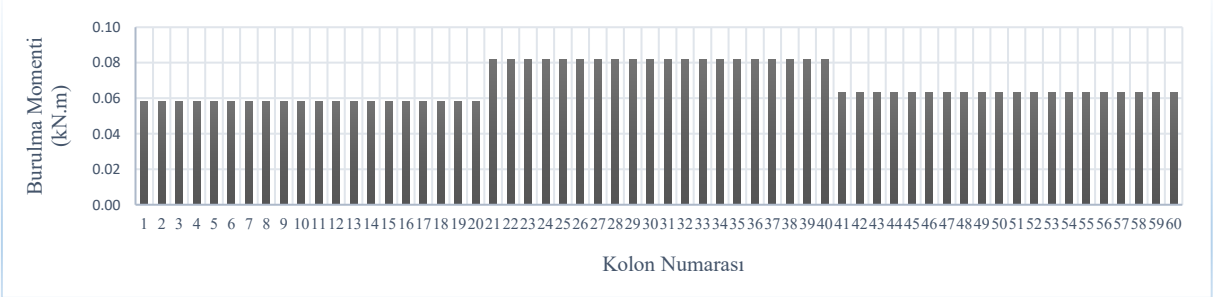
Şekil 4.458: Kontrol modelinde kolonların Y yönünde maksimum momentleri (kN.m).



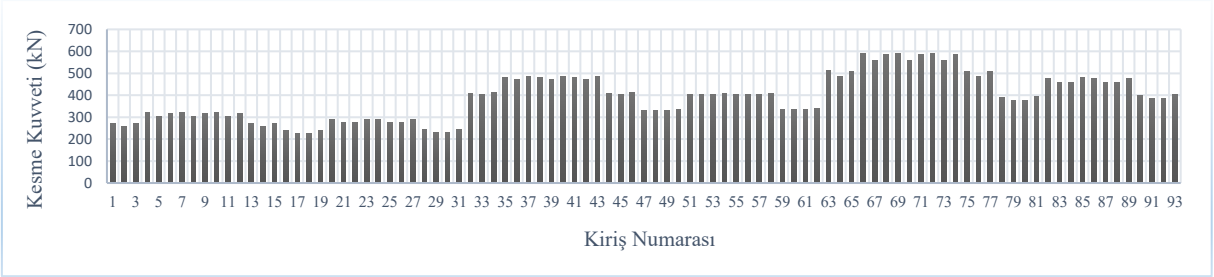
Şekil 4.459: Kontrol modelinde kolonların X yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).



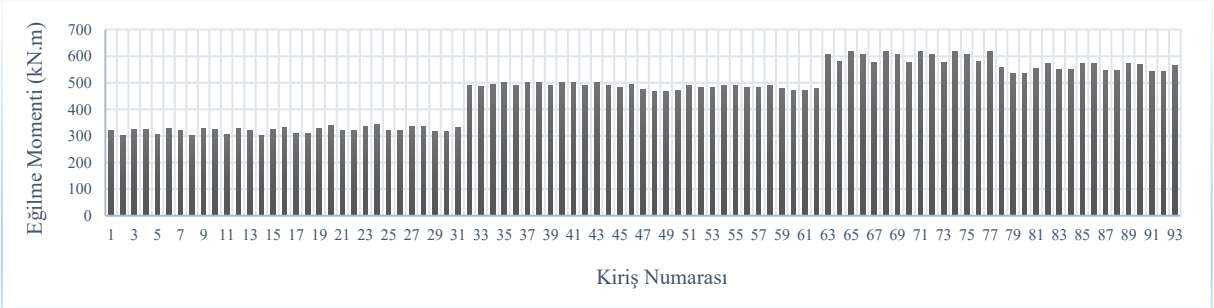
Şekil 4.460: Kontrol modelinde kolonların Y yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).



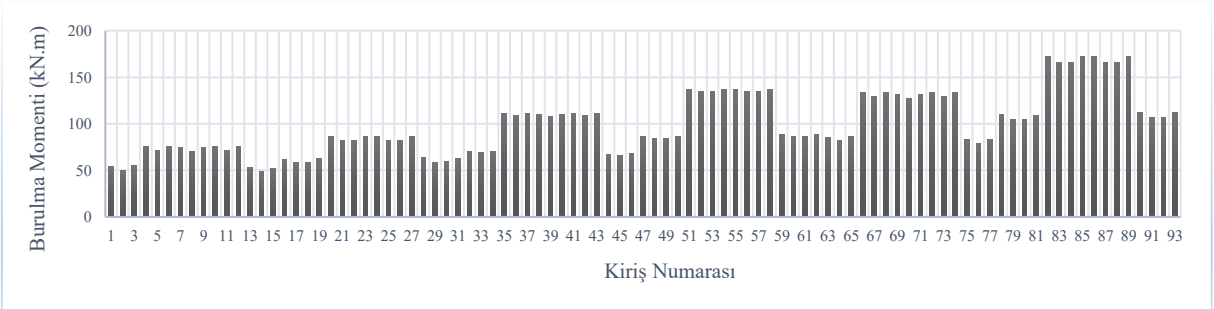
Şekil 4.461: Kontrol modelinde kolonların maksimum burulma momentleri (kN.m).



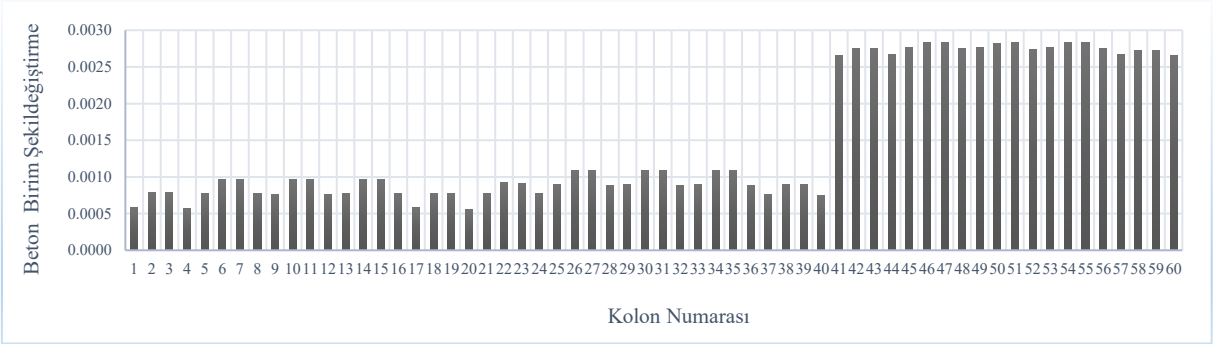
Şekil 4.462: Kontrol modelinde kirişlerin maksimum kesme kuvvetleri (kN).



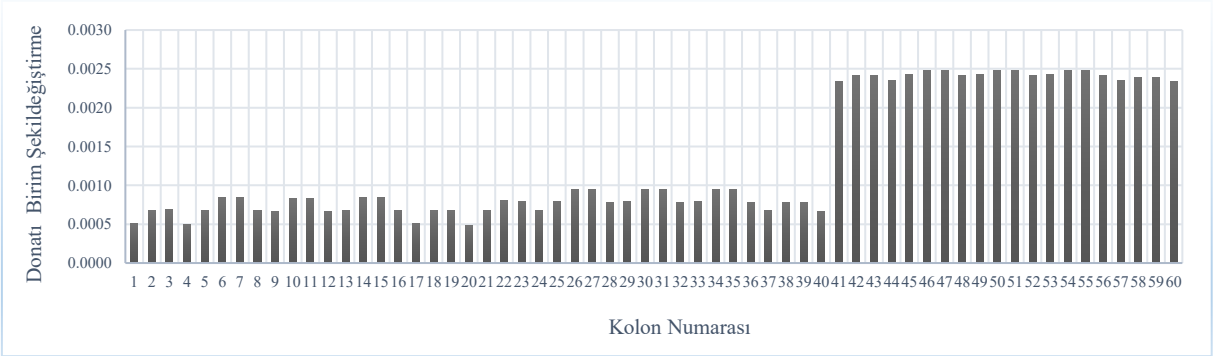
Şekil 4.463: Kontrol modelinde kirişlerin maksimum eğilme momentleri (kN.m).



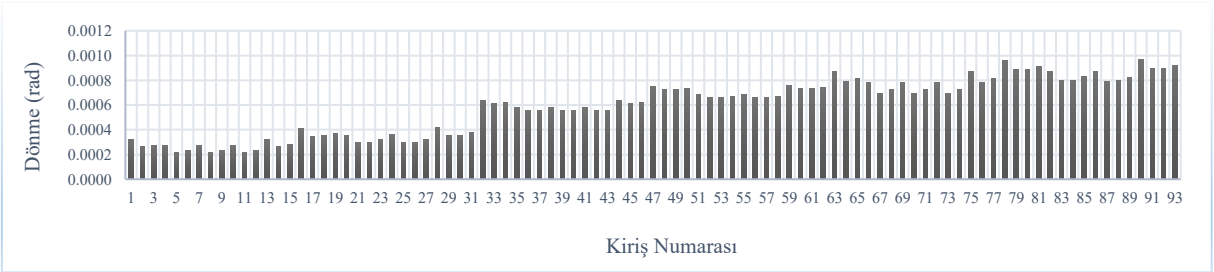
Şekil 4.464: Kontrol modelinde kirişlerin maksimum burulma momentleri (kN.m).



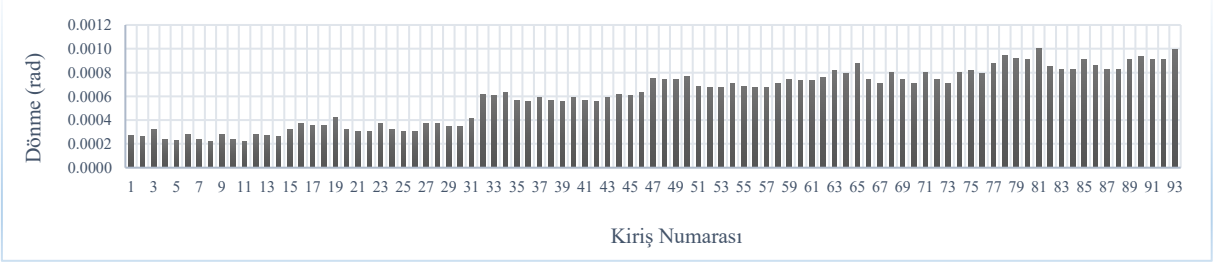
Şekil 4.465: Kontrol modelinde kolon kesitlerinin betonunda maksimum birim şekildeğiştirme değerleri.



Şekil 4.466: Kontrol modelinde kolon kesitlerinin donatısında maksimum birim şekildeğiştirme değerleri.



Şekil 4.467: Kontrol modelinde kiriş kesitlerinin I ucunda maksimum dönme değerleri (rad).



Şekil 4.468: Kontrol modelinde kiriş kesitlerinin J ucunda maksimum dönme değerleri (rad).

Tablo 4.148: Kontrol modelinde kirişlerin hasar bölgeleri.

Kat	Kiriş sayısı					
	Sınırlı hasar	Belirgin hasar	İleri hasar	Göçme	Gevrek kırılma	Toplam
3	0	31	0	0	0	31
2	0	31	0	0	0	31
1	0	31	0	0	0	31

Tablo 4.149: Kontrol modelinde kolonların hasar bölgeleri.

Kat	Kolon sayısı					
	Sınırlı hasar	Belirgin hasar	İleri hasar	Göçme	Gevrek kırılma	Toplam
3	20	0	0	0	0	20
2	20	0	0	0	0	20
1	0	20	0	0	0	20

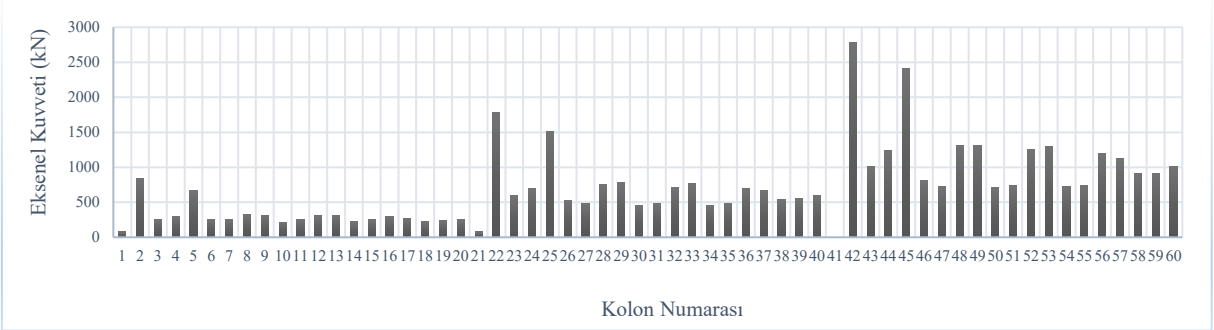
4.5.2. Senaryo E-1 Analiz Sonuçları

İlk katta yer alan tek bir köşe kolon kaybı senaryosu için kolon kaybı **Tablo 4.150**'de gelen iç kuvvetler ve kütle ile simüle edilmiştir. Söz konusu kolonun ortadan kalkma süresi 0.05 saniye olarak ayarlanmıştır.

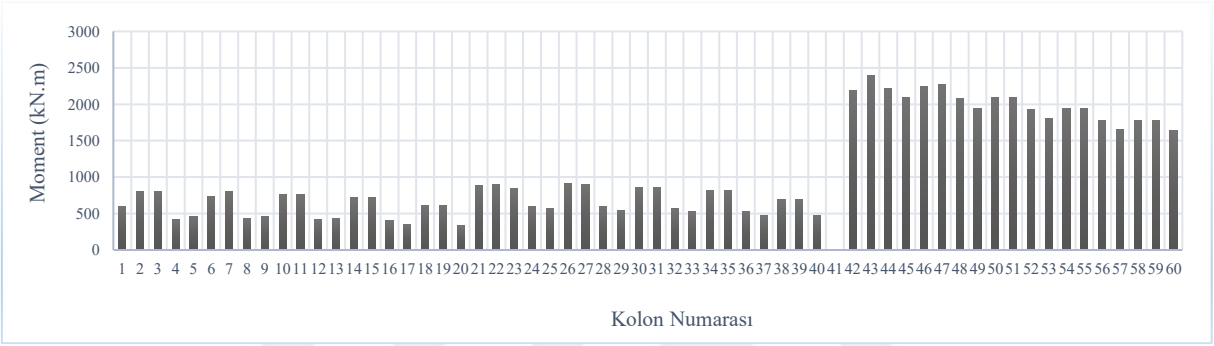
Tablo 4.150: Senaryo E-1'de kolonun sayısal simülasyonu.

P (kN)	M_x (kN.m)	M_y (kN.m)	V_x (kN)	V_y (kN)	Kütle (ton)
1036	1796	2066	561	592	6.29

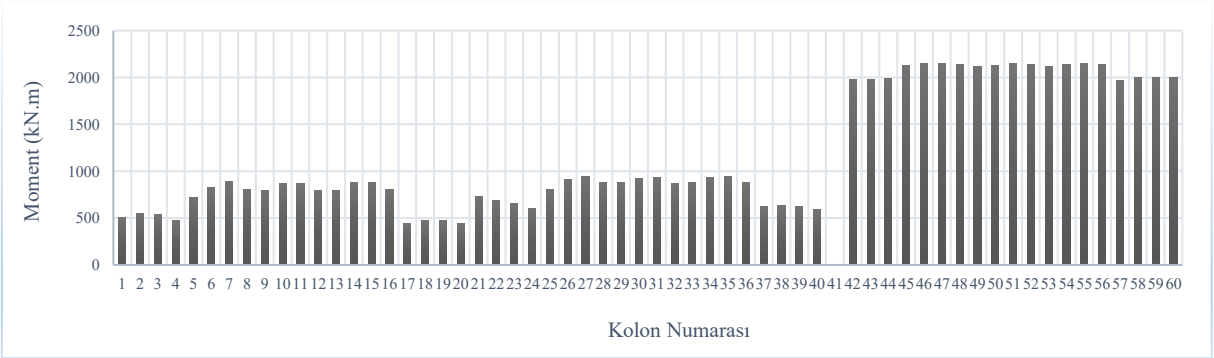
Senaryo E-1'e ait analiz sonuçları **Şekil 4.469** ila **Şekil 4.481**'de sunulmuştur. Söz konusu şekillerde senaryo E-1 kapsamında kaldırılmış olan kolon 41 numarayla gösterilmiştir. Elemanların hasar düzeyleri ise **Tablo 4.151** ve **Tablo 4.152**'de açıklanmıştır.



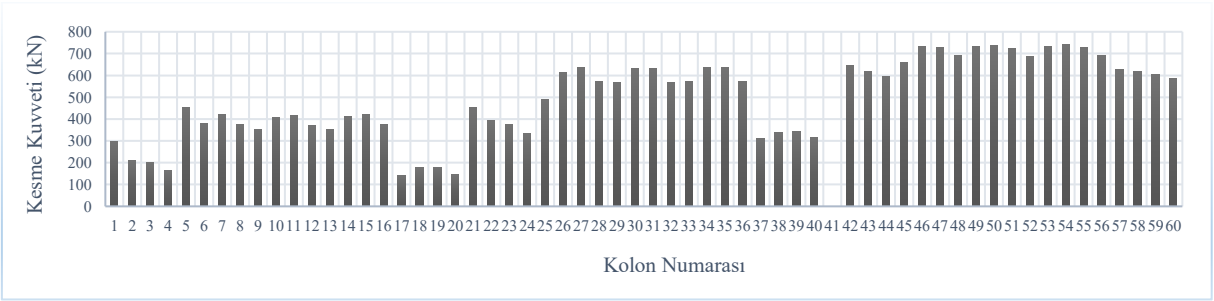
Şekil 4.469: Senaryo E-1'te kolonların maksimum eksenel kuvvetleri (kN).



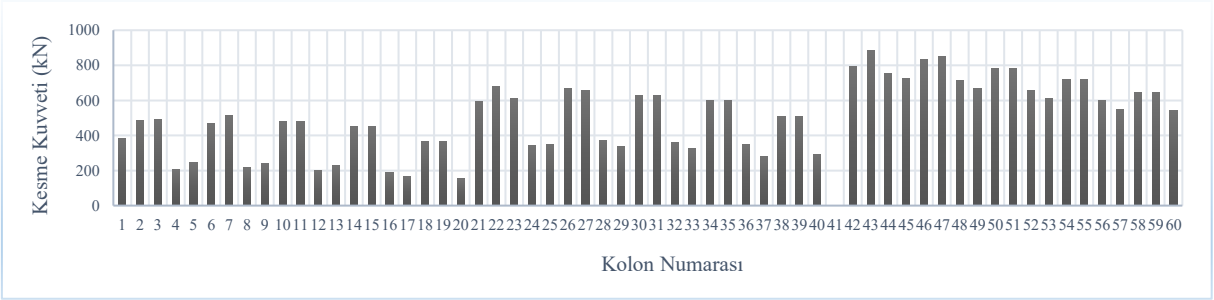
Şekil 4.470: Senaryo E-1'te kolonların X yönünde maksimum momentleri (kN.m).



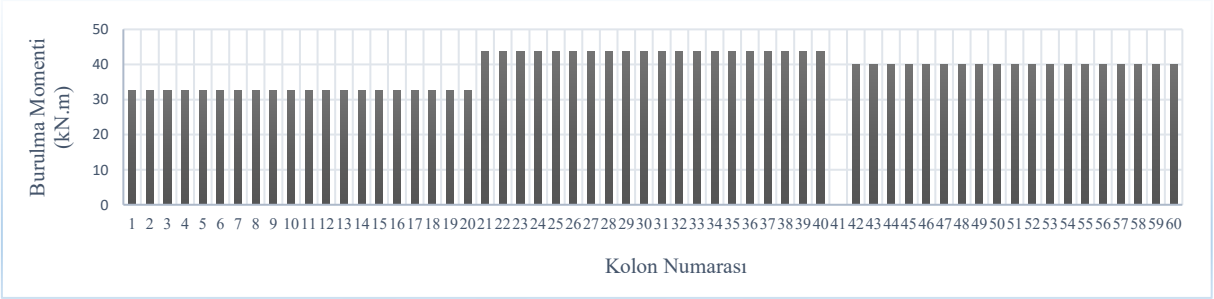
Şekil 4.471: Senaryo E-1'te kolonların Y yönünde maksimum momentleri (kN.m).



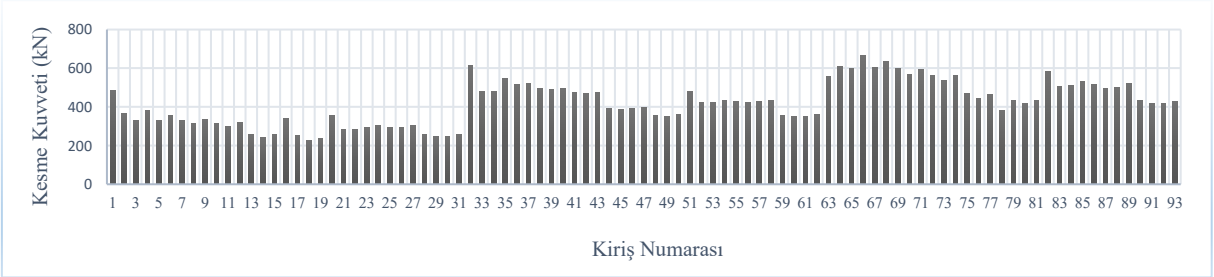
Şekil 4.472: Senaryo E-1'te kolonların X yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).



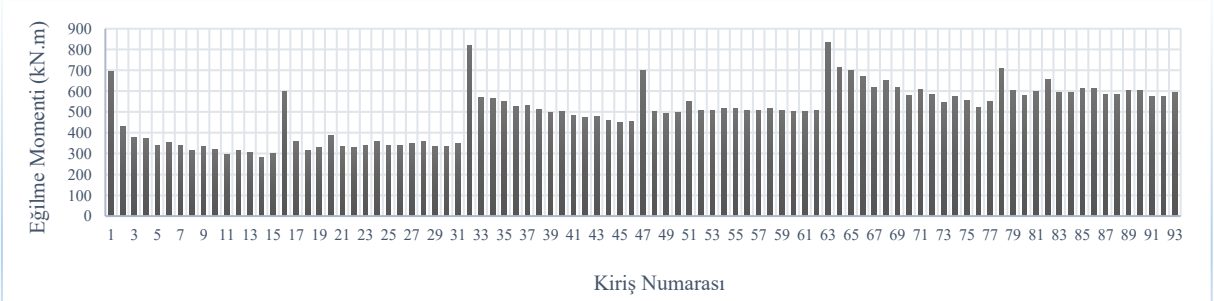
Şekil 4.473: Senaryo E-1'te kolonların Y yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).



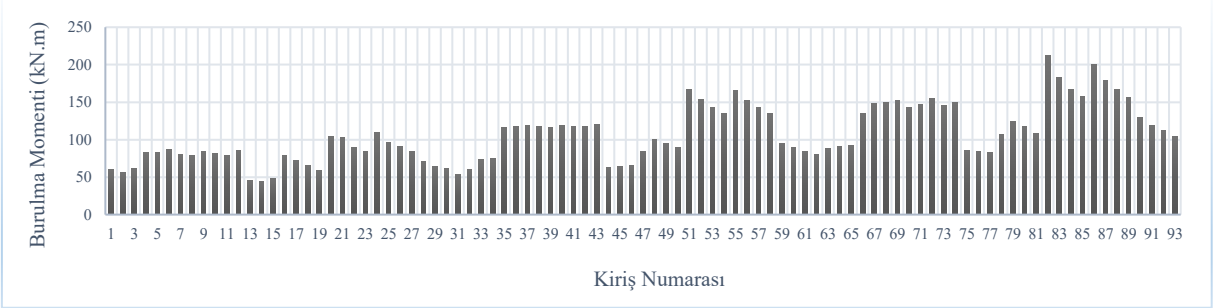
Şekil 4.474: Senaryo E-1'te kolonların maksimum burulma momentleri (kN.m).



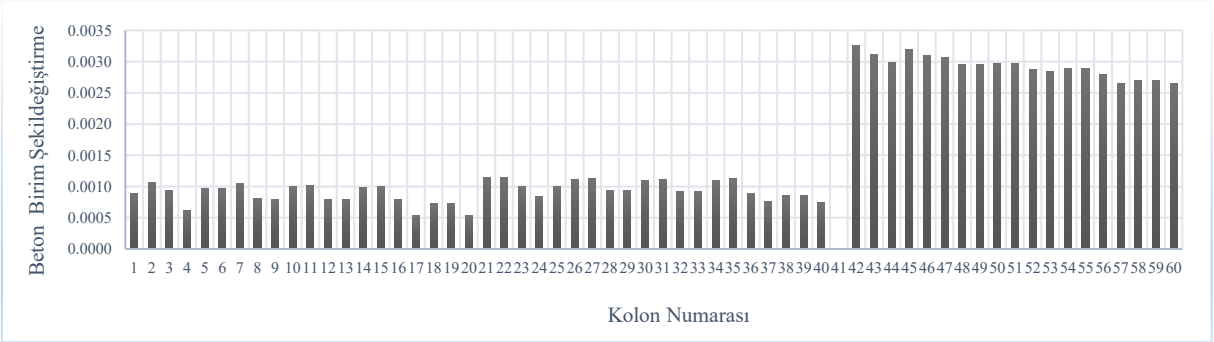
Şekil 4.475: Senaryo E-1'te kirişlerin maksimum kesme kuvvetleri (kN).



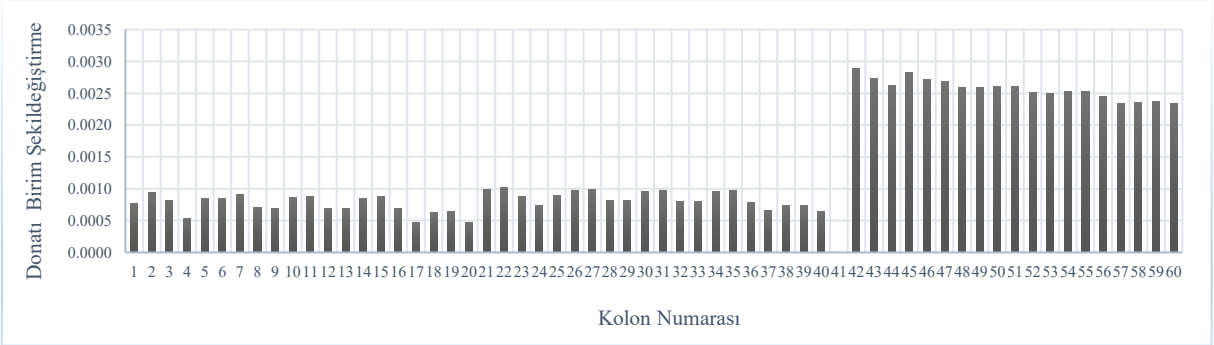
Şekil 4.476: Senaryo E-1'te kirişlerin maksimum eğilme momentleri (kN.m).



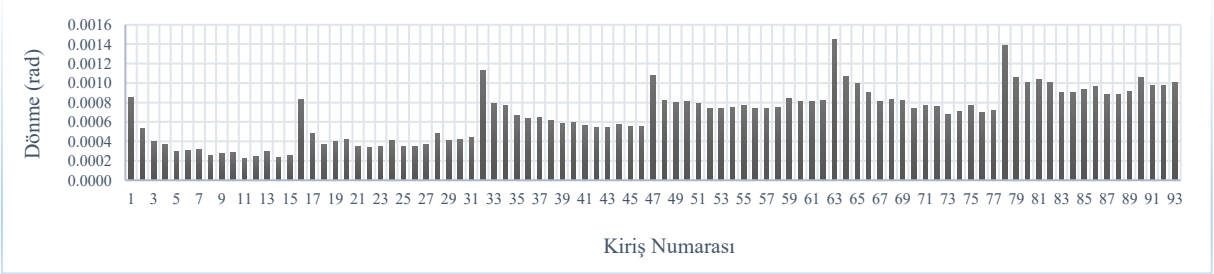
Şekil 4.477: Senaryo E-1'te kirişlerin maksimum burulma momentleri (kN.m).



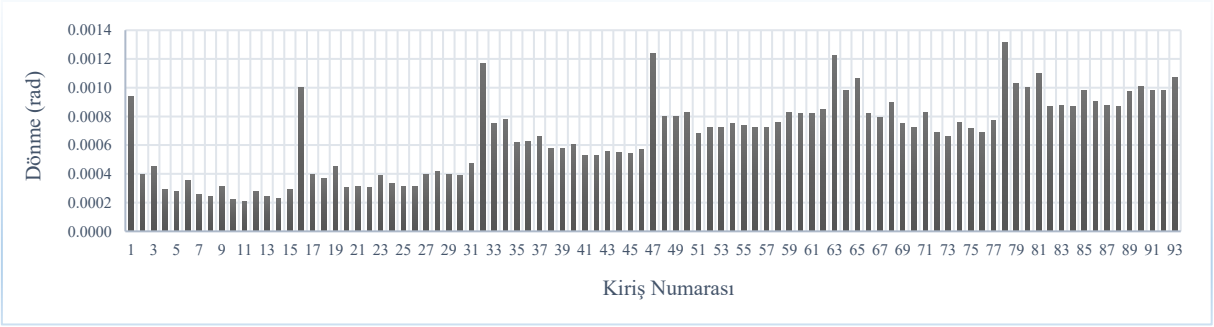
Şekil 4.478: Senaryo E-1'te kolon kesitlerinin betonunda maksimum birim şekildeğiştirme değerleri.



Şekil 4.479: Senaryo E-1'te kolon kesitlerinin donatısında maksimum birim şekildeğiştirme değerleri.



Şekil 4.480: Senaryo E-1'te kiriş kesitlerinin I ucunda maksimum dönme değerleri (rad).



Şekil 4.481: Senaryo E-1'te kiriş kesitlerinin J ucunda maksimum dönme değerleri (rad).

Tablo 4.151: Senaryo E-1'de kirişlerin hasar bölgeleri.

Kat	Kiriş sayısı					
	Sınırlı hasar	Belirgin hasar	İleri hasar	Göçme	Gevrek kırılma	Toplam
3	0	31	0	0	0	31
2	0	31	0	0	0	31
1	0	31	0	0	0	31

Tablo 4.152: Senaryo E-1'de kolonların hasar bölgeleri.

Kat	Kolon sayısı					
	Sınırlı hasar	Belirgin hasar	İleri hasar	Göçme	Gevrek kırılma	Toplam
3	20	0	0	0	0	20
2	20	0	0	0	0	20
1	0	19	0	1	0	20

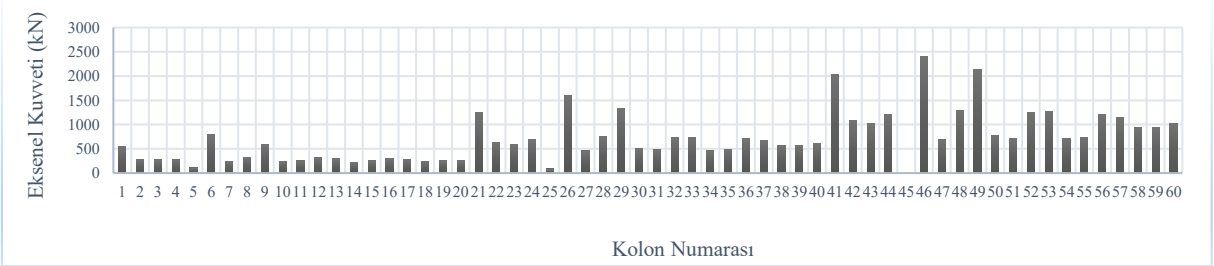
4.5.3. Senaryo E-2 Analiz Sonuçları

İlk katta yer alan tek bir kenar orta kolon kaybı senaryosu için kolon kaybı **Tablo 4.153**'te gelen iç kuvvetler ve kütle ile simüle edilmiştir. Söz konusu kolonun ortadan kalkma süresi 0.05 saniye olarak ayarlanmıştır.

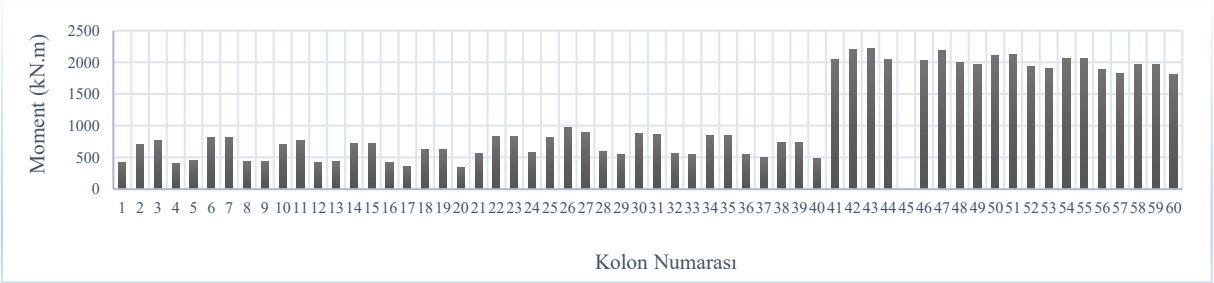
Tablo 4.153: Senaryo E-2'de kolonun sayısal simülasyonu.

P (kN)	M_x (kN.m)	M_y (kN.m)	V_x (kN)	V_y (kN)	Kütle (ton)
1233	1815	2229	650	607	9.23

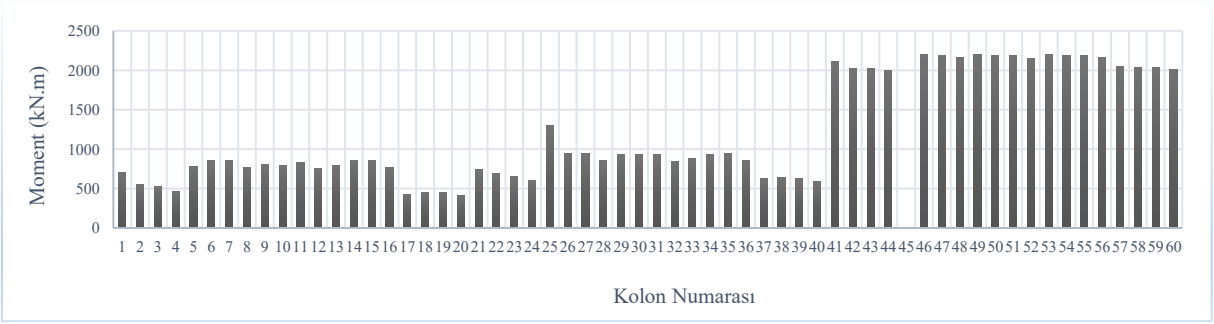
Senaryo E-2'e ait analiz sonuçları **Şekil 4.482** ila **Şekil 4.494**'te sunulmuştur. Söz konusu şekillerde senaryo E-2 kapsamında kaldırılmış olan kolon 45 numarayla gösterilmiştir. Elemanların hasar düzeyleri ise **Tablo 4.154** ve **Tablo 4.155**'te açıklanmıştır.



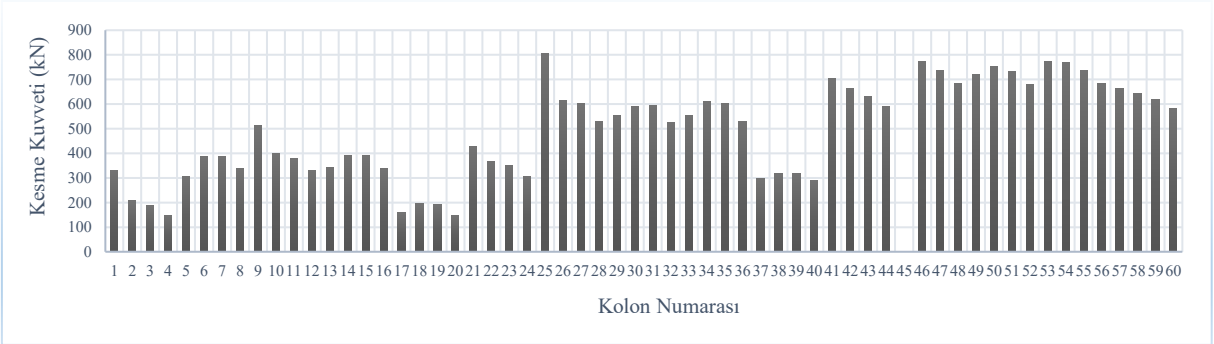
Şekil 4.482: Senaryo E-2'te kolonların maksimum eksenel kuvvetleri (kN).



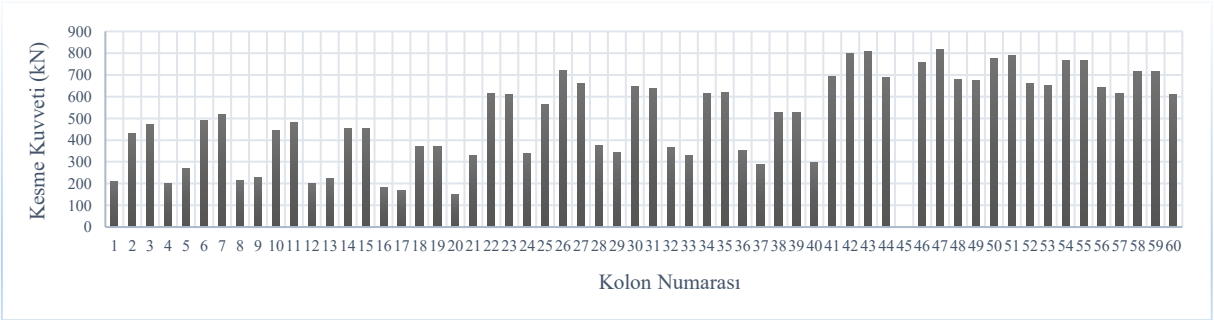
Şekil 4.483: Senaryo E-2'te kolonların X yönünde maksimum momentleri (kN.m).



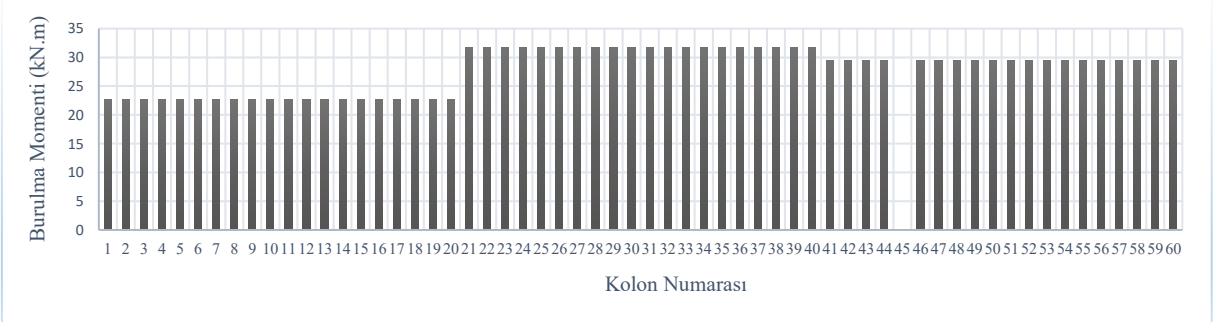
Şekil 4.484: Senaryo E-2'te kolonların Y yönünde maksimum momentleri (kN.m).



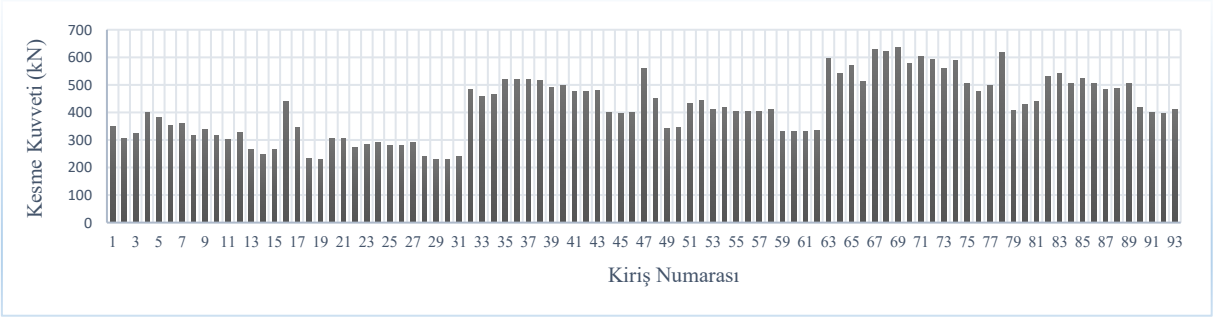
Şekil 4.485: Senaryo E-2'te kolonların X yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).



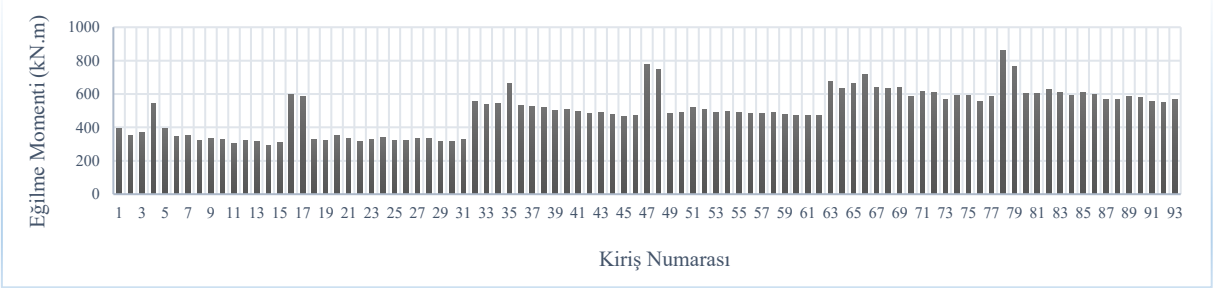
Şekil 4.486: Senaryo E-2'te kolonların Y yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).



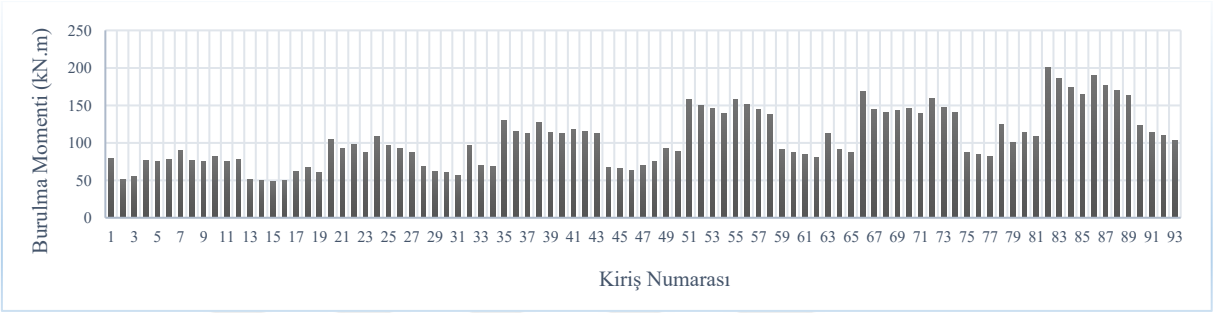
Şekil 4.487: Senaryo E-2'te kolonların maksimum burulma momentleri (kN.m).



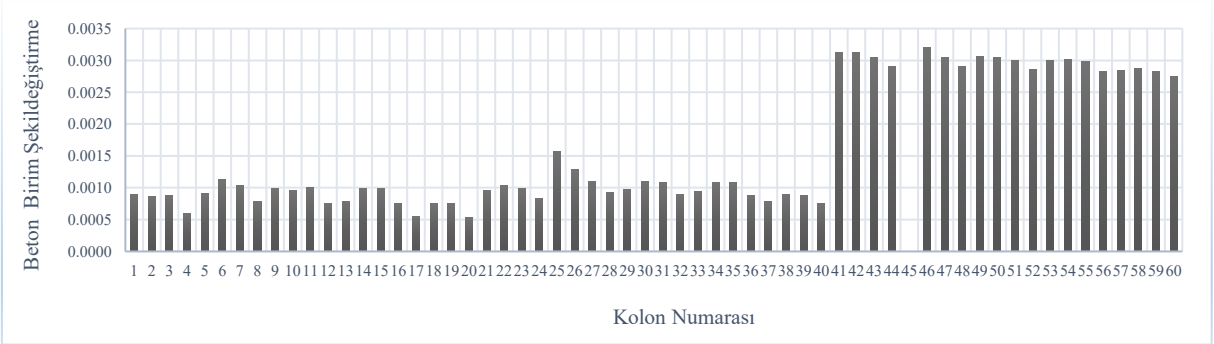
Şekil 4.488: Senaryo E-2'te kirişlerin maksimum kesme kuvvetleri (kN).



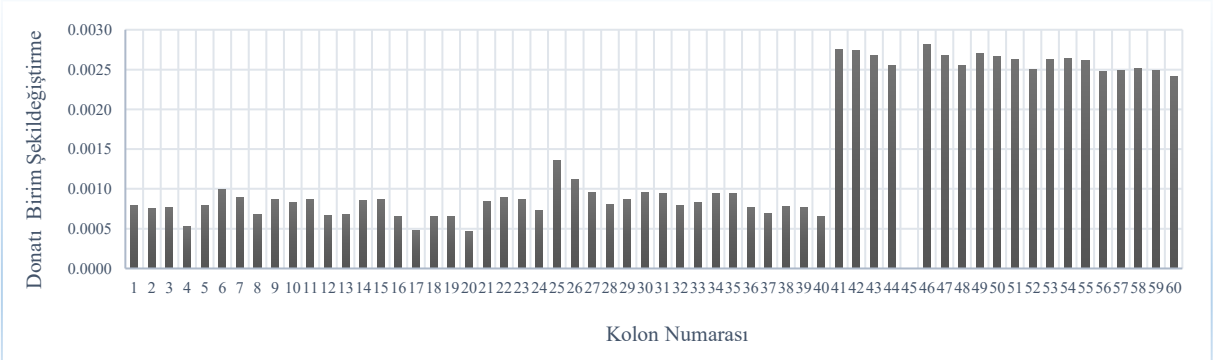
Şekil 4.489: Senaryo E-2'te kirişlerin maksimum eğilme momentleri (kN.m).



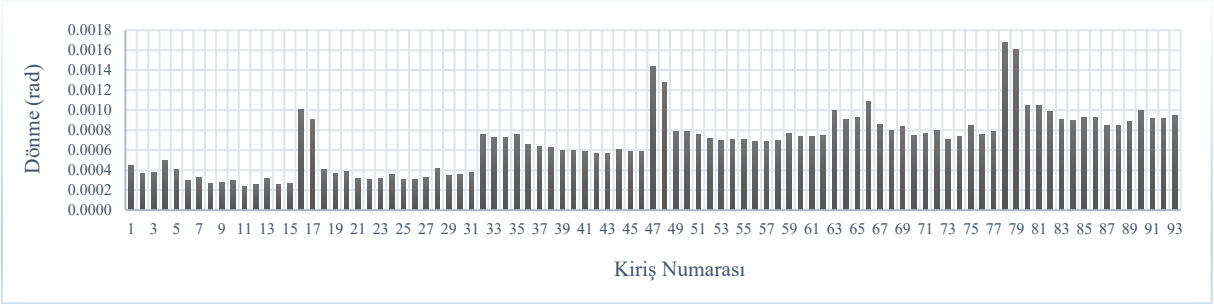
Şekil 4.490: Senaryo E-2'te kirişlerin maksimum burulma momentleri (kN.m).



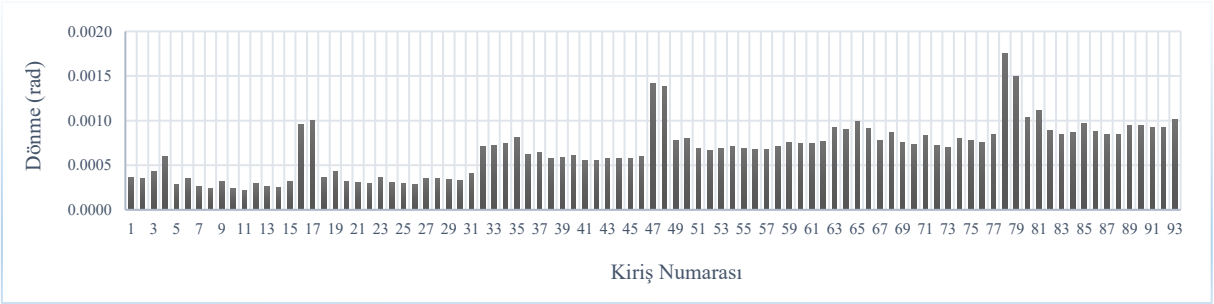
Şekil 4.491: Senaryo E-2'te kolon kesitlerinin betonunda maksimum birim şekildeğiştirme değerleri.



Şekil 4.492: Senaryo E-2'te kolon kesitlerinin donatısında maksimum birim şekildeğiştirme değerleri.



Şekil 4.493: Senaryo E-2'te kiriş kesitlerinin I ucunda maksimum dönme değerleri (rad).



Şekil 4.494: Senaryo E-2'te kiriş kesitlerinin J ucunda maksimum dönme değerleri (rad).

Tablo 4.154: Senaryo E-2'de kirişlerin hasar bölgeleri.

Kat	Kiriş sayısı					
	Sınırlı hasar	Belirgin hasar	İleri hasar	Göçme	Gevrek kırılma	Toplam
3	0	31	0	0	0	31
2	0	31	0	0	0	31
1	0	31	0	0	0	31

Tablo 4.155: Senaryo E-2'de kolonların hasar bölgeleri.

Kat	Kolon sayısı					
	Sınırlı hasar	Belirgin hasar	İleri hasar	Göçme	Gevrek kırılma	Toplam
3	20	0	0	0	0	20
2	20	0	0	0	0	20
1	0	19	0	1	0	20

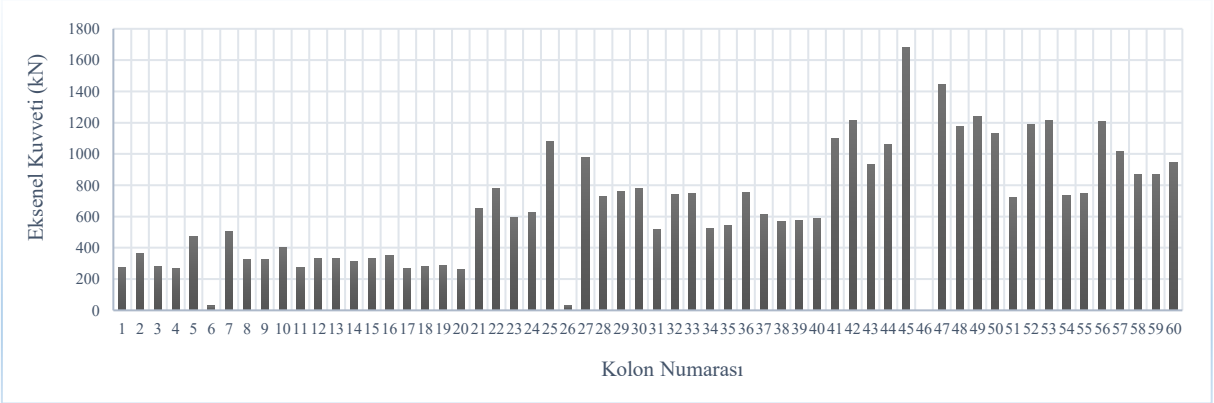
4.5.4. Senaryo E-3 Analiz Sonuçları

İlk katta yer alan tek bir iç kolon kaybı senaryosu için kolon kaybı **Tablo 4.156**'da gelen iç kuvvetler ve kütle ile simüle edilmiştir. Söz konusu kolonun ortadan kalkma süresi 0.05 saniye olarak ayarlanmıştır.

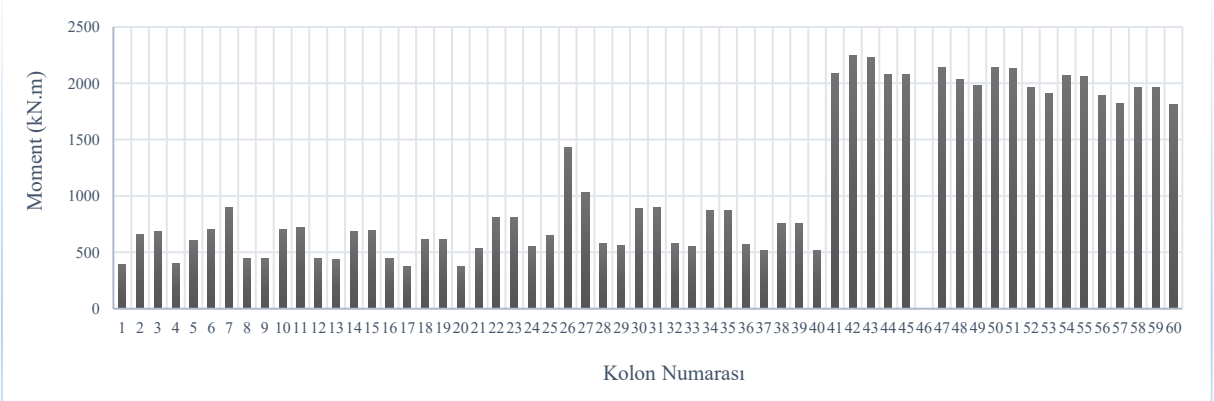
Tablo 4.156: Senaryo E-3'te kolonun sayısal simülasyonu.

P (kN)	M_x (kN.m)	M_y (kN.m)	V_x (kN)	V_y (kN)	Kütle (ton)
732	1988	2268	673	732	13.87

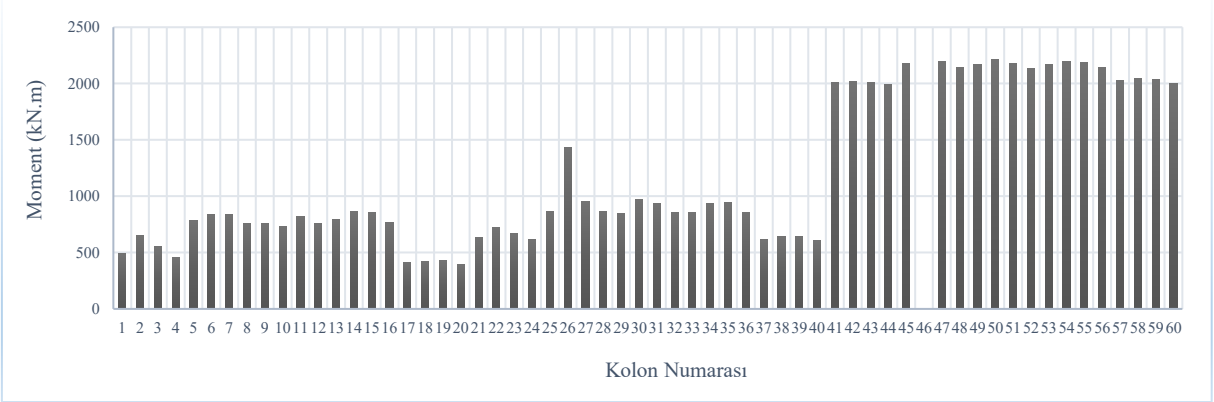
Senaryo E-3'e ait analiz sonuçları **Şekil 4.495** ila **Şekil 4.507**'de sunulmuştur. Söz konusu şekillerde senaryo E-3 kapsamında kaldırılmış olan kolon 46 numarayla gösterilmiştir. Elemanların hasar düzeyleri ise **Tablo 4.157** ve **Tablo 4.158**'de açıklanmıştır.



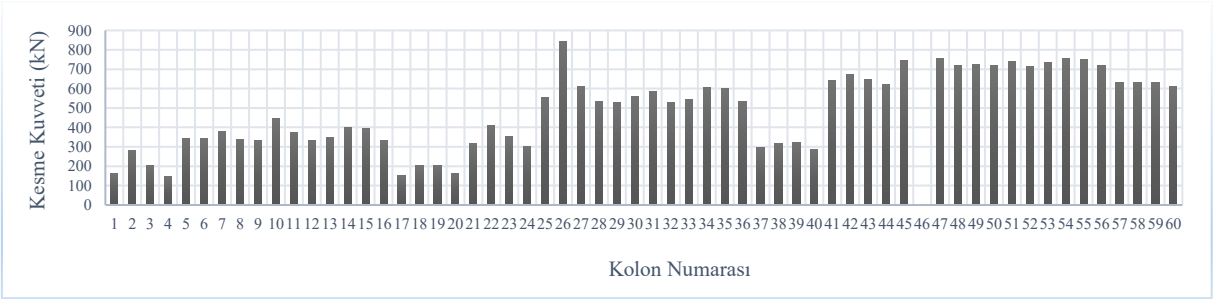
Şekil 4.495: Senaryo E-3'te kolonların maksimum eksenel kuvvetleri (kN).



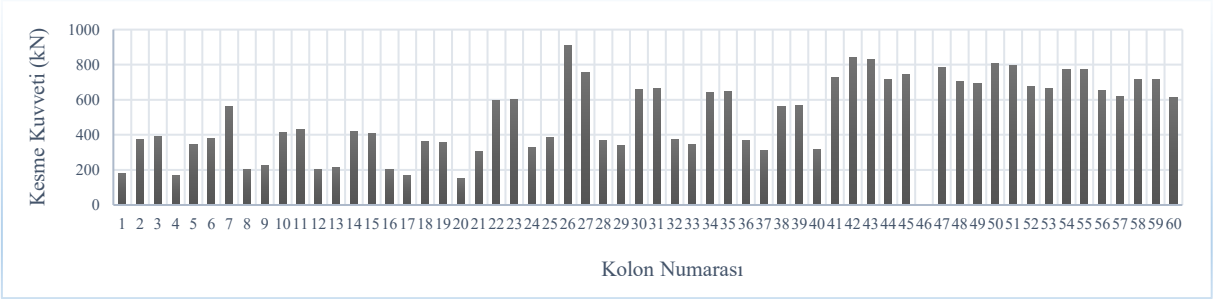
Şekil 4.496: Senaryo E-3'te kolonların X yönünde maksimum momentleri (kN.m).



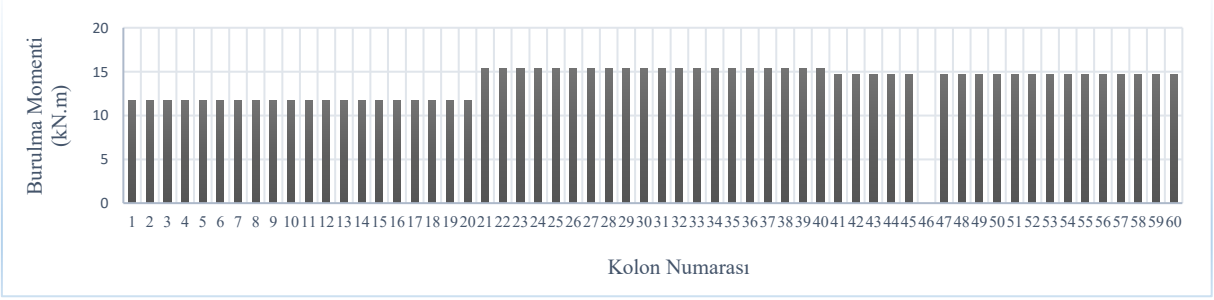
Şekil 4.497: Senaryo E-3'te kolonların Y yönünde maksimum momentleri (kN.m).



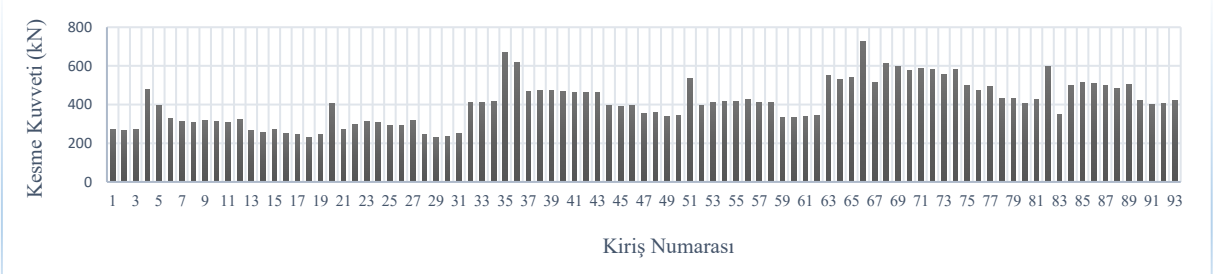
Şekil 4.498: Senaryo E-3'te kolonların X yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).



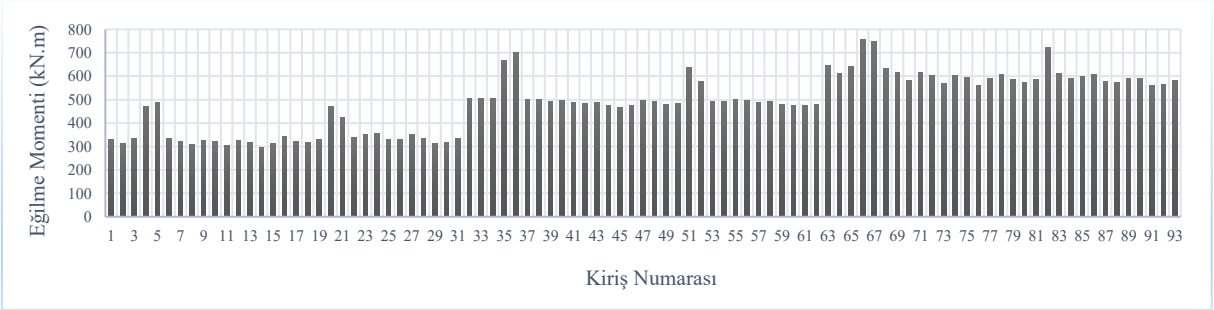
Şekil 4.499: Senaryo E-3'te kolonların Y yönünde maksimum kesme kuvvetleri (kN).



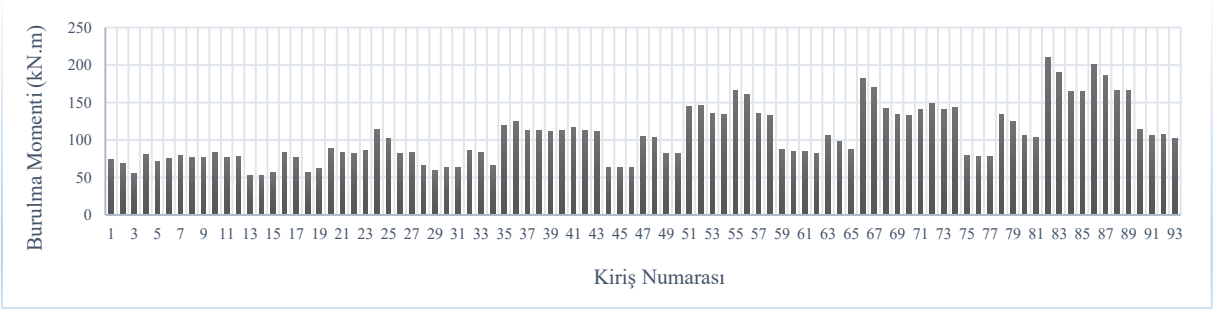
Şekil 4.500: Senaryo E-3'te kolonların maksimum burulma momentleri (kN.m).



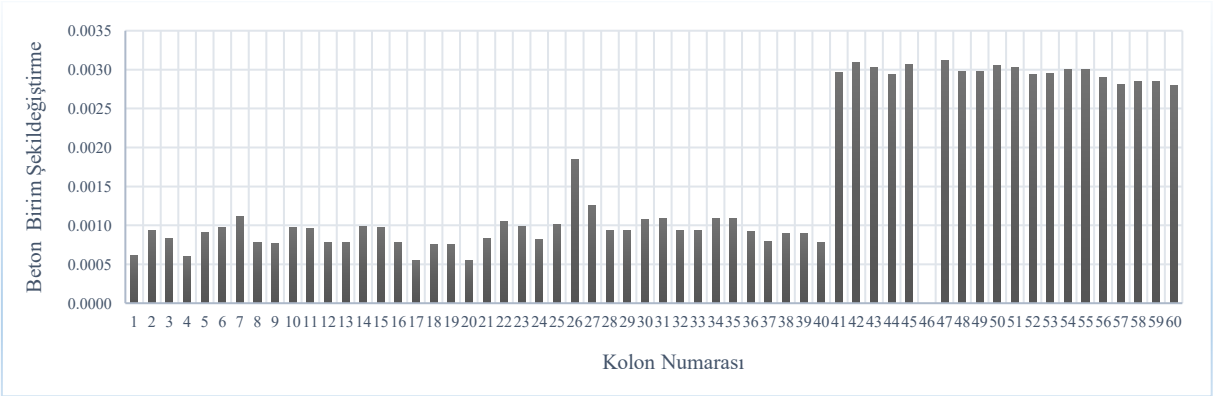
Şekil 4.501: Senaryo E-3'te kirişlerin maksimum kesme kuvvetleri (kN).



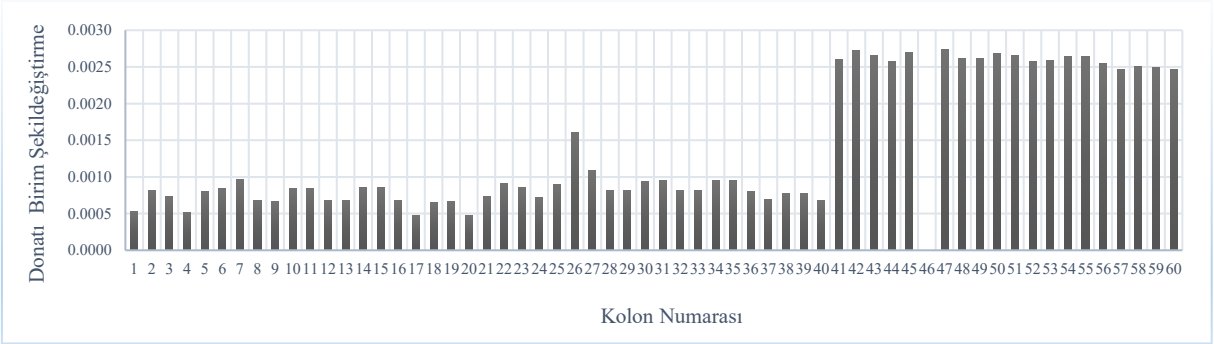
Şekil 4.502: Senaryo E-3'te kirişlerin maksimum eğilme momentleri (kN.m).



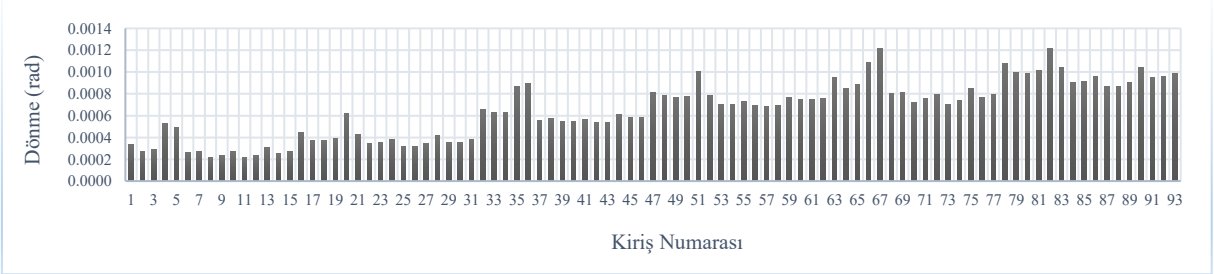
Şekil 4.503: Senaryo E-3'te kirişlerin maksimum burulma momentleri (kN.m).



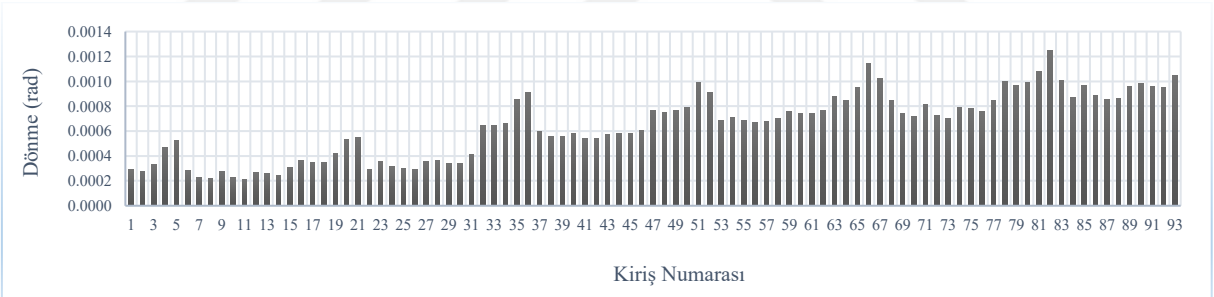
Şekil 4.504: Senaryo E-3'te kolon kesitlerinin betonunda maksimum birim şekildeğiştirme değerleri.



Şekil 4.505: Senaryo E-3'te kolon kesitlerinin donatısında maksimum birim şekildeğiştirme değerleri.



Şekil 4.506: Senaryo E-3'te kiriş kesitlerinin I ucunda maksimum dönme değerleri (rad).



Şekil 4.507: Senaryo E-3'te kiriş kesitlerinin J ucunda maksimum dönme değerleri (rad).

Tablo 4.157: Senaryo E-3'te kirişlerin hasar bölgeleri.

Kat	Kiriş sayısı					
	Sınırlı hasar	Belirgin hasar	İleri hasar	Göçme	Gevrek kırılma	Toplam
3	0	31	0	0	0	31
2	0	31	0	0	0	31
1	0	31	0	0	0	31

Tablo 4.158: Senaryo E-3'te kolonların hasar bölgeleri.

Kat	Kolon sayısı					
	Sınırlı hasar	Belirgin hasar	İleri hasar	Göçme	Gevrek kırılma	Toplam
3	20	0	0	0	0	20
2	20	0	0	0	0	20
1	0	19	0	1	0	20

5. TARTIŞMA

Bu bölüm altında önceki bölümde sunulan bulgular her bir senaryo için modelin genel performans üzerinden ve eleman bazında, kontrol modelleri ve diğer alakalı senaryolar ile karşılaştırılmalı olarak tartışılacaktır. Amaç çeşitli parametreler ve senaryoların, aşamalı göçme potansiyeli üzerindeki etkisini söz konusu bulgular ışığında yorumlamaktır.

5.1. DÖŞEME KALINLIĞI

Bölüm 3.1.5'te açıklandığı üzere bu çalışma kapsamında döşeme kalınlığının aşamalı göçme potansiyeli üzerindeki etkisini incelemek amacıyla çeşitli senaryolar için plak döşemeler üç farklı kalınlıkta modellenmişlerdir. **Tablo 5.1**'de döşeme kalınlığı incelemesi ile alakalı senaryolar özetlenmiştir.

Tablo 5.1: Döşeme kalınlığı etkisi senaryoları.

Senaryo No	Döşeme kalınlığı (cm)	Kaldırılan kolon konumu	Kolon Performansı	Model
A-1	15	Kat 1; Köşe	Kat 1; 3 SH ve 16 BH	Model A
A-2	12	Kat 1; Köşe	Kat 1; 5 SH ve 14 BH	Model A
A-3	18	Kat 1; Köşe	Kat 1; 1 SH ve 18 BH	Model A
A-6	15	Kat 1; Kenar orta kolon	Kat 1; 19 BH	Model A
A-7	12	Kat 1; Kenar orta kolon	Kat 1; 3 SH ve 16 BH	Model A
A-8	18	Kat 1; Kenar orta kolon	Kat 1; 19 BH	Model A
A-11	15	Kat 1; İç kolon	Kat 1; 19 BH	Model A
A-12	12	Kat 1; İç kolon	Kat 1; 2 SH ve 17 BH	Model A
A-13	18	Kat 1; İç kolon	Kat 1; 19 BH	Model A

Tablo 5.1'den anlaşıldığı üzere senaryo A-1, A-2 ve A-3 bilinci katta köşe kolonun kaldırılması durumunu incelemeyi hedefleyerek döşeme kalınlığının da etkisini Model A'ya yansıtmışlardır.

Ancak senaryo A-1'de birinci katta 3 kolon "Sınırlı Hasar" bölgesinde ve 16 kolon "Belirgin Hasar" bölgesindeyken, senaryo A-2'de 5 kolon "Sınırlı Hasar" bölgesinde ve 14 kolon "Belirgin Hasar" bölgesinde kalmışlardır. Bu olgunun tam tersine senaryo A-3'te 1 kolon "Sınırlı Hasar" bölgesinde ve 18 kolon "Belirgin Hasar" bölgesinde kalmışlardır. Senaryo A-2'de modelin genel performansının iyileşmesinin sebebi ve senaryo A-3'te buna ters olarak performansın düşmesinin sebebi ise sırasıyla döşeme kalınlığına bağlı olarak sabit yükün azalması ve artmasıdır. Zira döşemelerin kalınlığı arttıkça birinci katta yer alan kolonlar daha çok zorlanmışlardır. Bu tespit birinci kat kolonların birim şekildeğiştirmelerinin senaryolar arasında karşılaştırılmasıyla ispatlanmıştır ve hesaplara dayanarak senaryo A-1'den senaryo A-2'ye geçerek kolon birim şekildeğiştirmelerinde, beton ve donatı için ortalama %4 düşüş kaydedilmiştir. Bu oran senaryo A-1'den senaryo A-3'e geçerek kolon birim şekildeğiştirmelerinde, beton ve donatı için ortalama %3.5 artış olarak hesaplanmıştır.

Tablo 5.1'den anlaşıldığı üzere senaryo A6, A-7 ve A-8 bilinci katta kenar orta kolonun kaldırılması durumunu incelemeyi hedefleyerek döşeme kalınlığının da etkisini Model A'ya yansıtmışlardır. Ancak senaryo A-6'da birinci katta tüm kolonlar olmak üzere 19 kolon "Belirgin Hasar" bölgesindeyken, senaryo A-7'de 3 kolon "Sınırlı Hasar" bölgesinde ve 16 kolon "Belirgin Hasar" bölgesinde kalmışlardır. Bunun yan sıra senaryo A-8'de tekrar tüm kolonlar olmak üzere 19 kolon "Belirgin Hasar" bölgesinde kalmışlardır. Senaryo A-7'de modelin genel performansının iyileşmesinin sebebi ve senaryo A-8'te buna ters olarak performansın düşmesinin sebebi ise sırasıyla döşeme kalınlığına bağlı olarak sabit yükün azalması ve artmasıdır. Zira döşemelerin kalınlığı arttıkça birinci katta yer alan kolonlar daha çok zorlanmışlardır. Bu tespit birinci kat kolonların birim şekildeğiştirmelerinin senaryolar arasında karşılaştırılmasıyla ispatlanmıştır ve hesaplara dayanarak senaryo A-6'dan senaryo A-7'ye geçerek kolon birim şekildeğiştirmelerinde, beton ve donatı için ortalama %4 düşüş kaydedilmiştir. Bu oran senaryo A-6'dan senaryo A-8'e geçerek kolon birim şekildeğiştirmelerinde, beton ve donatı için ortalama %3.5 artış olarak hesaplanmıştır.

Tablo 5.1'den anlaşıldığı üzere senaryo A-11, A-12 ve A-13 bilinci katta iç kolonun kaldırılması durumunu incelemeyi hedefleyerek döşeme kalınlığının da etkisini Model A'ya yansıtmışlardır. Ancak senaryo A-11'de birinci katta tüm kolonlar olmak üzere 19 kolon "Belirgin Hasar" bölgesindeyken, senaryo A-12'de 2 kolon "Sınırlı Hasar" bölgesinde ve 17 kolon "Belirgin Hasar" bölgesinde kalmışlardır. Bunun yan sıra senaryo A-13'te tekrar tüm kolonlar olmak üzere 19 kolon "Belirgin Hasar" bölgesinde kalmışlardır. Senaryo A-12'de

modelin genel performansının iyileşmesinin sebebi ve senaryo A-13'te buna ters olarak performansın düşmesinin sebebi ise sırasıyla döşeme kalınlığına bağlı olarak sabit yükün azalması ve artmasıdır. Zira döşemelerin kalınlığı arttıkça birinci katta yer alan kolonlar daha çok zorlanmışlardır. Bu tespit birinci kat kolonların birim şekildeğiştirmelerinin senaryolar arasında karşılaştırılmasıyla ispatlanmıştır ve hesaplara dayanarak senaryo A-11'den senaryo A-12'e geçerek kolon birim şekildeğiştirmelerinde, beton ve donatı için ortalama %4 düşüş kaydedilmiştir. Bu oran senaryo A-11'den senaryo A-13'e geçerek kolon birim şekildeğiştirmelerinde, beton ve donatı için ortalama %3.2 artış olarak hesaplanmıştır.

5.2. KİRİŞ KAPASİTESİ

Bölüm 3.1.6'da açıklandığı üzere bu çalışma kapsamında kiriş kapasitesinin aşamalı göçme potansiyeli üzerindeki etkisini incelemek amacıyla çeşitli senaryolar için üç farklı boyuna donatı oranı daha ele alınmıştır. **Tablo 5.2**'de kiriş kapasitesi incelemesi ile alakalı senaryolar özetlenmiştir.

Tablo 5.2: Kiriş kapasitesi etkisi senaryoları.

Senaryo No	Donatı	Kaldırılan kolon konumu	Kolon Performansı	Model
A-1	4Ø14	Kat 1; Köşe	Kat 1; 3 SH ve 16 BH	Model A
A-4	4Ø16	Kat 1; Köşe	Kat 1; 2 SH ve 17 BH	Model A
A-5	4Ø18	Kat 1; Köşe	Kat 1; 1 SH ve 18 BH	Model A
A-6	4Ø14	Kat 1; Kenar orta kolon	Kat 1; 19 BH	Model A
A-9	4Ø16	Kat 1; Kenar orta kolon	Kat 1; 19 BH	Model A
A-10	4Ø18	Kat 1; Kenar orta kolon	Kat 1; 19 BH	Model A
A-11	4Ø14	Kat 1; İç kolon	Kat 1; 19 BH	Model A
A-14	4Ø16	Kat 1; İç kolon	Kat 1; 19 BH	Model A
A-15	4Ø18	Kat 1; İç kolon	Kat 1; 19 BH	Model A

Tablo 5.2'den anlaşıldığı üzere senaryo A-1, A-4 ve A-5 birinci katta köşe kolonun kaldırılması durumunu incelemeyi hedefleyerek kiriş kapasitesinin de etkisini Model A'ya yansıtmışlardır. Ancak senaryo A-1'de birinci katta 3 kolon "Sınırlı Hasar" bölgesinde ve 16 kolon "Belirgin Hasar" bölgesindeyken senaryo A-4 ve A-5'te sırasıyla 1 ve 2 kolon daha kolon "Belirgin Hasar" bölgesine dahil olmuştur. Bunun nedeni ise senaryo A-4 ve A-5'te kirişlerin boyuna donatı oranı artmasıyla daha rijit hale gelmesidir. Zira kirişlerin rijitliği arttıkça birinci katta yer alan kolonlar daha çok zorlanmışlardır. Bu tespit birinci kat kolonların birim şekildeğiştirmelerinin senaryolar arasında karşılaştırılmasıyla ispatlanmıştır ve hesaplara dayanarak senaryo A-1'den senaryo A-4'e geçerek kolon birim şekildeğiştirmelerinde, beton ve donatı için ortalama %0.16 artış kaydedilmiştir. Bu oran senaryo A-1'den senaryo A-5'e geçerek kolon birim şekildeğiştirmelerinde, beton için %0.35 ve donatı için %0.34 olarak hesaplanmıştır. Senaryolar arasındaki birim şekildeğiştirme artış oranlarının küçük olmasına rağmen kolonların "Sınırlı Hasar" bölgesinden "Belirgin Hasar" bölgesine geçmelerin sebebiyse Model A'nın birinci katında yer alan iki kolonun senaryo A-1'de tam sınır değerlere sahip olmasıdır. Söz konusu kolonlardan birisi Model A'da C20 (graflarda 60 numaraya sahip kolon) kolondur ki senaryo A-1'de beton birim şekildeğiştirmesi 0.002495714 (<0.0025) değerine sahip olmuşken senaryo A-4'te 0.002502143 (>0.0025) değerine ulaşarak "Belirgin Hasar" bölgesine geçmiştir. İkinci kolon ise Model A'da C18 (graflarda 58 numaraya sahip kolon) kolondur ki senaryo A-1'de beton birim şekildeğiştirmesi 0.002490857 (<0.0025) değerine sahip olmuşken senaryo A-5'te 0.002501286 (>0.0025) değerine ulaşarak "Belirgin Hasar" bölgesine geçmiştir.

Tablo 5.2'den anlaşıldığı üzere senaryo A-6, A-9 ve A-10 bilinci katta kenar orta kolonun kaldırılması durumunu incelemeyi hedefleyerek kiriş kapasitesinin de etkisini Model A'ya yansıtmışlardır. Ancak söz konusu her üç senaryo içinde birinci katta yer alan kolonların hepsi olmak üzere "Belirgin Hasar" bölgesinde yer almışlardır. Bunun nedeniyse Senaryo A-6'da kenar orta kolonun kaldırılmasıyla tüm birinci kat kolonların "Belirgin Hasar" bölgesine geçmesi ve devamında senaryo A-9 ve senaryo A-10'da kiriş kapasitesinin artırılması neticesinde kirişlerin rijitliğinin artmasıyla kolonların daha da zorlanmış olmasıdır. Zira hesaplara dayanarak senaryo A-6'dan senaryo A-9'a geçerek beton ve donatı kolon birim şekildeğiştirme değerlerinde ortalama %0.14 artış kaydedilmiştir. Bu olguya uyumlu şekilde senaryo A-6'dan senaryo A-10'a geçerek beton ve donatı kolon birim şekildeğiştirme

değerlerinde ortalama 0.32 artış tespit edilmiştir. Böylece kirişlerin kapasitesinin artmasıyla birinci katta yer alan kolonlar "Belirgin Hasar" bölgesinde almışlardır.

Tablo 5.2'den anlaşıldığı üzere senaryo A-11, A-14 ve A-15 bilinci katta iç kolonun kaldırılması durumunu incelemeyi hedefleyerek kiriş kapasitesinin de etkisini Model A'ya yansıtmışlardır. Ancak söz konusu her üç senaryo içinde birinci katta yer alan kolonların hepsi olmak üzere "Belirgin Hasar" bölgesinde yer almışlardır. Dolayısıyla ilk katta tek bir iç kolon kaybı senaryolarında da kiriş kapasitesini artırmak performansı iyileştirememiştir. Başka bir değişle senaryo A-6, A-9 ve A-10'da ortaya çıkan olgu senaryo A-11, A-14 ve A-15'te de tekrarlanmıştır.

5.3. KOLON KONUMU ve SAYISI

Tablo 3.15'te açıklandığı üzere bu çalışma kapsamında aşamalı göçmenin başlangıç sebebi olan kolonun plandaki konumunun ve kaldırılan kolon sayısının etkisini incelemek amacıyla çeşitli senaryolar simüle edilmiştir. **Tablo 5.3**'te kolon konumu ve sayısı etkisi incelemesi ile alakalı senaryolar özetlenmiştir.

Tablo 5.3: Kolon konumu ve sayısı etkisi senaryoları.

Senaryo No	Kaldırılan kolon konumu	Kolon Performansı	Kaldırılan kolon sayısı
Kontrol modeli	-	Kat 1; 14 SH ve 6 BH	-
A-1	Köşe	Kat 1; 3 SH ve 16 BH	1
A-6	Kenar orta	Kat 1; 19 BH	1
A-11	İç	Kat 1; 19 BH	1
A-16	Köşe + Kenar orta	Kat 1; 18 BH	2
A-17	Köşe + 2 Kenar orta	Kat 1; 17 BH	3
A-18	Köşe + 3 Kenar orta	Kat 1; 16 BH	4
A-19	Aks 1'de yer alan kolonlar	Kat 1; 15 BH 6 kolonda gevrek kırılma	5

Tablo 5.3 (devam): Kolon konumu ve sayısı etkisi senaryoları.

A-20	Kenar orta + İç	Kat 1; 18 BH	2
A-21	Kenar orta + 2 İç	Kat 1; 17 BH	3
A-22	Aks B'de yer alan kolonlar	Kat 1; 16 BH 2 kolonda gevrek kırılma	4

Tablo 5.3'ten anlaşıldığı üzere senaryo A-1, A-6 ve A-11'de tek bir kolon kaldırması altında Model A'nın aşamalı göçme potansiyeli incelenmiştir. Birinci katta yer alan kolonların performans seviyesine göre kenar orta kolon ve iç kolonun kaldırması köşe kolon kaldırmasına göre modelin performansında daha büyük etki yaratmıştır. Zira senaryo A-1'de birinci katta üç kolon "Sınırlı Hasar" ve 16 kolon "Belirgin Hasar" bölgesindeyken senaryo A-6 ve A-11'de birinci katta yer alan tüm kolonlar "Belirgin Hasar" bölgesine geçmişlerdir.

A-1, A-16, A-17, A-18 ve A-19 senaryolarında tek bir köşe kolon kaldırmasından başlayarak aks 1'de tüm yer alan 5 kolonun kaldırılmasına kadar bir süreç takip edilmiştir. Ancak birinci katta yer alan kolonların hasar bölgesine göre beklendiği üzre kaldırılan kolon sayısı artıkça aşamalı göçme riski artmıştır. Bu olgu senaryo A-6, A-20, A-21 ve A-22 kapsamında incelenen süreçte de ortaya çıkmıştır. Ancak aks 1'de dört adet kolon yer aldığından ve A-22 senaryosunda tespit edilen gevrek kolon sayısının A-19 senaryosundan daha düşük olması sebebiyle tek bir köşe kolon kaybıyla başlayıp ve hasarın ilerlediği aksta tüm kolonların kaldırıldığı süreç (A-1, A-16, A-17, A-18 ve A-19) kenar orta kolon kaybıyla başlayan süreçten (A-6, A-20, A-21 ve A-22) daha büyük göçme potansiyeli yaratabileceği aşikârdır. Bu karşılaştırmada bu sonucun, tek bir kenar orta kolon kaldırılmasının, tek bir köşe kolon kaldırılmasından daha büyük hasar yaratabileceğine rağmen vurgulanmaktadır. Dolaysıyla inceleme konusu olan modelin plan düzeni, kaldırılan kolonun konumu ve sayısı ve nihayetinde hasarın ilerleme sürecinde başlangıç kolonun konumu ve aksta yer alan kolon sayısı hepsi bir etkileşim içindedir. Başka bir değişle söz konusu parametrelerin hangisinin öne çıkacağına göre aşamalı göçme potansiyeli değerlendirmesinin sonucu değişebilir.

5.4. KOMŞU ELEMANLAR

Bu bölüm başlığı altında A-1 ila A-15 kolon kaldırma senaryoları sonucunda komşu kolon ve kiriş elemanlarında tespit edilen iç kuvvet, şekil değiştirme ve dönme değişimleri karşılaştırmalı olarak tartışılmıştır. **Tablo 5.4** ve **Tablo 5.5**'te sunulan tüm veriler yüzde cinsinden ifade edilmiştir; pozitif değerler artışı, negatif değerler ise azalmayı temsil etmektedir.

Tablo 5.4: Komşu kolonların çeşitli kolon kaldırma senaryolarında değişimleri.

Senaryo	Kolon	P (%)	M2 (%)	M3 (%)	V2 (%)	V3 (%)	T (%)	ε_c	ε_s
A-1	42	255	15	-6	6	19	57825	15	16
	45	110	7	-6	-0.3	9	57825	10	11
A-2	42	235	12	-10	-2	13	57563	10	11
	45	99	2	-10	-6	0.3	57563	5	6
A-3	42	280	17	-2	14	24	58000	18	19
	45	127	11	3	6	17	58000	14	15
A-4	42	255	15	-6	6	19	57964	16	15
	45	110	7	-6	-0.14	9	57964	10	11
A-5	42	255	15	-6	6	19	58266	15	15
	45	110	7	-6	0	9	58266	11	11
A-6	41	92	12	-2	24	13	41834	16	16
	46	221	8	-0.4	6	10	41834	10	11
	49	80	4	3	8	6	41834	10	11
A-7	41	84	8	-6	17	6	38867	12	12
	46	187	3	-5	-3	1	38867	5	6

Tablo 5.4 (devam): Komşu kolonların çeşitli kolon kaldırma senaryolarında değişimleri.

	49	67	0.06	-1	1	-2	38867	6	6
A-8	41	104	14	0.7	31	18	43720	19	20
	46	263	12	4	15	19	43720	15	15
	49	95	9	6	14	15	43720	14	14
A-9	41	92	12	-2	24	13	41853	16	16
	46	221	8	-0.5	6	10	41853	10	11
	49	79	5	3	8	6	41853	10	11
A-10	41	92	12	-2	24	13	41959	16	17
	46	220	8	0.04	6	11	41959	10	11
	49	79	5	3	8	6	41959	10	11
A-11	42	41	8	-4	14	12	17195	13	13
	45	40	10	-0.7	5	21	17195	11	11
	47	97	7	-1	4	11	17195	10	10
	50	55	4	0.1	3	6	17195	8	8
A-12	42	29	3	-8	7	4	16328	9	9
	45	28	6	-5	-2	13	16328	7	7
	47	83	2	-6	-6	3	16328	5	5
	50	44	-1	-5	-5	-2	16328	3	3
A-13	42	62	13	-0.2	23	19	17248	17	17
	45	52	15	3	11	29	17248	15	15

Tablo 5.4 (devam): Komşu kolonların çeşitli kolon kaldırma senaryolarında değişimleri.

	47	112	11	12	12	19	17248	14	14
	50	64	8	4	11	15	17248	12	12
A-14	42	41	8	-4	15	12	17207	13	13
	45	40	10	-1	5	21	17207	11	11
	47	97	7	-1	4	11	17207	10	10
	50	55	4	0	3	6	17207	8	8
A-15	42	41	8	-4	15	12	17235	13	13
	45	39	10	-1	5	21	17235	11	12
	47	97	7	-1	4	11	17235	10	10
	50	55	4	0	4	6	17235	8	8

Tablo 5.5: Komşu kirişlerin çeşitli kolon kaldırma senaryolarında değişimleri.

Senaryo	Kiriş	V2 (%)	T (%)	M3 (%)	I ucunda dönme değeri (%)	J ucunda dönme değeri (%)
A-1	63	24	11	57	101	84
	78	10	-6	37	66	57
A-2	63	21	-10	60	117	103
	78	6	-15	38	76	70
A-3	63	27	38	53	84	63
	78	15	32	35	55	43
A-4	63	24	11	57	88	69
	78	10	-6	37	53	42

Tablo 5.5 (devam): Komşu kirişlerin çeşitli kolon kaldırma senaryolarında değişimleri.

A-5	63	24	11	57	73	54
	78	10	-6	37	37	27
A-6	66	-5	7	26	61	39
	78	75	5	64	93	112
	79	18	-17	48	103	76
A-7	66	-11	-36	26	74	53
	78	51	-38	63	107	123
	79	8	-33	47	112	86
A-8	66	0.8	54	25	45	22
	78	96	55	63	75	95
	79	28	31	47	91	62
A-9	66	-5	7	26	46	23
	78	75	1	64	79	97
	79	18	-17	48	87	61
A-10	66	-5	7	26	30	6
	78	75	5	64	63	81
	79	18	17	48	71	45
A-11	66	23	17	27	45	73
	67	1	13	38	100	60
	82	31	17	24	41	48

Tablo 5.5 (devam): Komşu kirişlerin çeşitli kolon kaldırma senaryolarında değişimleri.

	83	-14	10	19	55	33
A-12	66	19	-31	32	64	91
	67	-2	-30	43	121	80
	82	18	-26	27	60	59
	83	-22	-30	17	69	46
A-13	66	32	66	21	27	54
	67	6	62	35	76	40
	82	43	58	23	24	33
	83	-9	47	15	42	16
A-14	66	28	17	27	30	58
	67	1	13	38	84	45
	82	31	17	24	25	33
	83	-14	9	18	38	17
A-15	66	28	17	27	15	41
	67	1	13	38	66	28
	82	31	17	24	8	16
	83	-14	9	18	19	-1

5.4.1. A-1 ila A-5 Senaryolarında Komşu Kolon Davranışı

Köşe kolonun kaldırılması senaryolarında, komşu kolonlarda eksenel kuvvetlerin ortalama %99 ila %280 oranında arttığı tespit edilmiştir. Bu artış, yük yolunun önemli bir kısmının başarılı bir şekilde kaldırılan kolona en yakın iki komşu kolona aktarıldığını göstermektedir. Eğilme momentlerinde, özellikle Yön-2 doğrultusunda (M2) %2 ila %17 oranında artışlar gözlenirken,

Yön-3 yönünde (M3) yer yer %10 ve %10'un altında azalmalar tespit edilmiştir. Kesme kuvvetlerinin her iki yönü için en büyük artış %24 oranında kaydedilmiştir. Buna yan sıra burulma momenti değerlerinde (T) oldukça yüksek artışlar kaydedilmiştir. Bu durum, köşe bölgesindeki moment aktarımının ani yön değiştirmesi sonucu bağlantı noktalarında torsiyonel deformasyonların ve sünek davranış taleplerinin arttığını göstermektedir. Beton birim şekildeğiştirmeleri %5 ila %18 oranında ve donatı çeliği birim şekildeğiştirmeleri ise %6 ila %19 oranında artmıştır. Bu komşu kolonlarda sünek deformasyon kapasitesinin zorlandığının bir işaretidir.

Dolayısıyla A-1 senaryosunda kolon 42'deki %255 gibi çok yüksek artış, bu kolonun adeta "yeni köşe kolonu" haline geldiğini ve kaldırılan kolonun neredeyse tüm düşey yükünü üstlendiğini gösterir. Bu, beton basınç kapasitesi açısından kritik bir durumdur. Döşeme kalınlığı etkisine gelince A-2 senaryosunda (12 cm) kirişler daha esnek hale gelerek yük aktarımının düştüğü tespit edilirken döşeme kalınlaştığında (A-3, 18 cm) döşeme rijitliği arttığı sebebinden dolayı ve "diyafram" etkisiyle yük aktarımı daha artmıştır. Kiriş kapasitesinin artmasıyla (A-4 & A-5) kolonlardaki iç kuvvetlerde çok belirgin bir değişiklik olmamıştır. Bu, kiriş kapasitesinin, köşe kolon kaybı senaryosunda komşu kolonlara gelen yükleri hafifletmekte yetersiz kaldığını göstermiştir.

5.4.2. A-6 ila A-10 Senaryolarında Komşu Kolon Davranışı

Kenar-orta kolonun kaldırılması senaryolarında üç komşu kolonda eksenel kuvvetlerde %67 ila 263 aralığında artışlar meydana gelmiştir. Eğilme momentlerinde Yön-2 yönünde %3–14 oranında artışlar, Yön-3 yönünde ise maksimum %6 artışlar ve düşüşler gözlenmiştir. Kesme kuvvetlerindeki artışlar Yön-2 için %31 ve Yön-3 için %19'a ulaşmıştır. Bu sonuçlar, kenar bölgesindeki yük aktarımının köşe senaryosuna kıyasla daha dengeli olduğunu, ancak özellikle orta kısımda yer alan kolonlarda ve kirişlerde burulma ve kesme taleplerinin belirgin biçimde arttığını göstermektedir. Buna ilaveten burulma momenti değerlerinde (T) oldukça yüksek artışlar kaydedilmiştir. Beton ve donatı birim şekil değiştirmelerindeki ortalama %5–20 aralığındaki artışlar, sünek deformasyon kapasitesinin zorlandığını ve bu bölgelerde ilave süneklik detaylarının gerekli olduğunu ortaya koymaktadır.

Bu senaryolarda yükler üç kolona dağılmıştır. Köşe kolon senaryosuna kıyasla daha fazla sayıda alternatif yol olduğu için, tek bir kolondaki artışlar nispeten daha düşüktür. Köşe kolon

senaryolarındaki olgu burada da devam etmiştir. Döşeme kalınlaşınca (A-8) yük aktarımı artmışken, kiriş kapasitesinin artması (A-9 ve A-10) kolon kuvvetleri çok etkilememiştir.

5.4.3. A-11 ila A-15 Senaryolarında Komşu Kolon Davranışı

İç kolon kaldırıldığı senaryolarda, yükün dört komşu kolona yayılması sonucu eksenel kuvvet artışları %28–112 aralığında kalmıştır. Bu oranlar, yük paylaşımının daha dengeli gerçekleştiğini göstermektedir. Eğilme momentlerinde Yön-2 yönünde %25–15 artışlar, Yön-3 yönünde ise %8 gibi azalmanın yan sıra %12 ile sınırlı kalmış artış tespit edilmiştir. Kesme kuvvetlerindeki artışların Yön-2'de %23 ve Yön-3'te ise %29 düzeyinde olduğu, beton ve donatı birim şekil değiştirmelerinin ise %3–17 aralığında arttığı kaydedilmiştir. Buna ilaveten önceki senaryolara ile uyumlu şekilde burulma momenti değerlerinde (T) oldukça yüksek artışlar kaydedilmiştir.

Sonuç itibariyle iç kolon kaldırma senaryolarında, yükler dört komşu kolona yayılma imkânı bulur. Bu nedenle, diğer senaryolara kıyasla en düşük kolon yük artışları bu grupta tespit edilmiştir (eksenel kuvvet artışı en fazla %112). Döşeme kalınlığının artması (A-13) iç kuvvet ve şekildeğiştirmeleri artırırken, kiriş kapasitesinin artışı (A-14, A-15) kolonlar üzerindeki etkisi sınırlı kalmıştır.

5.4.4. Komşu Kiriş Davranışı

Kirişlerde kesme kuvvetlerinde maksimum artış %96 ve maksimum azalma %38 olarak kaydedilmiştir. Burulma momentinde maksimum artış %66 ve maksimum azalma %38 olarak kaydedilmiştir. Eğilme momenti değişimleri genellikle %17–64 arasında olup, kolon kaybı sonrası kirişlerin önemli bir kısmının yük aktarımında aktif hale geldiğini göstermektedir. Kiriş uç dönmelerinde (I ve J uçları) maksimum artış %123'e ulaşmıştır. Böylece kiriş uçlarının plastik mafsallaşmaya yaklaştığını ve sistemin sünek davranış kapasitesinin bu bölgelerde yoğunlaştığını ortaya koyulmuştur.

Dolayısıyla komşu kirişler, kaldırılan kolona doğrudan bağlı olduğu için "konsol" gibi davranarak kolon kaldırmasıyla boşa düşen yükü karşılamaya çalışırlar. Zira kiriş kapasitesinin artırmasıyla kiriş ucunda dönmeler kayda değer bir düzeyde azalmıştır (A-4 & A-5, A-9 & A-10 ve A-14 ve A-15). Başka bir değişle donatı oranının artmasıyla A-4 ve A-5 senaryolarında A-1 senaryosu kıyasında, A-9 ve A-10 senaryolarında A-6 senaryosu kıyasında ve A-14 ve A-15 senaryolarında A-11 senaryosu kıyasında daha düşük kiriş ucu dönme değerleri kaydedilmiştir. Böylece kiriş kapasitesinin artırılması, kirişin üzerine gelen yük miktarını

(momenti) değiştirmez, ancak kirişin bu yüke karşı dayanımını artırır. Kapasitesi artmış kiriş, aynı yük altında daha az deforme olur (daha az döner). Bu birleşim noktalarının korunması için kritik öneme sahiptir.

Döşeme kalınlığının etkisine gelince döşemenin incelenmesiyle (A-2, A-7 ve A-12) kiriş uçlarında dönme değerleri artarken döşemenin kalınlaşmasıyla (A-3, A-8 ve A-13) kiriş uçlarında dönme değerleri azalmıştır. Bu durum, kolonlardaki durumun tersidir. Kalın döşeme, kirişlerle birlikte "T-kiriş" gibi çalışarak sistemin eğilme rijitliğini artırır. Bu sayede kirişler daha az zorlanır ve daha az döner. İnce döşeme ise bu kompozit etkiyi daha az sağlar. Bu nedenle kirişler daha fazla eğilmeye ve dönmeye zorlanır.

5.5. DÜZENSİZLİK ETKİSİ

Bu bölüm başlığı altında yapıda çeşitli düzensizliklerin kolon kaldırma senaryosunda aşamalı göçme üzerinde yarattığı etki, modelin genel performansı açısından ve eleman iç kuvvetleri üzerinden tartışılacaktır.

Tablo 5.6: Düzensizlik etkisi senaryoları.

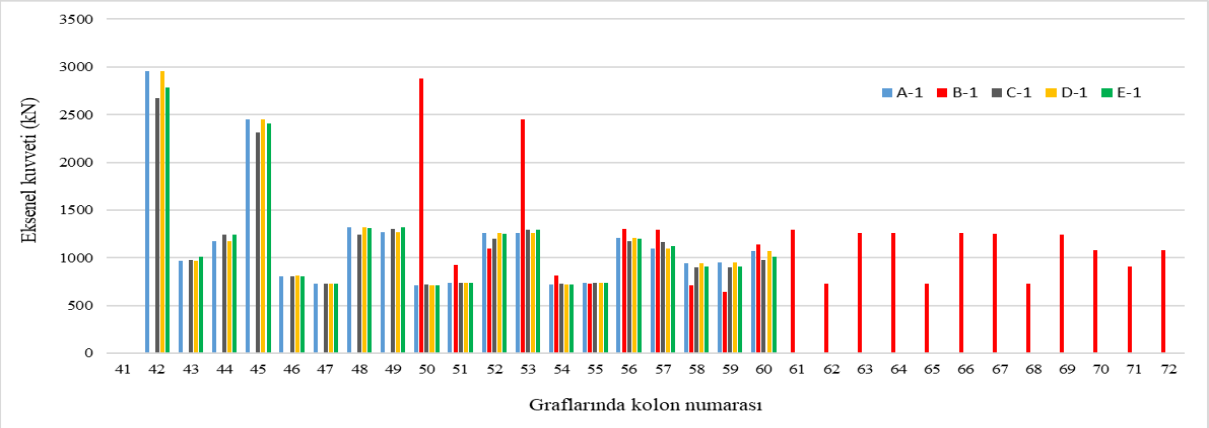
Senaryo No	Kaldırılan kolon konumu	Kolon Performansı	Toplam kolon sayısı	Düzensizlik türü
A-1 (Baza senaryosu)	Kat 1; Köşe	Kat 1; 3 SH ve 16 BH	20	-
B-1	Kat 1; Köşe	Kat 1; 5 SH ve 18 BH	24	Burulma
C-1	Kat 1; Köşe	Kat 1; 19 BH	20	Yumuşak kat
D-1	Kat 1; Köşe	Kat 1; 3 SH ve 16 BH	20	Zayıf kat
E-1	Kat 1; Köşe	Kat 1; 19 BH	20	Yumuşak ve zayıf kat
A-6 (Baza senaryosu)	Kat 1; Kenar orta kolon	Kat 1; 19 BH	20	-
B-2	Kat 1; Kenar orta kolon	Kat 1; 2 SH ve 21 BH	24	Burulma
C-2	Kat 1; Kenar orta kolon	Kat 1; 19 BH	20	Yumuşak kat
D-2	Kat 1; Kenar orta kolon	Kat 1; 19 BH	20	Zayıf kat

Tablo 5.6 (devam): Düzensizlik etkisi senaryoları.

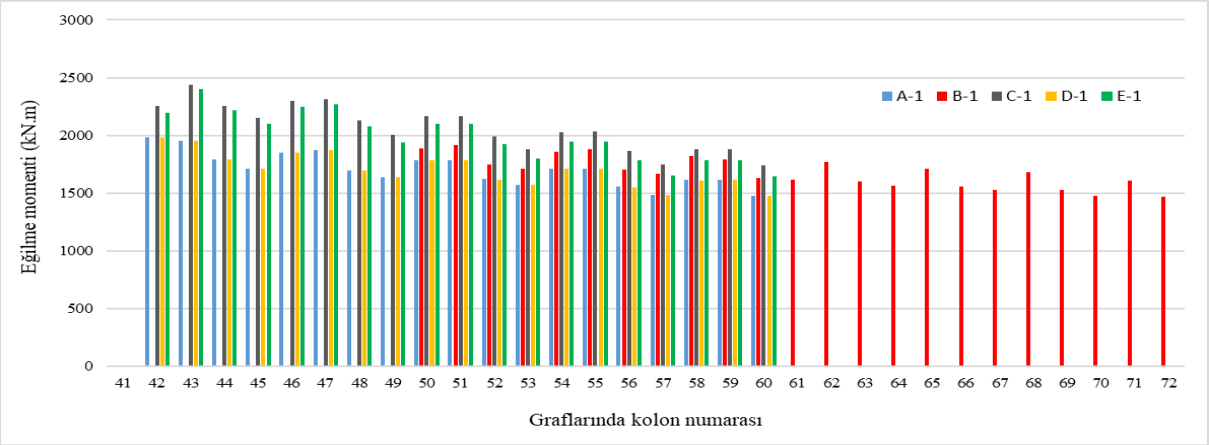
E-2	Kat 1; Kenar orta kolon	Kat 1; 19 BH	20	Yumuşak ve zayıf kat
A-11 (Baza senaryosu)	Kat 1; İç kolon	Kat 1; 19 BH	20	-
B-3	Kat 1; İç kolon	Kat 1; 1 SH ve 22 BH	24	Burulma
C-3	Kat 1; İç kolon	Kat 1; 19 BH	20	Yumuşak kat
D-3	Kat 1; İç kolon	Kat 1; 19 BH	20	Zayıf kat
E-3	Kat 1; İç kolon	Kat 1; 19 BH	20	Yumuşak ve zayıf kat

Tablo 5.6'da dört çeşit düzensizlik için, üç çeşit kolon kaldırma senaryosunda modellerin birinci kat kolonlarının performansı sunulmuştur. Ancak yapısal düzensizliklerin aşamalı göçmenin tetiklenmesinde belirleyici role sahip olmadığı anlaşılmıştır. Ancak bu sonuç modellerin vaziyetinden kaynaklanmış olabilir. Zira tüm yapısal düzensizliği sahip dört modelin kontrol modelleri (kolon kaldırılmamış baza model) düzensizliğe rağmen doğrusal olmayan analizler sonuçlarına göre DD-2 deprem yer hareketi düzeyinde "Kontrollü Hasar" performans hedefini sağlamışlardır. Dolayısıyla baza modeller düzensizliğe sahip olmakla beraber yeterli performans düzeyine sahip olduklarından dolayı, kolon kaybı senaryosunda yeni yük düzenini yapı içinde dengelemeye başarmışlardır. Böylece söz konusu modeller ile gerçekleşen analizlerde düzensizlik etkisinin gözlemi bilimsel açıdan doğru şekilde gerçekleştirmiş olmakla beraber sınırlı kalmıştır. Bunu kanıtlayan bir diğer sebepte modellerde (bilhassa Model B; burulma düzensizliğe sahip model) düzensizlik derecesinin yapının genel performansını olumsuz etkilemeyecek derecede sınırlı kalmasıdır. Ancak aşamalı göçme potansiyelini incelemek adına gerçekleşen bir çalışmada ilk adımda baza modelin yeterli performans düzeyine sahip olması beklenmektedir.

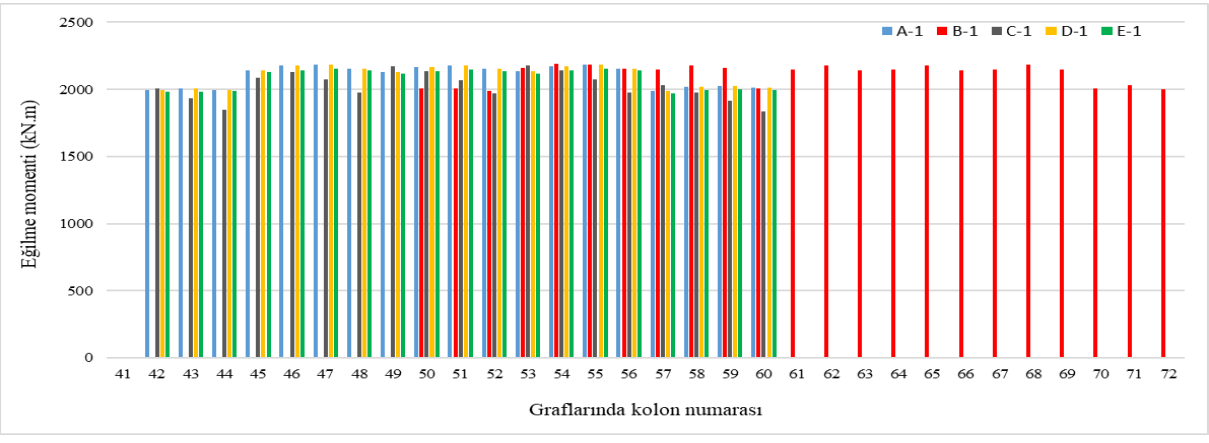
Düzensizlik etkisini aşamalı göçme potansiyeli üzerinde incelemek amacıyla **Tablo 5.6**'da özetlenen senaryolarda modellerin ilk katta yer alan kolon iç kuvveti ve birim şekildeğiştirmeleri **Şekil 5.1** ila **Şekil 5.24** kıyaslama amacıyla sunulmuştur. İlk katta yer alan kirişlerin iç kuvvetleri ve dönme değerleri ise **Şekil 5.25** ila **Şekil 5.39**'de karşılaştırmalı olarak paylaşılmıştır.



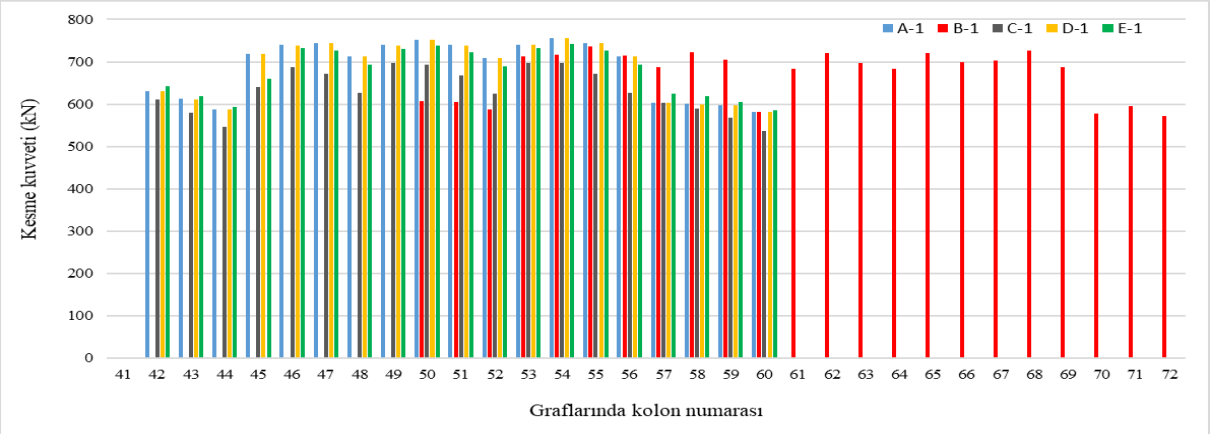
Şekil 5.1: Köşe kolon kaybında ilk kat kolonlarının eksenel kuvvetleri (kN).



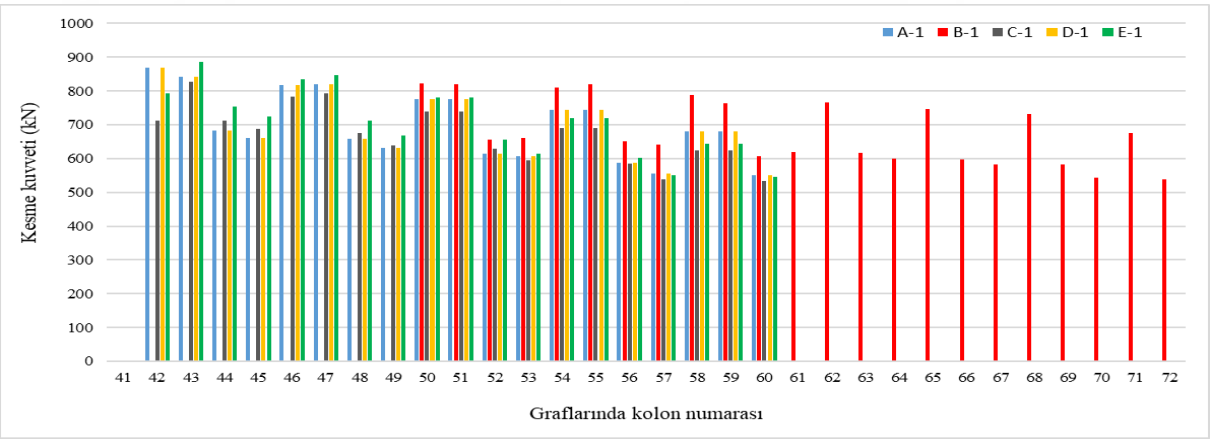
Şekil 5.2: Köşe kolon kaybında ilk kat kolonlarının Yön-2'de eğilme momentleri (kN.m).



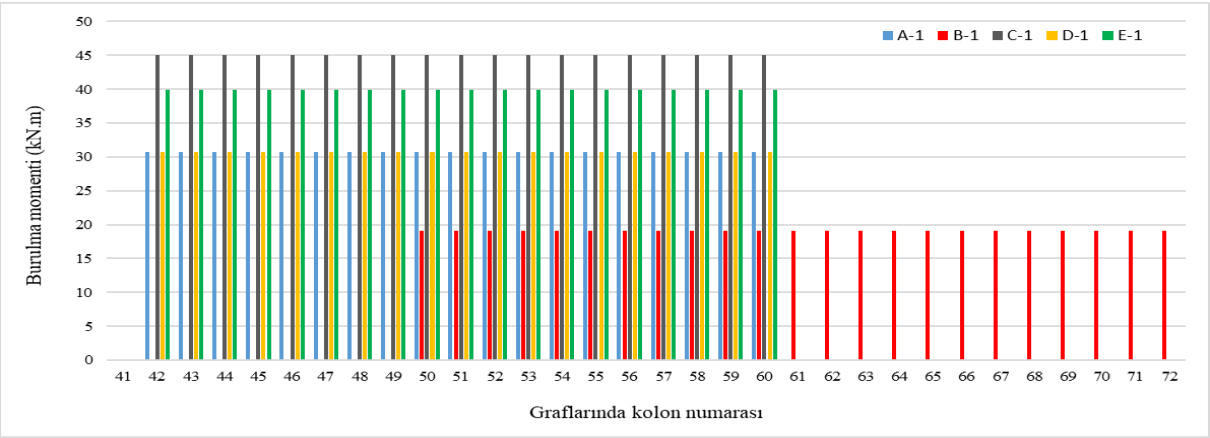
Şekil 5.3: Köşe kolon kaybında ilk kat kolonlarının Yön-3'te eğilme momentleri (kN.m).



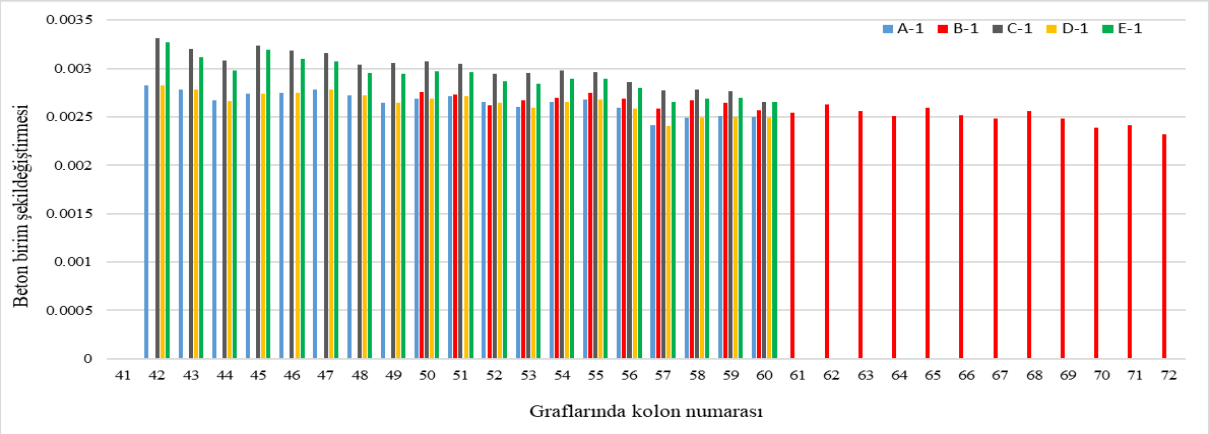
Şekil 5.4: Köşe kolon kaybında ilk kat kolonlarının Yön-2'de kesme kuvvetleri (kN).



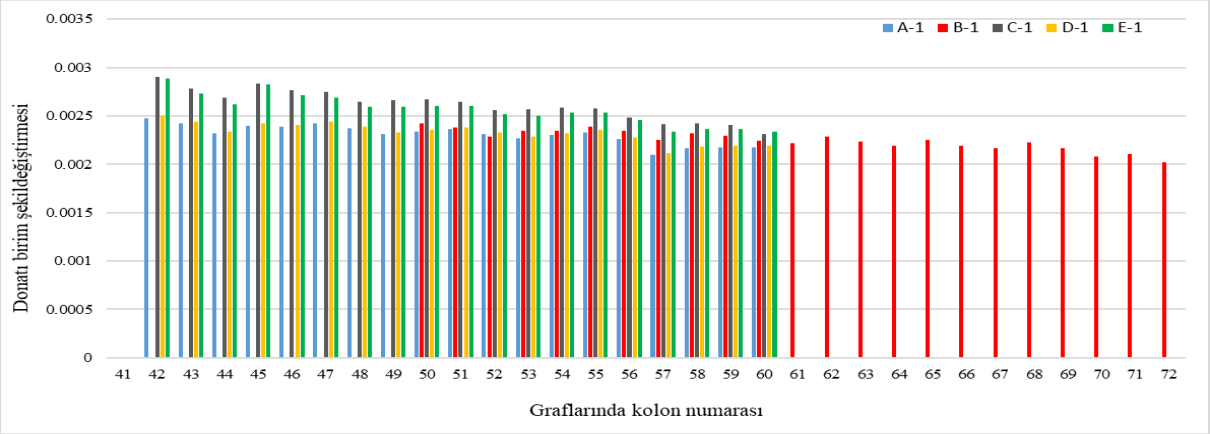
Şekil 5.5: Köşe kolon kaybında ilk kat kolonlarının Yön-3'te kesme kuvvetleri (kN).



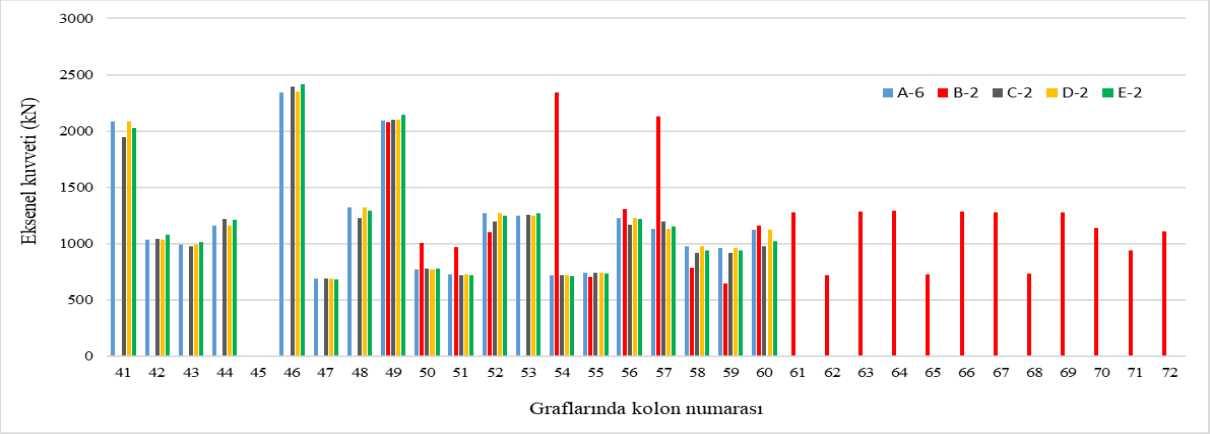
Şekil 5.6: Köşe kolon kaybında ilk kat kolonlarının burulma momentleri (kN).



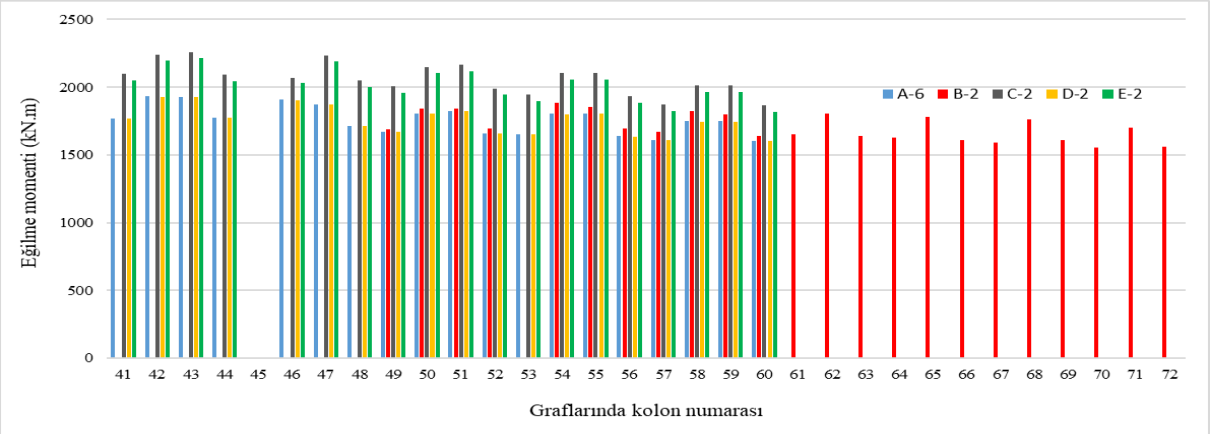
Şekil 5.7: Köşe kolon kaybında ilk kat kolonlarının beton birim şekildeğiştirmeleri.



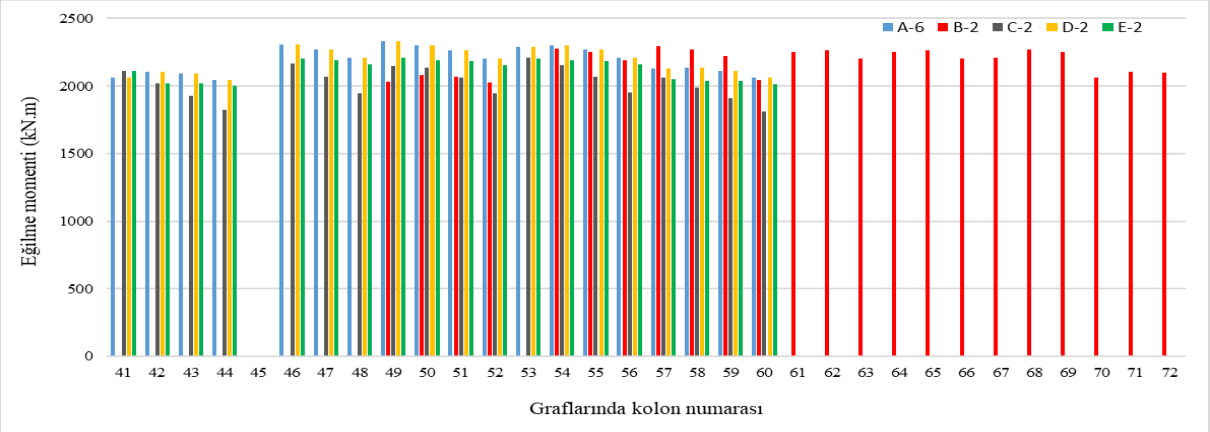
Şekil 5.8: Köşe kolon kaybında ilk kat kolonlarının donatı birim şekildeğiştirmeleri.



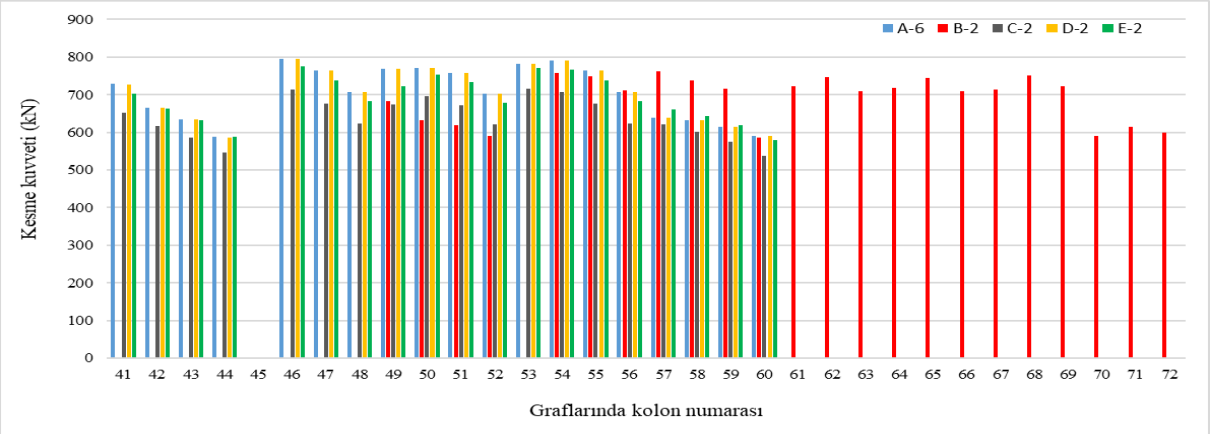
Şekil 5.9: Kenar orta kolon kaybında ilk kat kolonlarının eksenel kuvvetleri (kN).



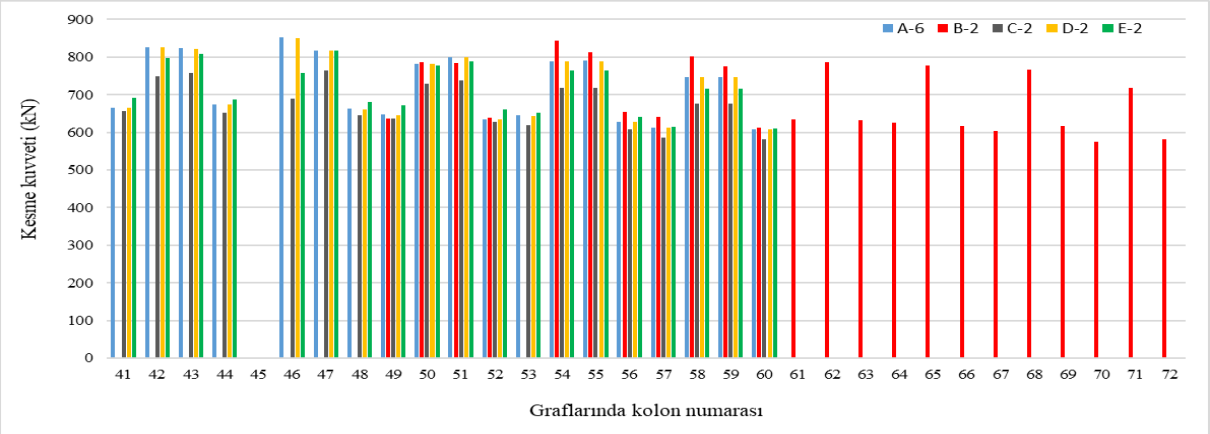
Şekil 5.10: Kenar orta kolon kaybında ilk kat kolonlarının Yön-2'de eğilme momentleri (kN.m).



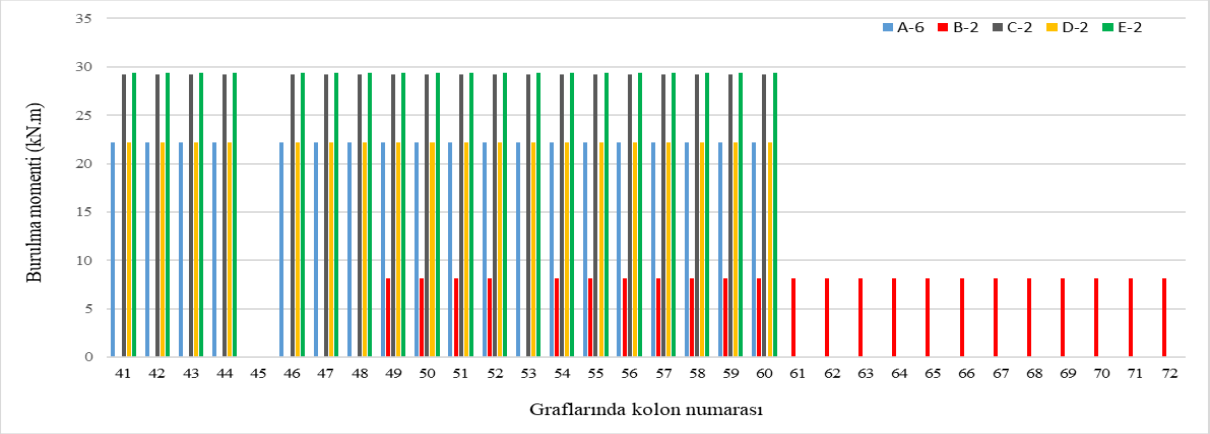
Şekil 5.11: Kenar orta kolon kaybında ilk kat kolonlarının Yön-3'te eğilme momentleri (kN.m).



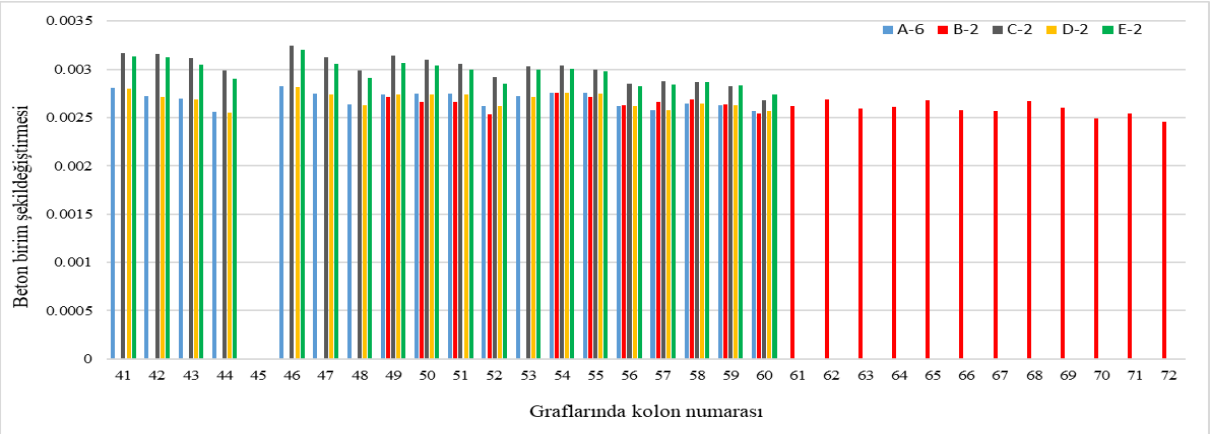
Şekil 5.12: Kenar orta kolon kaybında ilk kat kolonlarının Yön-2'de kesme kuvvetleri (kN).



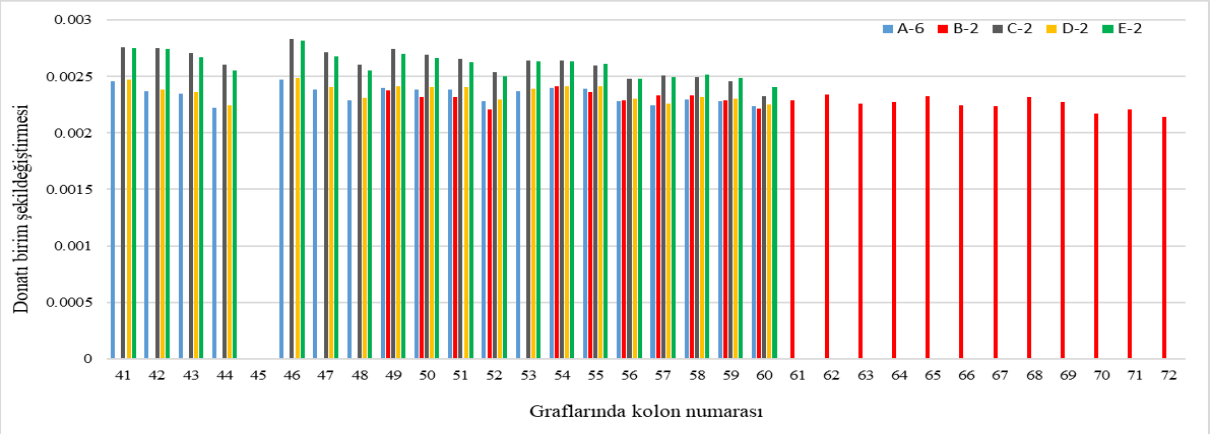
Şekil 5.13: Kenar orta kolon kaybında ilk kat kolonlarının Yön-3'te kesme kuvvetleri (kN).



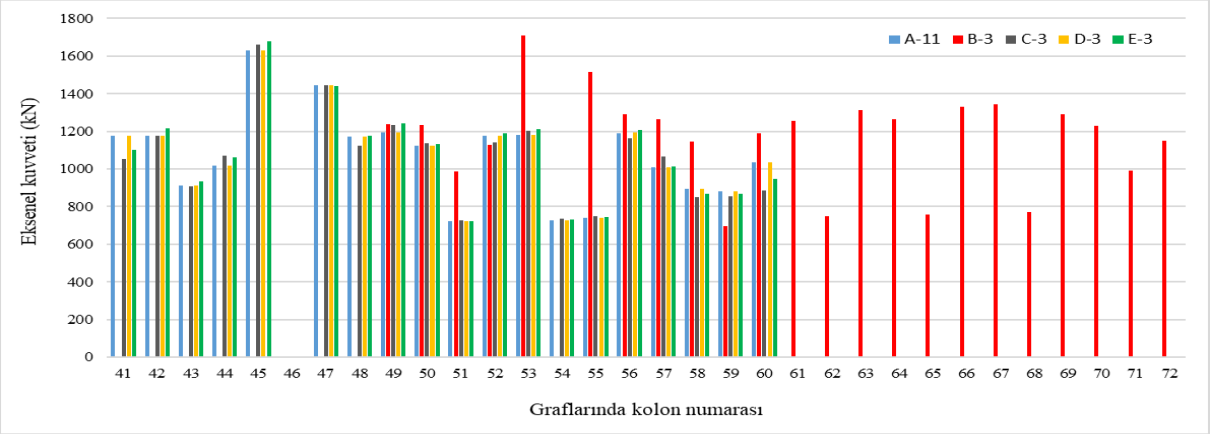
Şekil 5.14: Kenar orta kolon kaybında ilk kat kolonlarının burulma momentleri (kN).



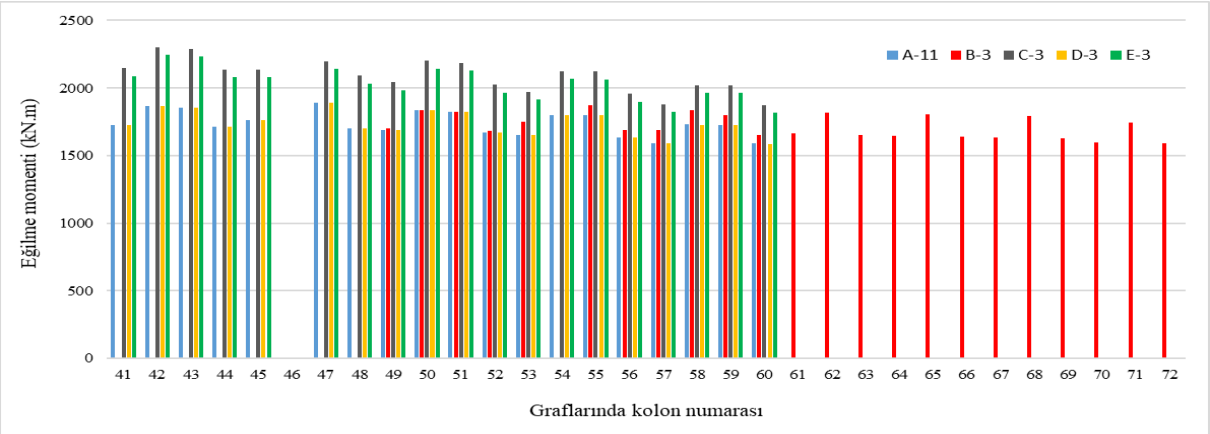
Şekil 5.15: Kenar orta kolon kaybında ilk kat kolonlarının beton birim şekildeğiştirmeleri.



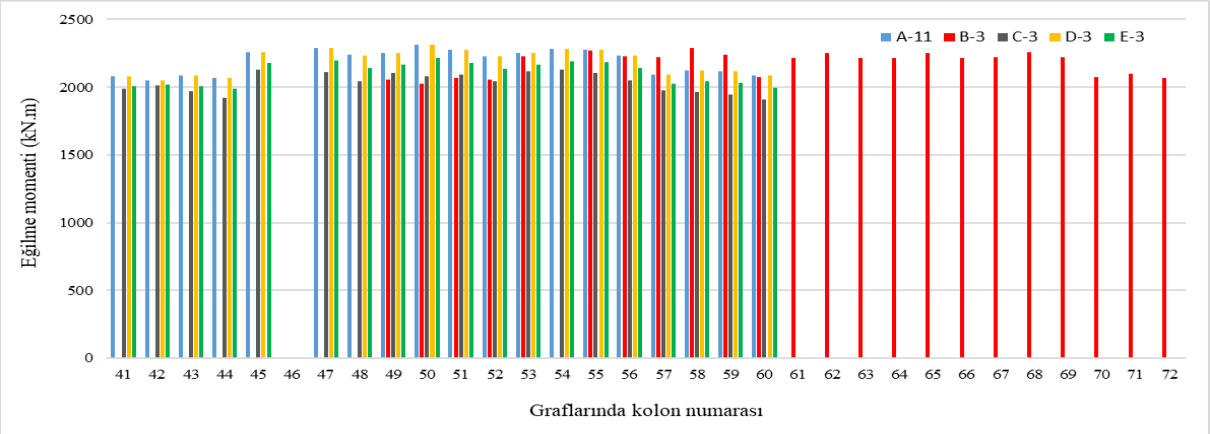
Şekil 5.16: Kenar orta kolon kaybında ilk kat kolonlarının donatı birim şekildeğiştirmeleri.



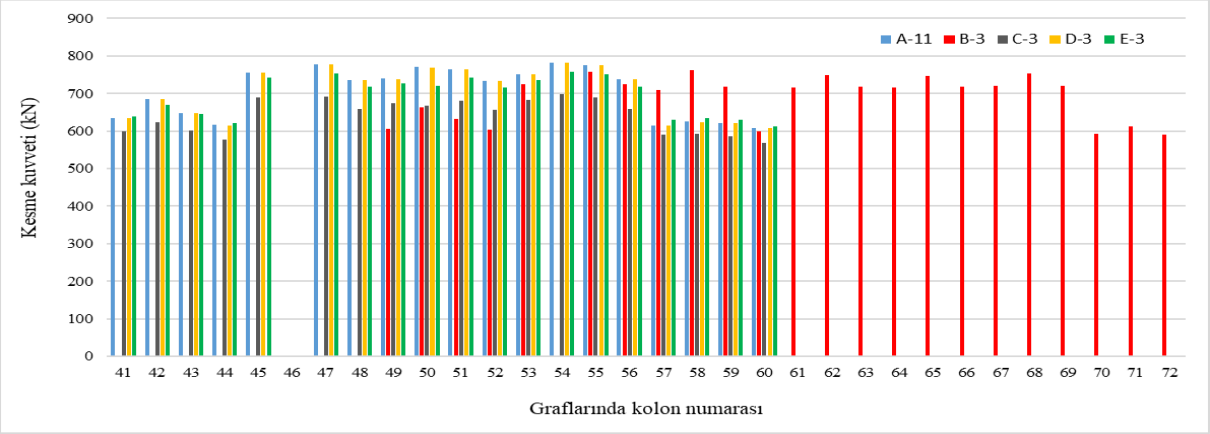
Şekil 5.17: İç kolon kaybında ilk kat kolonlarının eksenel kuvvetleri (kN).



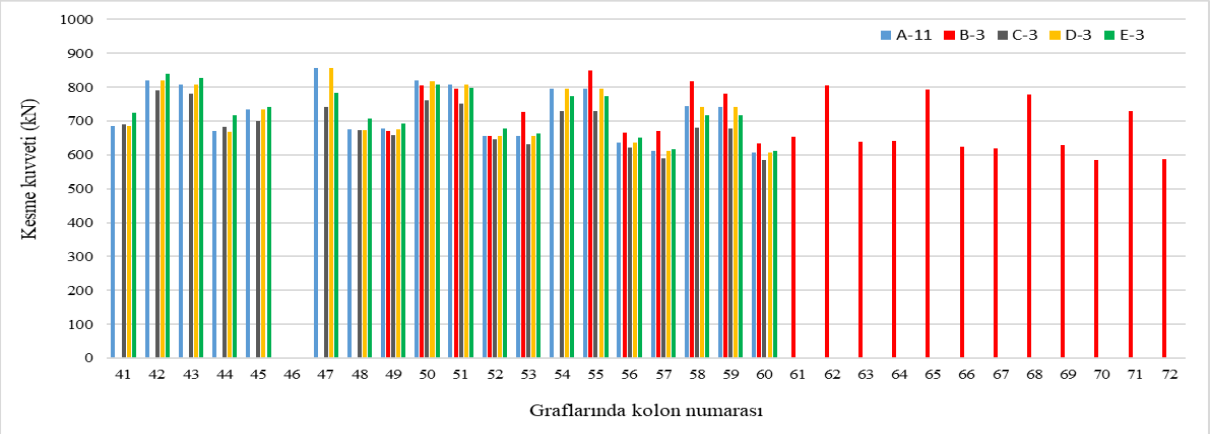
Şekil 5.18: İç kolon kaybında ilk kat kolonlarının Yön-2'de eğilme momentleri (kN.m).



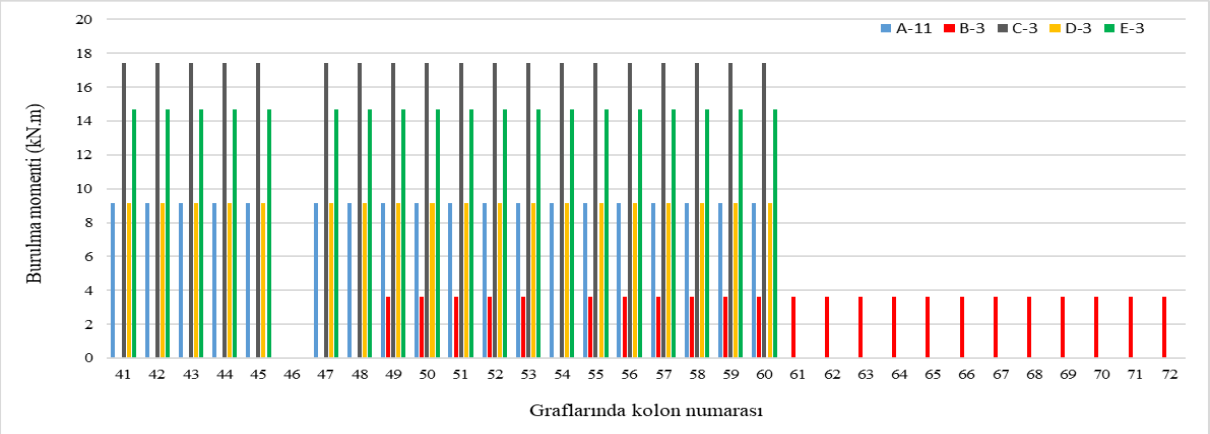
Şekil 5.19: İç kolon kaybında ilk kat kolonlarının Yön-3'te eğilme momentleri (kN.m).



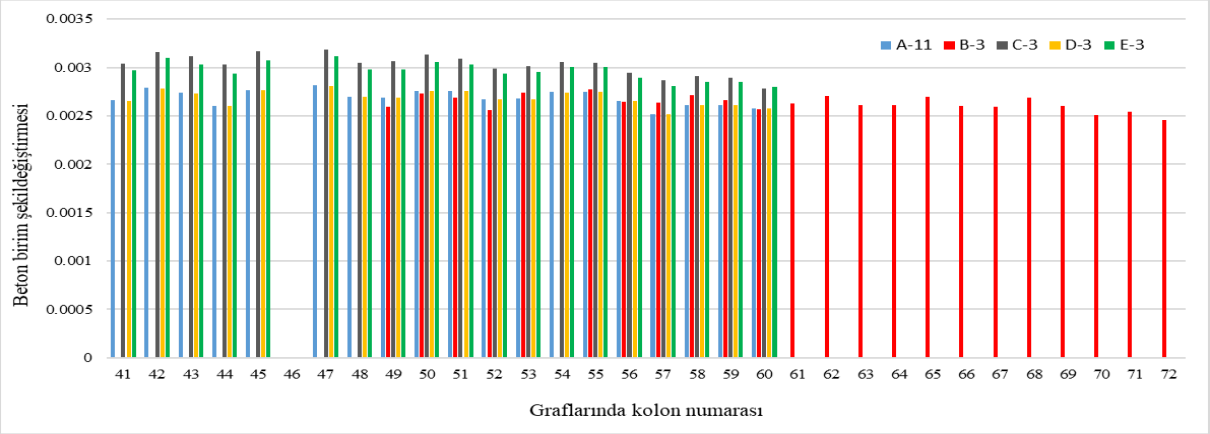
Şekil 5.20: İç kolon kaybında ilk kat kolonlarının Yön-2'de kesme kuvvetleri (kN).



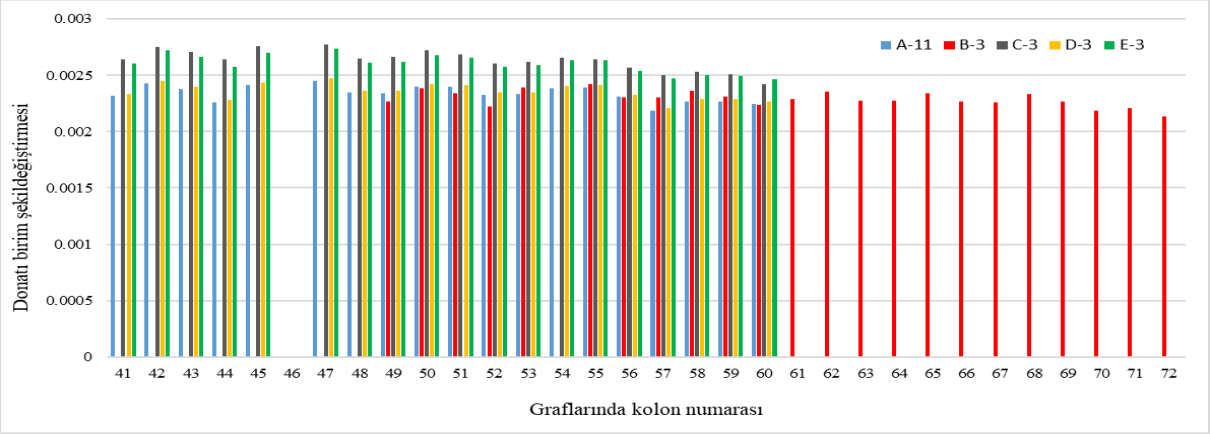
Şekil 5.21: İç kolon kaybında ilk kat kolonlarının Yön-3'te kesme kuvvetleri (kN).



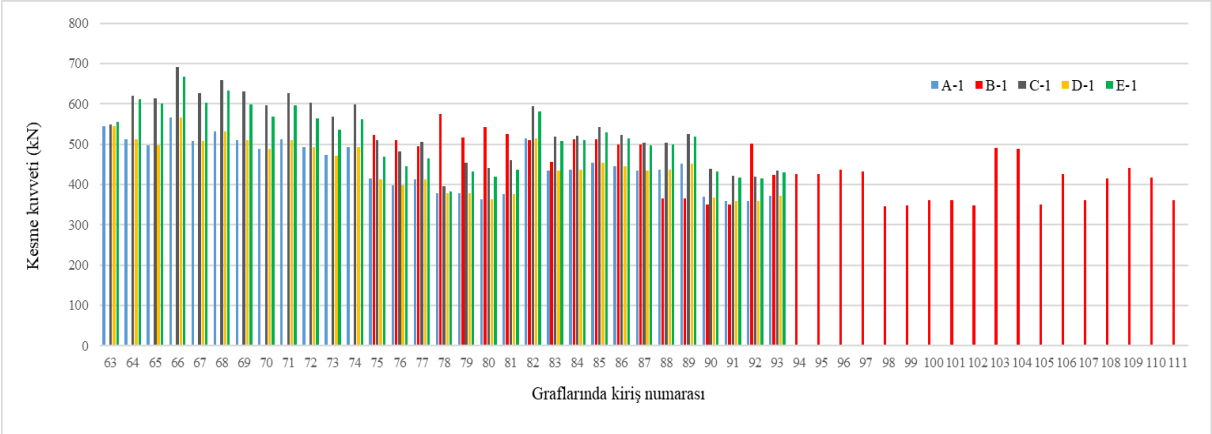
Şekil 5.22: İç kolon kaybında ilk kat kolonlarının burulma momentleri (kN).



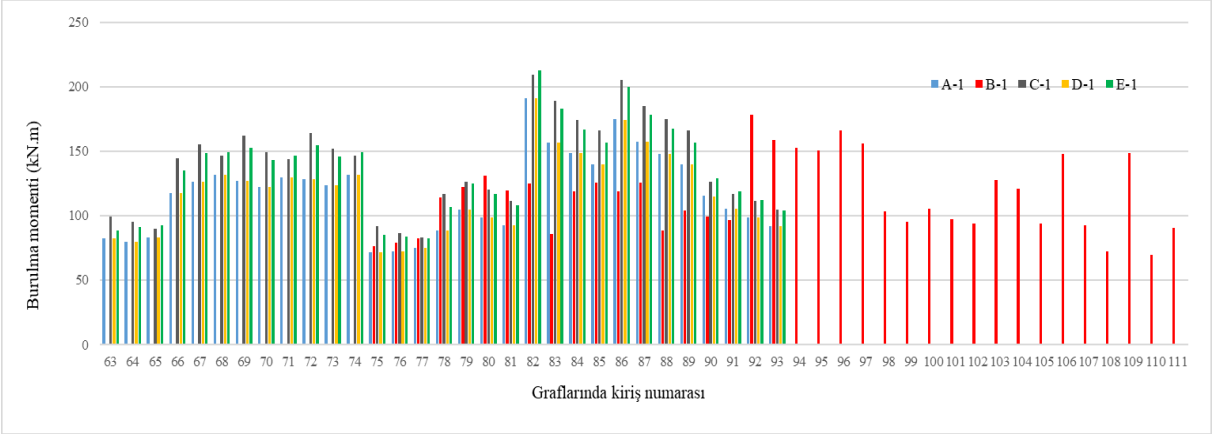
Şekil 5.23: İç kolon kaybında ilk kat kolonlarının beton birim şekildeğiştirmeleri.



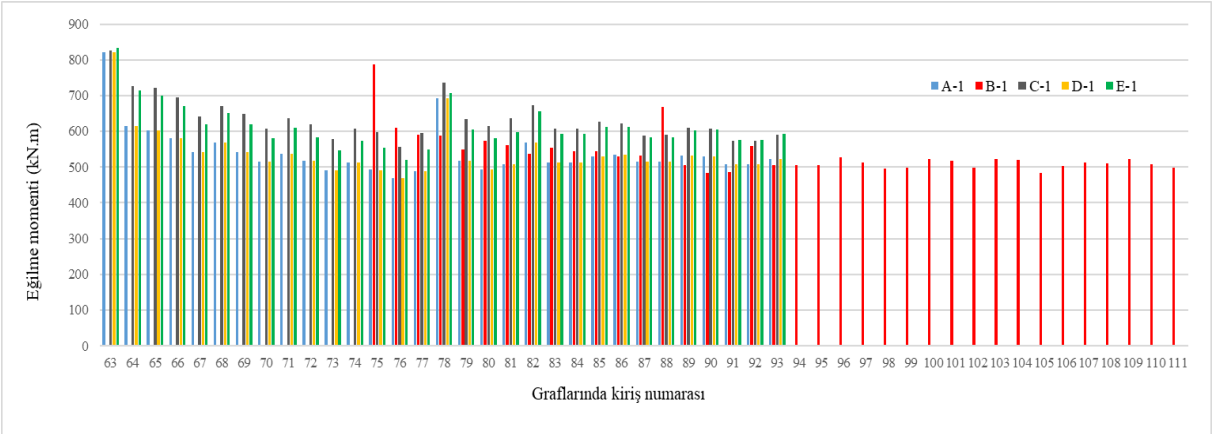
Şekil 5.24: İç kolon kaybında ilk kat kolonlarının donatı birim şekildeğiştirmeleri.



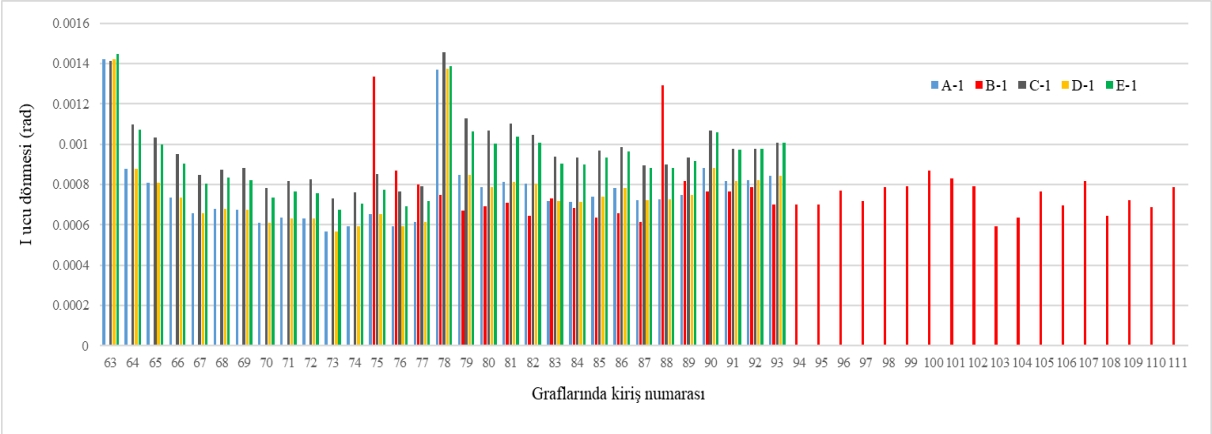
Şekil 5.25: Köşe kolon kaybında ilk kat kirişlerinin kesme kuvveti (kN).



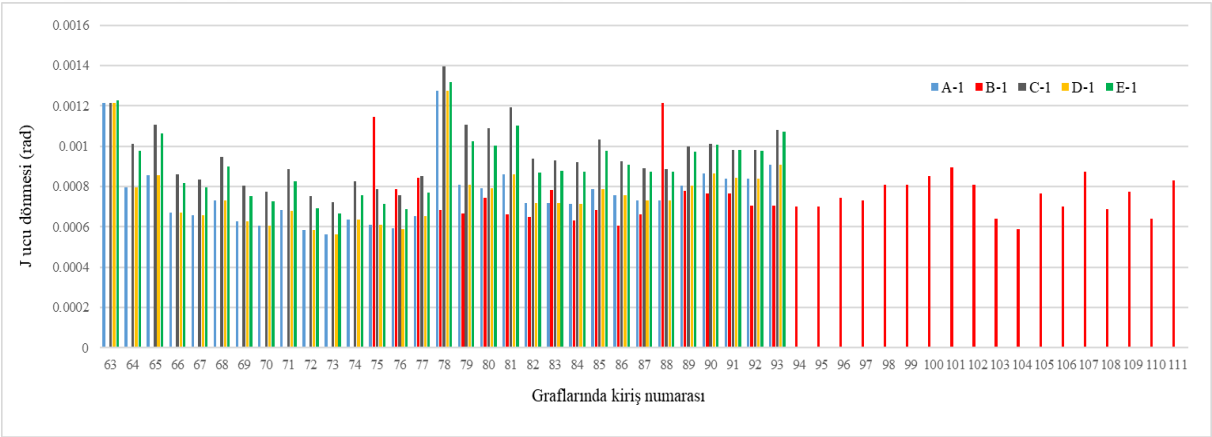
Şekil 5.26: Köşe kolon kaybında ilk kat kirişlerinin burulma momenti (kN.m).



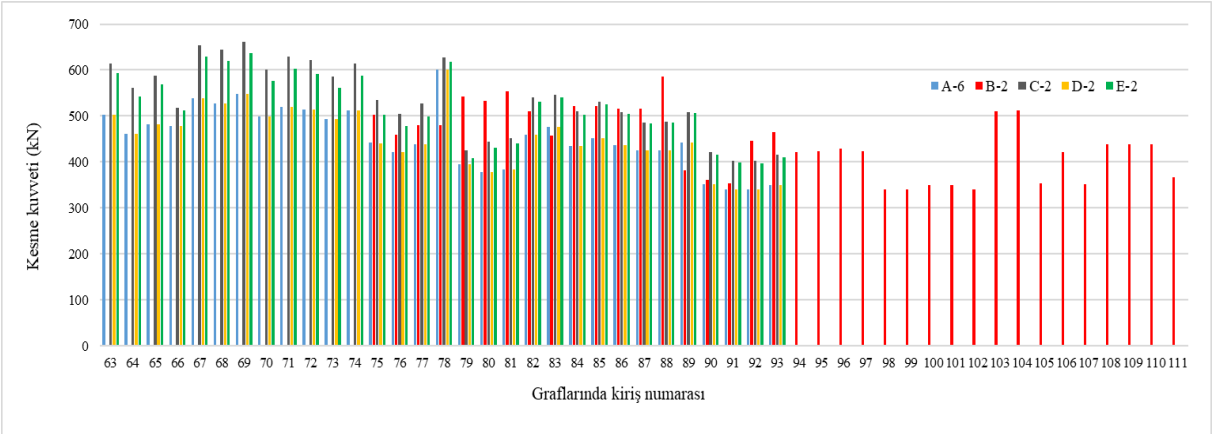
Şekil 5.27: Köşe kolon kaybında ilk kat kirişlerinin eğilme momenti (kN.m).



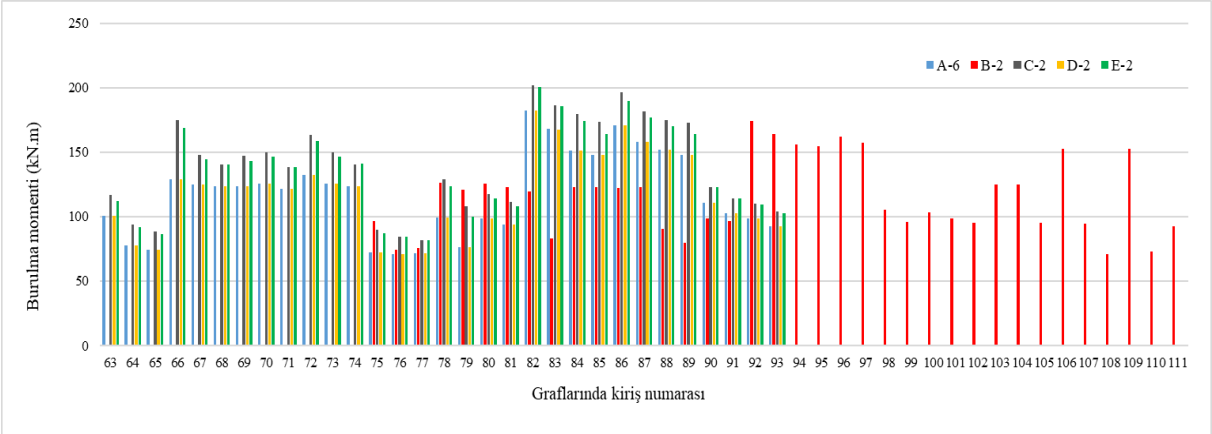
Şekil 5.28: Köşe kolon kaybında ilk kat kirişlerinin I ucunda dönme değeri (rad).



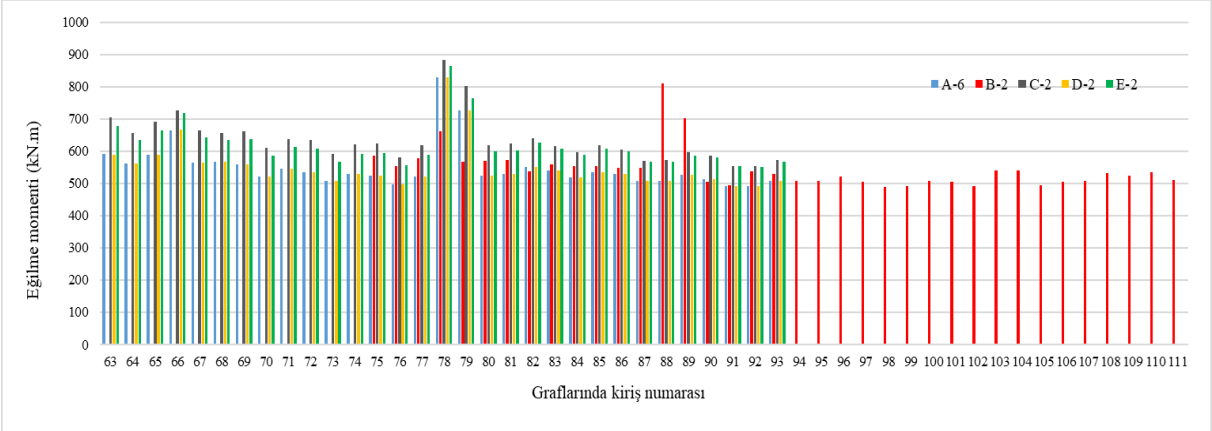
Şekil 5.29: Köşe kolon kaybında ilk kat kirişlerinin J ucunda dönme değeri (rad).



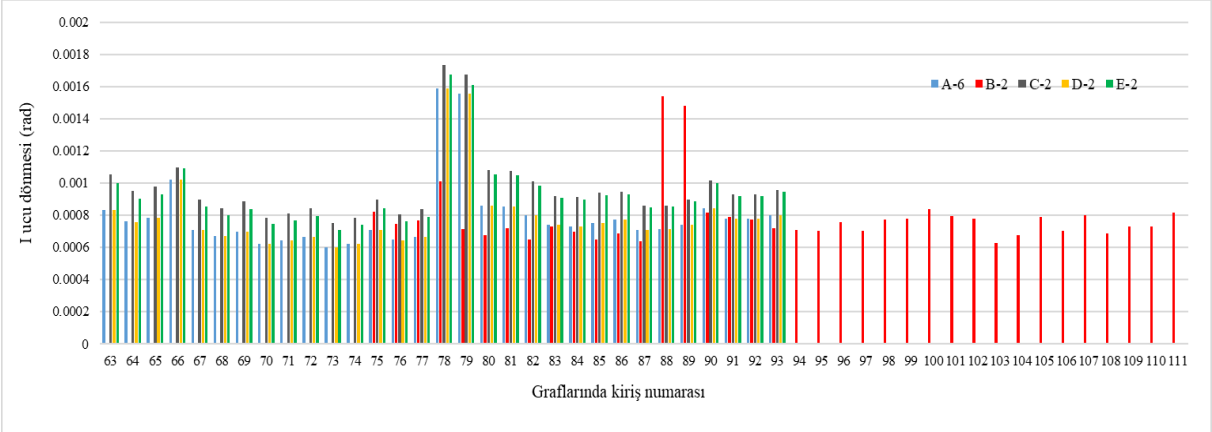
Şekil 5.30: Kenar orta kolon kaybında ilk kat kirişlerinin kesme kuvveti (kN).



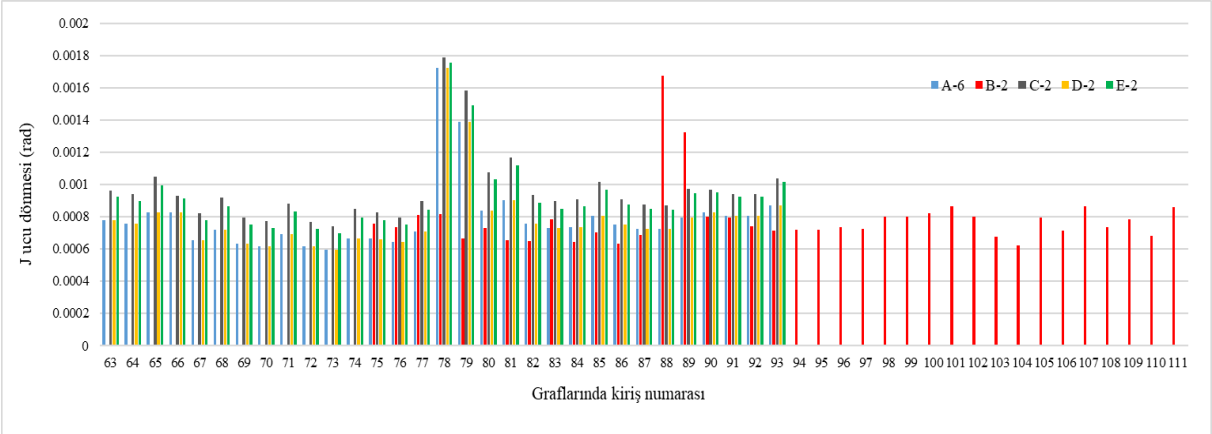
Şekil 5.31: Kenar orta kolon kaybında ilk kat kirişlerinin burulma momenti (kN.m).



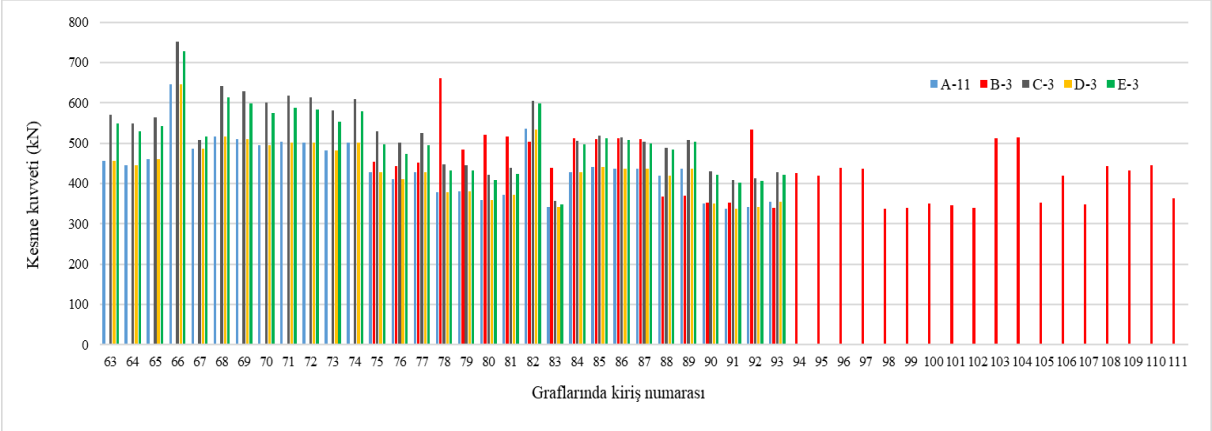
Şekil 5.32: Kenar orta kolon kaybında ilk kat kirişlerinin eğilme momenti (kN.m).



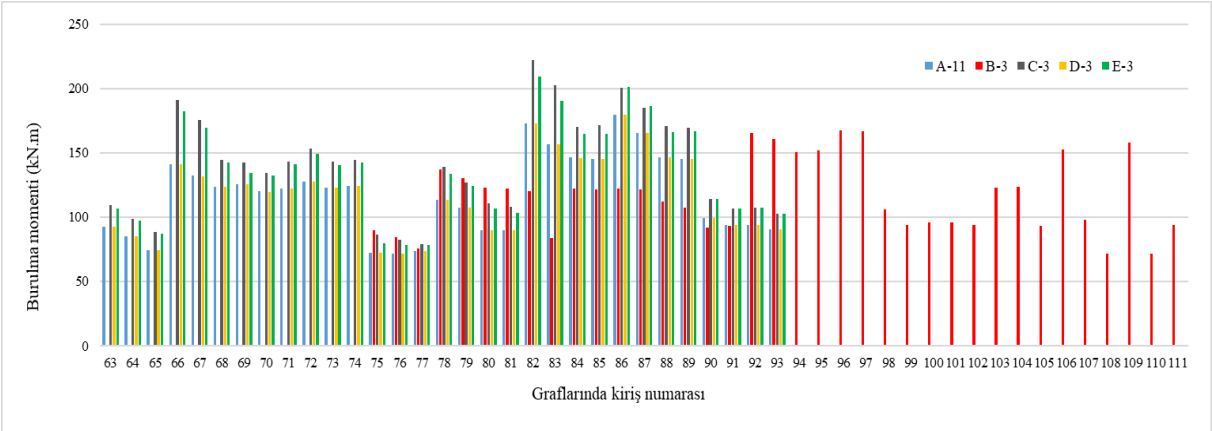
Şekil 5.33: Kenar orta kolon kaybında ilk kat kirişlerinin I ucunda dönme değeri (rad).



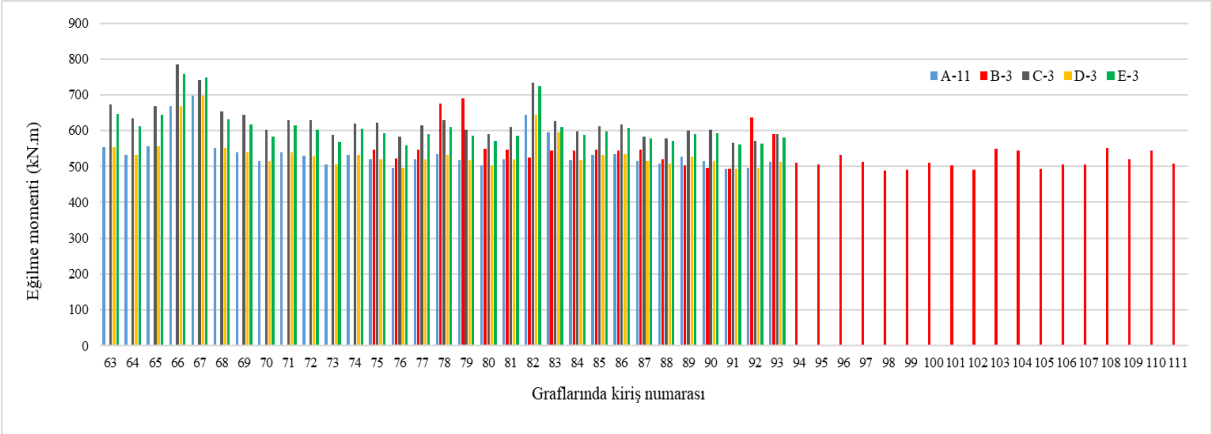
Şekil 5.34: Kenar orta kolon kaybında ilk kat kirişlerinin J ucunda dönme değeri (rad).



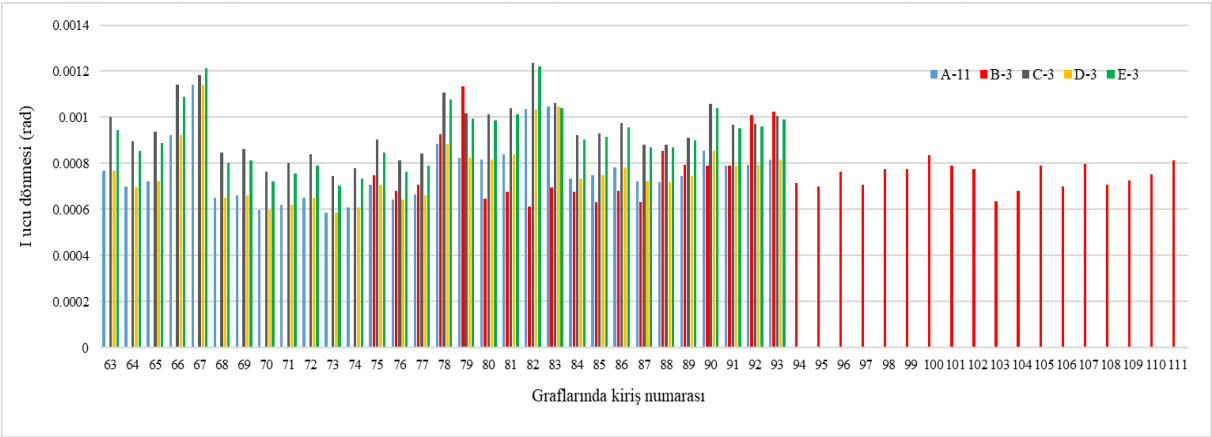
Şekil 5.35: İç kolon kaybında ilk kat kirişlerinin kesme kuvveti (kN).



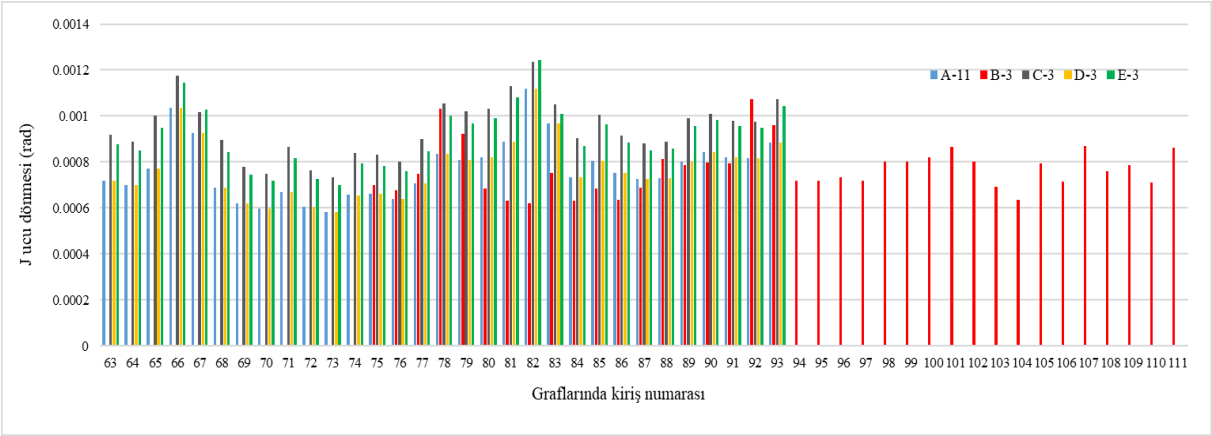
Şekil 5.36: İç kolon kaybında ilk kat kirişlerinin burulma momenti (kN.m).



Şekil 5.37: İç kolon kaybında ilk kat kirişlerinin eğilme momenti (kN.m).



Şekil 5.38: İç kolon kaybında ilk kat kirişlerinin I ucunda dönme değeri (rad).



Şekil 5.39: İç kolon kaybında ilk kat kirişlerinin J ucunda dönme değeri (rad).

Sonuç itibariyle **Şekil 5.1** ile **Şekil 5.24**'te sunulan karşılaştırmalı figürlere dayanarak düzensizlik etkilerinin kaldırılan kolonun konumundan (köşe / kenar orta / iç) bağımsız olarak

bir olgu sergilediği tespit edilmiştir. Başka bir değişle her bir parametre için köşe kolon kaldırma senaryolarında çeşitli düzensizlikler arasında hangi olgu yaşanmış ise kenar orta ve iç kolon kaldırma senaryosunda da aynı olgu tekrar edilmiştir.

Buradan yola çıkarak kolonların eksenel kuvvetlerinde (P) çeşitli düzensizliklere sahip modellerde birbirine yakın sonuçlar kaydedilmiştir. Kolonların ikinci yönde eğilme momentlerinde (M2) yumuşak kat (C) ve yumuşak + zayıf kat (E) düzensizliklerine sahip modellerde belirgin bir seviyede daha büyük eğilme momenti değerleri tespit edilirken baza modeli (A), burulma düzensizliğine sahip model (B) ve zayıf kat düzensizliğine sahip modelde (D) yaklaşım aynı eğilme moment değerleri kayda geçmiştir. Kolonların üçüncü yönde eğilme momentlerine (M3) gelince çeşitli düzensizliklere sahip modellerde birbirine yakın sonuçların elde edilmesinin yan sıra en küçük moment değerleri yumuşak kat düzensizliğine (C) sahip modellerde tespit edilmiştir. Kolonların ikinci yönde kesme kuvvetleri (V2) değerlerinde çeşitli düzensizliklere sahip modellerde birbirine yakın sonuçların elde edilmesinin yan sıra en küçük kesme değerleri yumuşak kat düzensizliğine (C) sahip modellerde tespit edilmiştir. Buna karşın kolonların üçüncü yönde kesme kuvvetleri (V3) değerlerini çeşitli düzensizliklere sahip modellerde karşılaştırıldığında sonuçların birbirine yakın çıkmasıyla beraber belirli bir olgu gözlemlenmemiştir. Başka bir değişle kolonların birçoğunda yumuşak + zayıf kat düzensizliklerine (E) modellerde ait kesme değerleri daha büyük iken bu tespit tüm kolonlar için geçerli kalmamıştır. Kolonların burulma momentlerinde (T) en büyük moment değerleri yumuşak kat (C) ve yumuşak + zayıf kat (E) düzensizliğine sahip modellerde elde edilirken en küçük değerler burulma (B) düzensizliğine ait modelde tespit edilmiştir. Baza modelleri (A) ve zayıf kat düzensizliğine sahip modellerin (D) değerleri nerdeyse eşit olmuştur. Kolonların birim şekildeğiştirmelerinde beton ve donatı için aynı olgu tespit edilmiştir. En büyük değerler yumuşak kat (C) ve yumuşak + zayıf kat (E) düzensizliğine sahip modellerde elde edilirken diğer tüm modeller için (A, B ve D) yaklaşık aynı değerler kaydedilmiştir.

İlk katta yer alan kirişlerin incelemesine gelince Şekil 5.25 ila Şekil 5.39'da sunulan karşılaştırmalı figürlere dayanarak kirişlerin tüm parametreleri için (kesme kuvveti, burulma momenti, eğilme momenti, I ve J ucunda dönme değerleri) aynı olgu tespit edilmiştir. Yani tüm kiriş parametrelerinde en büyük değerler yumuşak kat (C) ve yumuşak + zayıf kat (E) düzensizliğine sahip modellerde elde edilirken diğer tüm modeller için (A, B ve D) yaklaşık aynı değerler kaydedilmiştir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında betonarme binalarda aşamalı göçme potansiyeli kolon kaldırma senaryoları altında çeşitli parametreler ve etkenler üzerinden incelenmiştir. Araştırmanın sonuçlarının işlevselliği sınırlı kalmamak amacıyla kontrol modeli olarak üç katlı düzenli plana sahip prototip bir model ele alınmıştır. Metodoloji açısından yapı analizinde en gerçekçi yöntem olan *Doğrusal Olmayan zaman Tanım Analiz* yöntemi kullanılmıştır. Çalışmanın sonuçları aşağıda sunulmuştur.

- Aşamalı göçme üzerinde en etkileyici ve rol belirleyici yapısal elaman kolonlardır.
- Döşeme kalınlığının azaltması aşamalı göçme senaryolarında yapının genel performansını iyileştirmişken döşeme kalınlığının artırması yapısal performans üzerinde olumuz etkiler yarattığı gözlemlenmiştir.
- Kiriş kapasitesinin (boyuna donatı artırılmasıyla) artırılması aşamalı göçme riskinin kontrol edilmesinde olumlu bir rol ifa etmediği tespit edilmiştir.
- Kolon kaldırma senaryolarında kaldırılmış olan kolonun konumunun etkili bir etken oldu ispatlanmasının yan sıra kenar orta ve iç kolon kaldırma senaryolarının köşe kolon kaldırma senaryosuna göre daha da riskli olduğu tespit edilmiştir.
- Kolon kaldırma senaryolarında kaldırılmış olan kolonun sayısı arttıkça zincirleme olarak hasarın ilerleme riskinin arttığı ortaya koyulmuştur.
- Aşamalı göçme potansiyeli incelemesinde göçmenin başlangıç sebebi olan kolon ve kolonların konum ve sayılarının etkisinin birbirleriyle etkileşim içinde oldukları gözlemlenmiştir.
- Kolon kaldırma senaryolarında kaldırılmış olan kolonun komşu kolonlarının davranışında en belirleyici etkenin kaldırılmış olan kolonun (köşe / kenar orta / iç) konumu olduğu ortaya koyulmuştur.
- Kolon kaldırma senaryolarında kaldırılmış olan kolonun komşu kolonlarında en büyük artışlar eksenel kuvvet ve burulma momentlerinde kayda geçmiştir.
- Döşeme kalınlığının artırılmasıyla komşu kolonlara yük aktarımının artması tespit edilmiştir.

- Kiriş kapasitesinin artırılması komşu kolonlara yük aktarımında etkisiz kaldığı tespit edilmiştir.
- Kirişlerin komşu kolonlara yük aktarımında önemli rol üstlendiği ve bunun çeşitli etkenlerden etkilendiği gözlemlenmiştir.
- Döşeme kalınlığının artması kirişlerin kolon kaldırması neticesinde üstlendiği ilave yüklere karşı daha dirençli hale geldiklerine sebebiyet vermiştir.
- Kiriş kapasitesinin artması kirişlerin kolon kaldırması neticesinde üstlendiği ilave yüklere karşı daha dirençli hale geldiklerine sebebiyet vermiştir.
- Kolon kaldırma senaryolarında genel performans açısından yapısal düzensizliklerin aşamalı göçmenin tetiklenmesinde belirleyici role sahip olmadığı anlaşılmıştır.
- Kolon kaldırma senaryolarında eleman performansları açısından yapısal düzensizliklerin etkilerinin kaldırılan kolonun konumundan (köşe / kenar orta / iç) bağımsız olarak bir olgu sergilediği tespit edilmiştir.
- Kolon kaldırma senaryolarında eleman performansları açısından yumuşak kat (C) ve yumuşak + zayıf kat (E) düzensizliğine sahip modeller diğer düzensizlikler ile kıyasta aşamalı göçme potansiyeli için daha riskli olduğu ortaya koyulmuştur.
- Yapısal düzensizliklerin aşamalı göçme potansiyeli üzerindeki etkisini incelemekte, analiz sonuçlarının model parametrelerine oldukça duyarlı olduğundan dolayı model çeşitliliği önem arz etmektedir.

Sonuç itibariyle bu çalışma aşamalı göçmeye maruz kalan betonarme binaların davranışını kolon kaldırma senaryoları altında ve çeşitli etkenler üzerinden incelemiştir. Çalışma analiz sonuçlarını genel yapı performansının yan sıra eleman tepkileri üzerinden de yorumlamıştır. Çeşitli yapısal etkenler, çeşitli modeller üzerinde analiz sonuçlarına dayanarak incelenip ve aralarındaki etkileşim sayısal olarak ortaya koyulmuştur. Çalışmanın kapsamlı sonuçları literatüre betonarme binaların aşamalı göçme potansiyeli riski üzerine geniş çaplı bir perspektif sunmuştur. Başka bir değişle bir betonarme binanın aşamalı göçme potansiyeli değerlendirmelerinde hangi parametreler ve etkenlerin daha çok belirleyici role sahip olmasıyla birlikte bu parametrelerin birbirleriyle nasıl bir etkileşim içinde olduklarını ortaya koymuştur.

Bu perspektif ışığında betonarme binaların aşamalı göçmeye karşı dirençli hale gelmesi için iki ayrı öneride bulunmak mümkündür;

- Öneri 1: Aşamalı göçme potansiyelini değerlendirmek amaçlı bir şartname düzenlemek. Böylece araştırmacılar ve yapı mühendisleri arasında konuyla ilgili bir duyarlılık yaratarak tasarım ve değerlendirme aşamaları için bir karar verici kaynak oluşacaktır.
- Öneri 2: Mevcut deprem yönetmeliğinin bir sonraki nüshasında yönetmelik kapsamında aşamalı göçme riskine yer vermek.

Sonuç itibariyle günümüzde literatürle uyumlu yönde, artık bir yapının tek bir kolonunun göçmesiyle yapının tümünün göçme ihtimali olduğu bakış açısına sahip mühendislik görüşüyle sınırlı kalmamak zorunludur. Zira aşamalı göçme riski yapının tasarım sürecinde ele alındığı taktirde zincirleme hasar ilerlemesinin önüne geçerek yapının göçmesi önlenebilir. Son olarak bizim insani ve mühendislik vicdanımız bu imkân var iken buna karşı duyarsız kalmamakla canları korumakla sorumludur.

KAYNAKLAR

[1]. Kiakojouri, F., Biagi, V.D., Chiaia, B. and Sheidaii, M.R., 2020, Progressive collapse of framed building structures: Current knowledge and future prospects, *Engineering Structures*, 206, 110061.

[2]. Yu, X.H., Qian, K., Lu, D.G. and Li, B., 2017, Progressive Collapse Behavior of Aging Reinforced Concrete Structures Considering Corrosion Effects, *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 31 (4), 04017009.

[3]. Grunwald, C., Khalil, A.A., Schaufelberger, B., Ricciardi, E.M., Pellecchia, C., Iuliis, E.D. and Riedel, W., 2018, Reliability of collapse simulation – Comparing finite and applied element method at different levels, *Engineering Structures*, 176, 265–278.

[4]. Gurley, C., 2008, Progressive Collapse and Earthquake Resistance, *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, 13 (1), 19-23.

[5]. Feng, P., Qiang, H., Qin, W. and Gao, M., 2017, A novel kinked rebar configuration for simultaneously improving the seismic performance and progressive collapse resistance of RC frame structures, *Engineering Structures*, 147, 752-767.

[6]. Lu, X., Zhang, L., Lin, K. and Li, Y., 2019, Improvement to composite frame systems for seismic and progressive collapse resistance, *Engineering Structures*, 186, 227-242.

[7]. Lin, K., Lu, X., Li, Y. and Guan, H., 2019, Experimental study of a novel multi-hazard resistant prefabricated concrete frame structure, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 119, 390-407.

[8]. Atmaca, B., Altunişik, A.C., Atmaca, E.E., Başağa, H.B., Günaydin, M., Adanur, S., Ateş, Ş., Hüsem, M., Haciefendioğlu, K., Sunca, F., Okur, F.Y., Yakak, B., Şahin, M.C., Ören, S., Şen, D. and Karahasan, A.K., 2025, What is the reason for collapses on February 6, 2023 Kahramanmaraş earthquakes: Insights from a dataset of 400 collapsed RC buildings post-earthquake analysis, *Journal of Building Engineering*, 107, 112660.

[9]. Sivrikaya, O., Türker, E., Cüre, E., Atmaca, E.E., Angin, Z., Başağa, H.B. and Altunişik, A.C., 2025, Impact of soil conditions and seismic codes on collapsed structures during the 2023 Kahramanmaraş earthquakes: An in-depth study of 400 reinforced concrete buildings, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 190, 109119.

[10]. Altunışık, A.C., Sisman, R., Günaydin, M., Okur, F.Y., Yilmaz, Z., Sunca, F., Hadinata, P., Aslan, B., Sezdirmez, T. and Taciroglu, E., 2025, Empirical fragility curves for RC residential buildings after 2023 Kahramanmaraş, Türkiye earthquakes, *Journal of Building Engineering*, 111, 113446.

[11]. Dedeoglu, I.O., Yetkin, M., Tunc, G. and Ozbulut, O.E., 2025, Evaluating earthquake-induced damage in Dogansehir, Malatya after 2023 Kahramanmaras Earthquake sequence: Geotechnical and structural perspectives, *Journal of Building Engineering*, 104, 112266.

[12]. Gurbuz, T. and Cengiz, A., 2025, Structural damages during the February 06, 2023 Kahramanmaraş Earthquakes in Turkey, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 191, 109214.

[13]. Kalantari, A. and Roohbakhsh, H., 2020, Expected seismic fragility of code-conforming RC moment resisting frames under twin seismic events, *Journal of Building Engineering*, 28, 101098.

[14]. Srinath, G. and Gopikrishna, K., 2025, Effect of repeated earthquakes on multi-storied RC buildings using IDA, *Structures*, 79, 109475.

[15]. Russell, J.M., Sagaseta, J., Cormie, D. and Jones, A.E.K., 2019, Historical review of prescriptive design rules for robustness after the collapse of Ronan Point, *Structures*, 20, 365–373.

[16]. Pearson, C. and Delatte, N., 2005, Ronan Point Apartment Tower Collapse and its Effect on Building Codes, *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 19 (2), 172-177.

[17]. Lalkovski, N. and Starossek, U., 2022, The Total Collapse of the Twin Towers: What It Would Have Taken to Prevent It Once Collapse Was Initiated, *Journal of Structural Engineering*, 148, (2), 04021276.

[18]. Bažant, Z.P. and Verdure, M., 2007, Mechanics of Progressive Collapse: Learning from World Trade Center and Building Demolitions, *Journal of Engineering Mechanics*, 133 (3), 308-319.

[19]. Bažant, Z.P. and Yong, Z., 2002, Why Did the World Trade Center Collapse?—Simple Analysis, *Journal of Engineering Mechanics*, 128 (1), 2-6.

[20]. Wierzbicki, T., and Teng, X., 2003, How the airplane wing cut through the exterior columns of the World Trade Center, *International Journal of Impact Engineering*, 28, (6), 601-625.

[21]. Karim, M.R., Fatt, M.S., 2005, Impact of the Boeing 767 Aircraft into the World Trade Center, Journal of Engineering Mechanics, 131 (10), 1066-1072.

[22]. Starossek, U., 2009, Progressive collapse of structures, Thomas Telford, London, ISBN: 980-0-7277-3279-8.

[23]. Starossek, U., 2007, Typology of progressive collapse, *Engineering Structures*, 29, 2302–2307.

[24]. Lalkovski, N. and Starossek, U., 2016, Vertical building collapse triggered by loss of all columns in the ground story−Last line of defense, *International Journal of Steel Structures*, 16, 395–410.

[25]. Zhou, Q. and Yu, T. X., 2004, Use of High-Efficiency Energy Absorbing Device to Arrest Progressive Collapse of Tall Building, Journal of Engineering Mechanics, 130 (10), 1177-1187.

[26]. Saffarzadeh, A., Shimaoka, T., Nakayama, H. and Afsari Fard, S., 2019, Lessons learned from the Ezgeleh–Sarpol Zahab earthquake of November 2017: status of damage and disposal of disaster waste, *Waste Disposal & Sustainable Energy*, 1, 301–317.

[27]. Azim, I., Yang, J., Bhatta, S., Wang, F. and Liu, Q-F., 2020, Factors influencing the progressive collapse resistance of RC frame structures, *Journal of Building Engineering*, 27, 100986.

[28]. Starossek, U., Haberland, M., 2010, Disproportionate Collapse: Terminology and Procedures, *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 24 (6), 519-528.

[29]. General Services Administration (GSA). Progressive collapse analysis and design guidelines for new federal office buildings and major modernization projects. Washington, DC: Office of Chief Architects; 2003.

[30]. General Services Administration (GSA). Alternate path analysis and design guidelines for progressive collapse resistance. Washington, DC: Office of Chief Architects; 2013.

[31]. Department of Defence (DoD). Design of buildings to resist progressive collapse (UFC 4-023-03). Washington, DC: Unified Facilities Criteria; 2005.

[32]. Department of Defence (DoD). Design of buildings to resist progressive collapse (UFC 4-023-03). Washington, DC: Unified Facilities Criteria; 2009.

[33]. Shen, J., Ren, X. and Chen, J., 2021, Effects of spatial variability of ground motions on collapse behaviour of buildings, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 144, 106668.

[34]. Ibrahim, A.R., Makhloof, D.A. and Ren, X., 2024, Seismic performance and collapse analysis of RC framed-wall structure excited with Turkey/Syria destructive earthquake, *Structures*, 59, 105774.

[35]. Lin, J.L., Chen, W.H., Hsiao, F.P., Weng, Y.T., Shen, W.C., Weng, P.W., Chao, S.H., Chung, L.L. and Hwang, S.J., 2021, Effects of hysteretic models on the seismic evaluation of a collapsed irregular building from bidirectional near-fault ground motions on a shake table, *Engineering Structures*, 247, 113087.

[36]. Zaker Esteghamati, M. and Alimohammadi, S., 2022, Reliability-based assessment of progressive collapse in horizontally irregular multi-story concrete buildings, *Structures*, 44, 1597-1606.

[37]. Feng, D-C., Zhang, M-X., Brunesi, E., Parisi, F., Yu, J. and Zhou, Z., 2022, Investigation of 3D effects on dynamic progressive collapse resistance of RC structures considering slabs and infill walls, *Journal of Building Engineering*, 54, 104421.

[38]. Scalvenzi, M., Ravasini, S., Brunesi, E. and Parisi, F., 2023, Progressive collapse fragility of substandard and earthquake-resistant precast RC buildings, *Engineering Structures*, 275, 115242.

[39]. Xu, W., Zhao, Y., Yang, W., Zhang, J. and Chen, D., 2023, Seismic performance of RC frame-shear wall dual structural systems, *Structures*, 58, 105610.

[40]. Zhang, K., Zuo, Z., Gong, M., Wang, X., Zhao, Y. and Liu, B., 2025, The influence of forward-directivity pulse-like ground motion orientation angles on structural collapse capacity, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 191, 109280.

[41]. Jadallah, M., Almustafa, M.K., Doğangün, A. and Nehdi, M.L., 2025, Performance of X and inverted V bracing systems in controlling progressive collapse of reinforced concrete buildings, *Results in Engineering*, 27, 105812.

[42]. Shan, L., Petrone, F. and Kunnath, S., 2019, Robustness of RC buildings to progressive collapse: Influence of building height, *Engineering Structures*, 183, 690-701.

[43]. He, X-H-C., Yuan, X-X., Yi, W-J., 2019, Irregularity index for quick identification of worst column removal scenarios of RC frame structures, Engineering Structures, 178, 191-205.

[44]. Nyunn, S., Wang, F., Yang, J., Liu, Q-f., Azim, I. and Bhatta, S., 2020, Numerical studies on the progressive collapse resistance of multi-story RC buildings with and without exterior masonry walls, *Structures*, 28, 1050-1059.

[45]. Zhou, H. and Li, J., 2020, Energy-based collapse assessment of concrete structures subjected to random damage evolutions, *Probabilistic Engineering Mechanics*, 60, 103019.

[46]. Panahi, S. and Zahrai, S.M., 2021, Performance of typical plan concrete buildings under progressive collapse, *Structures*, 31, 1163-1172.

[47]. Scalvenzi, M. and Parisi, F., 2021, Progressive collapse capacity of a gravity-load designed RC building partially collapsed during structural retrofitting, *Engineering Failure Analysis*, 121, 105164.

[48]. Mucedero, G., Brunesi, E. and Parisi, F., 2021, Progressive collapse resistance of framed buildings with partially encased composite beams, *Journal of Building Engineering*, 38, 102228.

[49]. Garg, S., Agrawal, V. and Nagar, R., 2021, Case study on strengthening methods for progressive collapse resistance of RC flat slab buildings, *Structures*, 29, 1709-1722.

[50]. Qian, K., Lan, D-Q., Li, S.K. and Fu, F., 2021, Effects of infill walls on load resistance of multi-story RC frames to mitigate progressive collapse, *Structures*, 33, 2534-2545.

[51]. Kumar, P., Lavendra, S. and Raghavendra, T., 2022, Progressive collapse resistance of reinforced concrete frame structures subjected to column removal scenario, *Materials Today: Proceedings*, 61 (2), 264-274.

[52]. Lin, K., Chen, Z., Li, Y. and Lu, X., 2022, Uncertainty analysis on progressive collapse of RC frame structures under dynamic column removal scenarios, *Journal of Building Engineering*, 46, 103811.

[53]. Vinay, M., Rao, P.K.R., Dey, S., Swaroop, A.H.L., Sreenivasulu, A. and Rao, K.V., 2022, Evaluation of progressive collapse behavior in reinforced concrete buildings, *Structures*, 45, 1902-1919.

[54]. Scalvenzi, M., Gargiulo, S., Freddi, F. and Parisi, F., 2022, Impact of seismic retrofitting on progressive collapse resistance of RC frame structures, *Engineering Failure Analysis*, 131, 105840.

[55]. Mirzahosseini, H., Mirhosseini, S.M. and Zeighami, E., 2023, Progressive collapse assessment of reinforced concrete (RC) buildings with high-performance fiber-reinforced cementitious composites (HPFRCC), *Structures*, 49, 139-151.

[56]. Xudong, H., Shuli, S., Pu, C. and Tao, L., 2023, A Multi-Scenario analysis method for collapse risks due to initial local failure of building structures, *Structures*, 58, 105479.

[57]. Yin, X.J., Zhang, B., Yu, Q-Q. and Gu, X-L., 2023, Overturning collapse responses of RC frame-shear wall structures induced by failure of vertical members, *Engineering Structures*,285, 116078.

[58]. Gan, Y., Chen, J. and Xiang, M., 2023, PDEM-based reliability assessment of RC frames against progressive collapse considering initial local failure, *Journal of Building Engineering*, 76, 107198.

[59]. Ibrahim, A.R., Makhloof, D.A. and Ren, X., 2023, Probabilistic progressive collapse assessment for RC framed-wall structure, *Structures*, 48, 551-575.

[60]. Lin, K., Wu, Z., Zhu, Y., Zheng, J., Li, Y. and Lu, X., 2023, Progressive collapse design optimization of RC frame structures using high-performance computing, *Structures*, 50, 823-834.

[61]. Wang, S., Cheng, X., Li, Y., Song, X., Guo, R., Zhang, H. and Liang, Z., 2023, Rapid visual simulation of the progressive collapse of regular reinforced concrete frame structures based on machine learning and physics engine, *Engineering Structures*, 286, 116129.

[62]. Li, R., Yu, J., Zhou, X. and Zhao, M., 2023, Analysis of progressive collapse process of RC structures based on hybrid framework of FEM-physics engine, *Engineering Failure Analysis*, 147, 107138.

[63]. Chen, Z., Zhu, Y., Lu, X. and Lin, K., 2023, A simplified method for quantifying the progressive collapse fragility of multi-story RC frames in China, *Engineering Failure Analysis*, 143 (A), 106924.

[64]. Al-Sadoon, Z.A., Junaid, M.T., Al-Sabouni, U., Dabous, S.A. and Almaghari, H., 2024, Resilience of code compliant reinforced concrete buildings to progressive collapse: A numerical analysis investigation, *Results in Engineering*, 24, 102982.

[65]. Negrin, I., Kripka, M., Yepes, V., 2025, Metamodel-assisted design optimization of robust-to-progressive-collapse RC frame buildings considering the impact of floor slabs, infill walls, and SSI implementation, *Engineering Structures*, 325, 119487.

[66]. Shahriar, Md. S. and Amanat, K.M., 2025, Investigation on collapse mechanism of soft ground storied buildings at different locations of Bangladesh based on pushover analysis, *Structures*, 79, 109620.

[67]. Li, R., Yu, J. and Zhou, X., 2025, A vulnerability assessment framework for the disproportionate collapse of RC frame structures subjected to multiple column removal scenarios, *Journal of Building Engineering*, 100, 111659.

[68]. Li, B., Zhu, Y., Wang, W. and Gu, L., 2025, A three-dimensional analytical framework for progressive collapse response of RC frames under column loss scenario, *Journal of Building Engineering*, 106, 112608.

[69]. ETABS, (v. 2021). "Structural Analysis Program, Computers and Structures Inc.", Berkeley.

[70]. Fu, F., 2015, Advanced Modelling Techniques in Structural Design, First ed., John Wiley & Sons, Ltd., United Kingdom, ISBN: 978-1-118-82543-3.

[71]. FEMA P695: Quantification of Building Seismic Performance Factors, 2009, Applied Technology Council, Redwood City, California 94065.

[72]. https://tdth.afad.gov.tr/

[73]. https://ngawest2.berkeley.edu/

[74]. Karapınar, M.F., Gunes, B. and Sayin, B., 2023, Nonlinear time history analysis of a low-story RC building: Comparison of the existing and retrofitted states, *Journal of Structural Engineering & Applied Mechanics*, 6 (1), 10-26.

[75]. Matlab (2022) Mathematical Computing Software For Engineers And Scientists, The MathWorks Inc., United States.

[76]. TBDY-2018; Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği: Deprem etkisi altında binaların tasarımı için esaslar, Resmi Gazete, 18.03.2018, 30364.

[77]. Shehu, R., Angjeliu, G., and Bilgin, H., 2019, A Simple Approach for the Design of Ductile Earthquake-Resisting Frame Structures Counting for P-Delta Effect *Buildings*, 9 (10), 216-232.

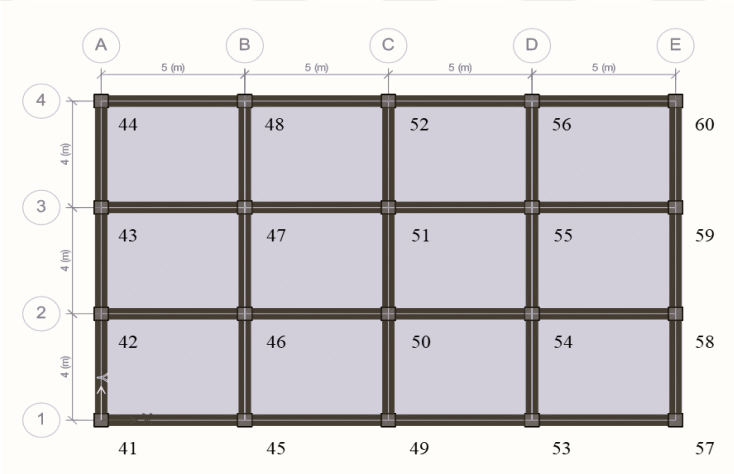
[78]. ASCE 7-22; Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures, *Amerikan Society of Civil Engineers*, Reston, Virginia, 20191-4382.

[79]. Eurocode 8; Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings, European Committee For Standardization.

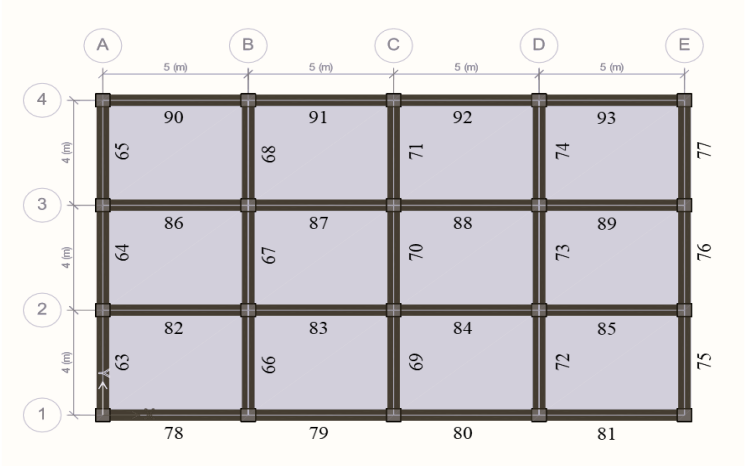
EKLER

Ek 1. Model A Planları

Bu ek kapsamında model A'nın birinci kat kolon ve kiriş graf numaralarını açıklayan planlar paylaşılmıştır.



Şekil Ek.1.1: Model A; kat 1 kolon graf numaraları.



Şekil Ek.1.2: Model A; kat 1 kiriş graf numaraları.

İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI

AŞAMALI GÖÇMEYE MARUZ KALAN BETONARME BİNALARIN DAVRANIŞI

ORİJİNALLİK RAPORU

%7	%5	%5	%2
BENZERLİK ENDEKSİ	İNTERNET KAYNAKLARI	YAYINLAR	ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ

BİRİNCİL KAYNAKLAR

1	acikbilim.yok.gov.tr İnternet Kaynağı	%2
2	Nama, Esra. "Türkiye' de 2007 Yılından Önce Güçlendirilmiş Betonarme Yapıların Deprem Performanslarının Incelenmesi ve 2018 Deprem Yönetmeliği Kapsamında Değerlendirilmesi", Maltepe University (Turkey), 2025 Yayın	%1
3	unsworks.unsw.edu.au İnternet Kaynağı	%1
4	Submitted to The Scientific & Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) Öğrenci Ödevi	%1
5	pdfcoffee.com İnternet Kaynağı	%1
6	Submitted to Beykent Universitesi Öğrenci Ödevi	<%1
7	hdl.handle.net İnternet Kaynağı	<%1
8	dspace.dtu.ac.in:8080 İnternet Kaynağı	<%1
9	era.library.ualberta.ca İnternet Kaynağı	<%1

KURUM İZNİ YAZILARI

Uyarı: Canlı ve cansız deneklerle yapılan tüm çalışmalar için kurum izin belgelerinin eklenmesi zorunludur. Gizlilik ve mahremiyet içeren durumlarda kurum adı kapatılmalıdır.

☐ **Kurum izni gerekmektedir.**

☒ **Kurum izni gerekmemektedir.**

Kamran SAMADI
(İmza)