T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BURKULMASI ÖNLENMİŞ ÇAPRAZLARIN MERKEZİ ÇAPRAZLI ÇERÇEVELERİN DEPREM DAVRANIŞINA ETKİSİ

YAHYA GENÇ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
DEPREM VE YAPI MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

GEBZE
2017

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BURKULMASI ÖNLENMİŞ ÇAPRAZLARIN MERKEZİ ÇAPRAZLI ÇERÇEVELERİN DEPREM DAVRANIŞINA ETKİSİ

YAHYA GENÇ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
DEPREM VE YAPI MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

DANIŞMANI
PROF. DR. BÜLENT AKBAŞ

GEBZE
2017

T.R.

GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

EFFECTS OF BUCKLING RESTRAINED BRACES TO SEISMIC BEHAVIOR OF CONCENTRICALLY BRACED FRAMES

YAHYA GENÇ

A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

EARTHQUAKE AND STRUCTURAL ENGINEERING PROGRAM

THESIS SUPERVISOR

PROF. DR. BÜLENT AKBAŞ

GEBZE

2017

GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ	**YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU**

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 18/01/2017 tarih ve 2017/04 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 09/02/2017 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Yahya GENÇ'in tez çalışması İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE
(TEZ DANIŞMANI) : Prof. Dr. Bülent AKBAŞ

ÜYE : Y. Doç. Dr. Ahmet Anıl DİNDAR

ÜYE : Doç. Dr. Eren UÇKAN

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
...../...../..... tarih ve ...../..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

Merkezi Çaprazlı Çelik Çerçeve (MÇÇÇ)'ler yatay yükler etkisinde ötelemeyi sınırlayan, deprem etkileri altında sınırlı sünek davranış gösteren oldukça rijit taşıyıcı sistemlerdir. MÇÇÇ'lerde kullanılan geleneksel çapraz elemanlar basınç kuvveti etkisinde burkularak ani dayanım kaybına uğrarlar. Burkulması Önlenmiş Çapraz (BÖÇ) kullanılan sistemlerde çaprazlar basınç kuvveti altındaki burkulmadığından simetrik bir çevrimsel eğri oluştururlar ve enerji yutma kapasiteleri fazladır.

Bu çalışmada 3 ve 9 kattan oluşan MÇÇÇ taşıyıcı sistemine sahip bina türü yapılar geleneksel çapraz ve BÖÇ kullanılarak tasarlanmıştır. Tasarlanan yapılar, 3 adet yer hareketi kaydına maruz bırakılarak artımsal dinamik analiz ile doğrusal olmayan davranışları ve doğrusal olmayan deprem performansları incelenmiştir. Elde edilen tablo ve grafikler çalışmada sunulmuş ve karşılaştırma yapılmıştır. Sonuçlar, BÖÇ kullanılan MÇÇÇ'lerin deprem performanslarının daha iyi olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Merkezi Çaprazlı Çelik Çerçeveler (MÇÇÇ), Burkulması Önlenmiş Çapraz (BÖÇ).

SUMMARY

Concentrically Braced Frames (CBFs) are considered to be rigid lateral force resisting systems with limited ductility. Conventional braces in CBFs buckles under compression with a sudden loss of axial strength. However, buckling restrained braces (BRBs) do not buckle under compression and thus have a symmetrical hysteresis curve with high energy dissipation capacity.

In this study, a set of 3 and 9 story buildings are designed by both conventional braces and BRBs. The building frames are, then, subjected to incremental dynamic analyzes(IDA) using three strong ground motion records. The nonlinear behavior and earthquake performance of the frames are investiged in detail.

The results are presented in the form of tables and graphs comparing the nonlinear behavior of both frame types. The results indicate that the seismic performance of BRB frames are better than CBFs in term of ductility, plastic deformation and lateral displacement demands.

Key Words: Concentrically Braced Frames (CBF), Buckling Restrained Braced Frames(BRBF).

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim ve yüksek lisans tezim boyunca bilgi ve tecrübesini esirgemeyen tez danışmanım Prof. Dr. Bülent AKBAŞ'a, bütün çalışmam boyunca yanımda olan, bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan değerli meslektaşım İnşaat Mühendisi Selçuk UZUN'a ve göstermiş olduğu desteklerinden dolayı sevgili aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
TABLOLAR DİZİNİ	xviii
1. GİRİŞ	1
1.1. Amaç ve Kapsam	2
2. MERKEZİ ÇAPRAZLI ÇELİK ÇERÇEVELER	3
2.1. Literatür Özeti	3
2.2. Merkezi Çaprazlı Çerçevenin Deprem Davranışı	5
2.3. Merkezi Çaprazlı Çerçevenin Tasarım Esasları	5
3. BURKULMASI ÖNLENMİŞ ÇELİK ÇAPRAZLI ÇERÇEVELER	7
3.1. Genel Bilgiler	7
3.2. Literatür Özeti	10
3.3. Burkulması Önlenmiş Çaprazlı Çelik Çerçevelerin Tasarım Esasları	11
4. ANALİTİK ÇALIŞMA	13
4.1. Yapıların Tanıtımı	13
4.2. Üç Katlı Merkezi Çaprazlı Çelik Çerçeve Tasarımı	15
4.2.1. Düşey Yükler	15
4.2.2. Deprem Karakteristikleri	16
4.2.3. Katlara Etkiyen Deprem Yükleri	17
4.2.4. Göreli Kat Ötelemesi Kontrolü	18
4.2.5. Çaprazların Boyutlandırılması	19
4.2.6. Kolonların Boyutlandırılması	21
4.2.6.1.Çaprazlı Açıklıktaki Kolonların Boyutlandırılması	21
4.2.6.2.Çaprazsız Açıklıktaki Kolonların Boyutlandırılması	24
4.2.7. Kirişlerin Boyutlandırılması	25

4.2.7.1. Çaprazlı Açıklıktaki Kirişlerin Boyutlandırılması 25
4.2.7.2. Çaprazsız Açıklıktaki Kirişlerin Boyutlandırılması 28
4.3. Üç Katlı Burkulması Önlenmiş Çaprazlı Çelik Çerçeve Tasarımı 29
4.3.1. Düşey Yükler 29
4.3.2. Deprem Karakteristikleri 30
4.3.3. Katlara Etkiyen Deprem Yükleri 31
4.3.4. Göreli Kat Ötelemesi Kontrolü 32
4.3.5. Çaprazların Boyutlandırılması 33
4.3.6. Kolonların Boyutlandırılması 36
4.3.6.1.Çaprazlı Açıklıktaki Kolonların Boyutlandırılması 36
4.3.6.2.Çaprazsız Açıklıktaki Kolonların Boyutlandırılması 39
4.3.7. Kirişlerin Boyutlandırılması 40
4.3.7.1. Çaprazlı Açıklıktaki Kirişlerin Boyutlandırılması 40
4.3.7.2. Çaprazsız Açıklıktaki Kirişlerin Boyutlandırılması 43
4.4. Dokuz Katlı Merkezi Çaprazlı Çelik Çerçeve Tasarımı 44
4.4.1. Düşey Yükler 44
4.4.2. Deprem Karakteristikleri 45
4.4.3. Katlara Etkiyen Deprem Yükleri 46
4.4.4. Göreli Kat Ötelemesi Kontrolü 47
4.4.5. Çaprazların Boyutlandırılması 48
4.4.6. Kolonların Boyutlandırılması 51
4.4.6.1. Çaprazlı Açıklıktaki Kolonların Boyutlandırılması 51
4.4.6.2. Çaprazsız Açıklıktaki Kolonların Boyutlandırılması 53
4.4.7. Kirişlerin Boyutlandırılması 55
4.4.7.1. Çaprazlı Açıklıktaki Kirişlerin Boyutlandırılması 55
4.4.7.2. Çaprazsız Açıklıktaki Kirişlerin Boyutlandırılması 59
4.5. Dokuz Katlı Burkulması Önlenmiş Merkezi Çaprazlı Çelik Çerçeve Tasarımı 60
4.5.1. Düşey Yükler 60
4.5.2. Deprem Karakteristikleri 61
4.5.3. Katlara Etkiyen Deprem Yükleri 62
4.5.4. Göreli Kat Ötelemesi Kontrolü 63
4.5.5. Çaprazların Boyutlandırılması 64
4.5.6. Kolonların Boyutlandırılması 67

4.5.6.1.Çaprazlı Açıklıktaki Kolonların Boyutlandırılması 67
4.5.6.2.Çaprazsız Açıklıktaki Kolonların Boyutlandırılması 71
4.5.7. Kirişlerin Boyutlandırılması 72
4.5.7.1. Çaprazlı Açıklıktaki Kirişlerin Boyutlandırılması 72
4.5.7.2. Çaprazsız Açıklıktaki Kirişlerin Boyutlandırılması 76
4.6. Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanında Analizler 77
4.6.1. Plastik Mafsal Özellikleri 77
4.6.2. Deprem Kayıtlarının Ölçeklenmesi 80
4.7. Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması 84
4.7.1. Üç Katlı Yapıların Analiz Sonuçları 84
4.7.1.1. Üç Katlı Yapılarda Çaprazlarda oluşan iç kuvvet ve şekil değiştirmeler 84
4.7.1.2. Üç Katlı Yapılarda Tepe Deplasmanları 102
4.7.2. Dokuz Katlı Yapıların Analiz Sonuçları 106
4.7.2.1. Dokuz Katlı Yapılarda Çaprazlarda oluşan iç kuvvet ve şekil değiştirmeler 107
4.7.2.2. Dokuz Katlı Yapılarda Tepe Deplasmanları 124
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 128

KAYNAKLAR 130
ÖZGEÇMİŞ 132

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler ve Kısaltmalar		**Açıklamalar**
L_f	:	Faya olan dik uzaklık
S_{DS}	:	Kısa periyod bölgesi için tanımlanan tasarlanan spektral ivme katsayısı
ω	:	Pekleşme etkisi düzeltme katsayısı
ε	:	Birim uzama oranı
β	:	Basınç dayanımı düzeltme katsayısı
ϕ	:	Dayanım Katsayısı
λ	:	Göreli kat ötelemesinin sınırlandırılmasında kullanılan amprik katsayı
$S_{aR}(T)$	:	Azaltılmış tasarım spektral ivmesi
sn	:	Saniye
$R_a(T)$	:	Deprem yükü azaltma katsayısı
A_g	:	Kayıpsız enkesit alanı
F_{cr}	:	Kritik burkulma gerilmesi
A_{sc}	:	Çelik çekirdeğin akma şekildeğiştirmesi gösteren enkesit alanı
W_i	:	i'inci kat ağırlığı
F_y	:	Çeliğin karakteristik akma dayanımı
H_N	:	Binanın toplam yüksekliği
ASCE	:	Amerikan İnşaat Mühendisleri Birliği
BYS	:	Bina yükseklik sınırı
BÖÇ	:	Burkulması Önlenmiş Çapraz
BÖÇÇÇ	:	Burkulması Önlenmiş Çaprazlı Çerçeve
DTS	:	Deprem Tasarım Sınıfı
MÇÇÇ	:	Merkezi Çaprazlı Çerçeve
TBDY	:	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No:		Sayfa
2.1:	Yaygın olarak kullanılan çapraz türleri a) Çok katlı X çaprazlar, b) Ters V çaprazlar, c) V çaprazlar.	3
2.2:	Merkezi çaprazlı çerçeve doğrusal olmayan davranışı.	5
3.1:	Burkulması önlenmiş çaprazın akma şekil değiştirme mekanizması.	7
3.2:	Diagonal Tip Burkulması Önlenmiş Merkezi Çapraz.	8
3.3:	Ters V Tip Burkulması Önlenmiş Merkezi Çapraz.	8
3.4:	Tipik burkulması önlenmiş çapraz detayı.	9
3.5:	Geleneksel çapraz ile Burkulması önlenmiş çapraz Eksenel Kuvvet-Deformasyon ilişkisinin karşılaştırılması.	9
3.6:	Burkulması önlenmiş çaprazlı çerçeve tasarım adımları.	12
4.1:	Üç ve dokuz katlı binalar için tipik kat planı.	13
4.2:	Üç katlı bina çaprazlı dış çerçeve geometrisi.	14
4.3:	Dokuz katlı bina çaprazlı dış çerçeve geometrisi.	14
4.4:	Düşey yüklerin çaprazlara aktarım kabulü.	19
4.5:	Kirişte oluşan dengelenmemiş çapraz kuvveti.	25
4.6:	Burkulması önlenmiş çaprazın uzamasının çerçeveye olan etkisi.	34
4.7:	Çaprazlarda birim şekildeğiştirme için ω ve $\beta\omega$ değerleri.	35
4.8:	Burkulması önlenmiş çaprazlı çerçevede kolona etkiyen kuvvetler.	37
4.9:	Kirişte oluşan Dengelenmemiş çapraz kuvveti.	40
4.10:	Düşey yüklerin çaprazlara aktarım kabulü.	49
4.11:	Kirişte oluşan Dengelenmemiş çapraz kuvveti.	55
4.12:	Burkulması önlenmiş çaprazın uzamasının çerçeveye olan etkisi.	65
4.13:	Çaprazlarda birim şekildeğiştirme için ω ve $\beta\omega$ değerleri.	66
4.14:	Burkulması önlenmiş çaprazlı çerçevede kolona etkiyen kuvvetler.	68
4.15:	Kirişte oluşan Dengelenmemiş çapraz kuvveti.	72
4.16:	SAP2000'de kullanılan MÇÇÇ burkulmalı plastik mafsal modeli.	78
4.17:	SAP2000'de kullanılan BÖÇÇÇ burkulmalı plastik mafsal modeli.	78
4.18:	1995 Kobe depremi Kakogawa istasyonu 0 yönü İvme-Zaman grafiği.	80
4.19:	1999 Kocaeli depremi İzmit istasyonu180 yönü İvme-Zaman grafiği.	81

4.20: 1994 Northridge depremi Newhall istasyon 90 yönü İvme-Zaman grafiği. 81
4.21: a)0.48 sn periyodunda 1g, b)0.88sn periyodunda 1g, c)1.62sn periyodunda 0.5g, d)1.89sn periyodunda 0.5g spektral ivme değerlerine karşılık gelen, e) TBDY'e göre ölçeklendirilmiş depremlerin tepki spektrumları 83
4.22: 3 Katlı yapılar için eleman numaraları 84
4.23: 3 Katlı MÇÇÇ'de Kobe-1g depremi için 1 numaralı çaprazda oluşan a) Eksenel kuvvet-Plastik deformasyon, b) Eksenel kuvvet-Zaman grafiği, c) Birim şekildeğiştirme-zaman grafiği 85
4.24: 3 Katlı MÇÇÇ'de Kobe-1.5g depremi için 1 numaralı çaprazda oluşan a) Eksenel kuvvet-Plastik deformasyon, b) Eksenel kuvvet-Zaman grafiği, c) Birim şekildeğiştirme-zaman grafiği 86
4.25: 3 Katlı MÇÇÇ'de Kobe-2g depremi için 2 numaralı çaprazda oluşan a) Eksenel kuvvet-Plastik deformasyon, b) Eksenel kuvvet-Zaman grafiği, c) Birim şekildeğiştirme-zaman grafiği 87
4.26: 3 Katlı MÇÇÇ'de Kocaeli-1g depremi için 2 numaralı çaprazda oluşan a) Eksenel kuvvet-Plastik deformasyon, b) Eksenel kuvvet-Zaman grafiği, c) Birim şekildeğiştirme-zaman grafiği 88
4.27: 3 Katlı MÇÇÇ'de Kocaeli-1.5g depremi için 2 numaralı çaprazda oluşan a) Eksenel kuvvet-Plastik deformasyon, b) Eksenel kuvvet-Zaman grafiği, c) Birim şekildeğiştirme-zaman grafiği 89
4.28: 3 Katlı MÇÇÇ'de Kocaeli-2g depremi için 2 numaralı çaprazda oluşan a) Eksenel kuvvet-Plastik deformasyon, b) Eksenel kuvvet-Zaman grafiği, c) Birim şekildeğiştirme-zaman grafiği 90
4.29: 3 Katlı MÇÇÇ'de Northridge-1g depremi için 4 numaralı çaprazda oluşan a) Eksenel kuvvet-Plastik deformasyon, b) Eksenel kuvvet-Zaman grafiği, c) Birim şekildeğiştirme-zaman grafiği 91
4.30: 3 Katlı MÇÇÇ'de Northridge-1.5g depremi için 1 numaralı çaprazda oluşan a) Eksenel kuvvet-Plastik deformasyon, b) Eksenel kuvvet-Zaman grafiği, c) Birim şekildeğiştirme-zaman grafiği 92
4.31: 3 Katlı MÇÇÇ'de Northridge-2g depremi için 1 numaralı çaprazda oluşan a) Eksenel kuvvet-Plastik deformasyon, b) Eksenel kuvvet-Zaman grafiği, c) Birim şekildeğiştirme-zaman grafiği 93

4.32: 3 Katlı BÖÇÇÇ'de KOBE-1g depremi için 1 numaralı çaprazda oluşan a) Eksenel kuvvet-Plastik deformasyon, b) Eksenel kuvvet-Zaman grafiği, c) Birim şekildeğiştirme-zaman grafiği 94
4.33: 3 Katlı BÖÇÇÇ'de KOBE-1.5g depremi için 1 numaralı çaprazda oluşan a) Eksenel kuvvet-Plastik deformasyon, b) Eksenel kuvvet-Zaman grafiği, c) Birim şekildeğiştirme-zaman grafiği 95
4.34: 3 Katlı BÖÇÇÇ'de KOBE-2g depremi için 1 numaralı çaprazda oluşan a) Eksenel kuvvet-Plastik deformasyon, b) Eksenel kuvvet-Zaman grafiği, c) Birim şekildeğiştirme-zaman grafiği 96
4.35: 3 Katlı BÖÇÇÇ'de KOCAELİ-1g depremi için 1 numaralı çaprazda oluşan a) Eksenel kuvvet-Plastik deformasyon, b) Eksenel kuvvet-Zaman grafiği, c) Birim şekildeğiştirme-zaman grafiği 97
4.36: 3 Katlı BÖÇÇÇ'de KOCAELİ-1.5g depremi için 1 numaralı çaprazda oluşan a) Eksenel kuvvet-Plastik deformasyon, b) Eksenel kuvvet-Zaman grafiği, c) Birim şekildeğiştirme-zaman grafiği 98
4.37: 3 Katlı BÖÇÇÇ'de KOCAELİ-2g depremi için 1 numaralı çaprazda oluşan a) Eksenel kuvvet-Plastik deformasyon, b) Eksenel kuvvet-Zaman grafiği, c) Birim şekildeğiştirme-zaman grafiği 99
4.38: 3 Katlı BÖÇÇÇ'de NORTHRIDGE-1g depremi için 1 numaralı çaprazda oluşan a) Eksenel kuvvet-Plastik deformasyon, b) Eksenel kuvvet-Zaman grafiği, c) Birim şekildeğiştirme-zaman grafiği 100
4.39: 3 Katlı BÖÇÇÇ'de NORTHRIDGE-1.5g depremi için 1 numaralı çaprazda oluşan a) Eksenel kuvvet-Plastik deformasyon, b) Eksenel kuvvet-Zaman grafiği, c) Birim şekildeğiştirme-zaman grafiği 101
4.40: 3 Katlı BÖÇÇÇ'de NORTHRIDGE-2g depremi için 1 numaralı çaprazda oluşan a) Eksenel kuvvet-Plastik deformasyon, b) Eksenel kuvvet-Zaman grafiği, c) Birim şekildeğiştirme-zaman grafiği 102
4.41: 3 Katlı MÇÇÇ ve BÖÇÇÇ'li yapıların Kobe Depremi için a)1g Spektral ivme, b)1.5g Spektral ivme, c)2g spektral ivme değerlerine göre ölçeklenmiş deprem kayıtları etkisinde bina tepe deplasmanları karşılaştırılması. 103
4.42: 3 Katlı MÇÇÇ ve BÖÇÇÇ'li yapıların Kocaeli Depremi için a)1g Spektral ivme, b)1.5g Spektral ivme, c)2g spektral ivme değerlerine

göre ölçeklenmiş deprem kayıtları etkisinde bina tepe deplasmanları karşılaştırılması. 104
4.43: 3 Katlı MÇÇÇ ve BÖÇÇÇ'li yapıların Northridge Depremi için a)1g Spektral ivme, b)1.5g Spektral ivme, c)2g spektral ivme değerlerine göre ölçeklenmiş deprem kayıtları etkisinde bina tepe deplasmanları karşılaştırılması. 105
4.44: 9 Katlı yapılar için eleman numaraları 106
4.45: 9 Katlı MÇÇÇ'de KOBE-0.5g depremi için 6 numaralı çaprazda oluşan a) Eksenel kuvvet-Plastik deformasyon, b) Eksenel kuvvet-Zaman grafiği, c) Birim şekildeğiştirme-zaman grafiği 107
4.46: 9 Katlı MÇÇÇ'de KOBE-0.75g depremi için 9 numaralı çaprazda oluşan a) Eksenel kuvvet-Plastik deformasyon, b) Eksenel kuvvet-Zaman grafiği, c) Birim şekildeğiştirme-zaman grafiği 108
4.47: 9 Katlı MÇÇÇ'de KOBE-1g depremi için 9 numaralı çaprazda oluşan a) Eksenel kuvvet-Plastik deformasyon, b) Eksenel kuvvet-Zaman grafiği, c) Birim şekildeğiştirme-zaman grafiği 109
4.48: 9 Katlı MÇÇÇ'de KOCAELİ-0.5g depremi için 4 numaralı çaprazda oluşan a) Eksenel kuvvet-Plastik deformasyon, b) Eksenel kuvvet-Zaman grafiği, c) Birim şekildeğiştirme-zaman grafiği 110
4.49: 9 Katlı MÇÇÇ'de KOCAELİ-0.75g depremi için 3 numaralı çaprazda oluşan a) Eksenel kuvvet-Plastik deformasyon, b) Eksenel kuvvet-Zaman grafiği, c) Birim şekildeğiştirme-zaman grafiği 111
4.50: 9 Katlı MÇÇÇ'de KOCAELİ-1g depremi için 3 numaralı çaprazda oluşan a) Eksenel kuvvet-Plastik deformasyon, b) Eksenel kuvvet-Zaman grafiği, c) Birim şekildeğiştirme-zaman grafiği 112
4.51: 9 Katlı MÇÇÇ'de NORTHRIDGE-0.5g depremi için 4 numaralı çaprazda oluşan a) Eksenel kuvvet-Plastik deformasyon, b) Eksenel kuvvet-Zaman grafiği, c) Birim şekildeğiştirme-zaman grafiği. 113
4.52: 9 Katlı MÇÇÇ'de NORTHRIDGE-0.75g depremi için 10 numaralı çaprazda oluşan a) Eksenel kuvvet-Plastik deformasyon, b) Eksenel kuvvet-Zaman grafiği, c) Birim şekildeğiştirme-zaman grafiği. 114
4.53: 9 Katlı MÇÇÇ'de NORTHRIDGE-1g depremi için 10 numaralı çaprazda oluşan a) Eksenel kuvvet-Plastik deformasyon, b) Eksenel kuvvet-Zaman grafiği, c) Birim şekildeğiştirme-zaman grafiği. 115

4.54: 9 Katlı BÖÇÇÇ'de KOBE-0.5g depremi için 3 numaralı çaprazda oluşan a) Eksenel kuvvet-Plastik deformasyon, b) Eksenel kuvvet-Zaman grafiği, c) Birim şekildeğiştirme-zaman grafiği. 116
4.55: 9 Katlı BÖÇÇÇ'de KOBE-0.75g depremi için 3 numaralı çaprazda oluşan a) Eksenel kuvvet-Plastik deformasyon, b) Eksenel kuvvet-Zaman grafiği, c) Birim şekildeğiştirme-zaman grafiği. 117
4.56: 9 Katlı BÖÇÇÇ'de KOBE-1 g depremi için 3 numaralı çaprazda oluşan a) Eksenel kuvvet-Plastik deformasyon, b) Eksenel kuvvet-Zaman grafiği, c) Birim şekildeğiştirme-zaman grafiği. 118
4.57: 9 Katlı BÖÇÇÇ'de KOCAELİ-0.5 g depremi için 4 numaralı çaprazda oluşan a) Eksenel kuvvet-Plastik deformasyon, b) Eksenel kuvvet-Zaman grafiği, c) Birim şekildeğiştirme-zaman grafiği. 119
4.58: 9 Katlı BÖÇÇÇ'de KOCAELİ-0.75 g depremi için 3 numaralı çaprazda oluşan a) Eksenel kuvvet-Plastik deformasyon, b) Eksenel kuvvet-Zaman grafiği, c) Birim şekildeğiştirme-zaman grafiği. 120
4.59: 9 Katlı BÖÇÇÇ'de KOCAELİ-1g depremi için 4 numaralı çaprazda oluşan a) Eksenel kuvvet-Plastik deformasyon, b) Eksenel kuvvet-Zaman grafiği, c) Birim şekildeğiştirme-zaman grafiği. 121
4.60: 9 Katlı BÖÇÇÇ'de NORTHRIDGE-0.5g depremi için 4 numaralı çaprazda oluşan a) Eksenel kuvvet-Plastik deformasyon, b) Eksenel kuvvet-Zaman grafiği, c) Birim şekildeğiştirme-zaman grafiği. 122
4.61: 9 Katlı BÖÇÇÇ'de NORTHRIDGE-0.75g depremi için 4 numaralı çaprazda oluşan a) Eksenel kuvvet-Plastik deformasyon, b) Eksenel kuvvet-Zaman grafiği, c) Birim şekildeğiştirme-zaman grafiği. 123
4.62: 9 Katlı BÖÇÇÇ'de NORTHRIDGE-1g depremi için 4 numaralı çaprazda oluşan a) Eksenel kuvvet-Plastik deformasyon, b) Eksenel kuvvet-Zaman grafiği, c) Birim şekildeğiştirme-zaman grafiği. 124
4.63: 9 Katlı MÇÇÇ ve BÖÇÇÇ'li yapıların Kobe Depremi için a)0.5g Spektral ivme, b)0.75g Spektral ivme, c)1g spektral ivme değerlerine göre ölçeklenmiş deprem kayıtları etkisinde bina tepe deplasmanları karşılaştırılması. 125
4.64: 9 Katlı MÇÇÇ ve BÖÇÇÇ'li yapıların Kocaeli Depremi için a)0.5g Spektral ivme, b)0.75g Spektral ivme, c)1g spektral ivme değerlerine

göre ölçeklenmiş deprem kayıtları etkisinde bina tepe deplasmanları karşılaştırılması. 126

4.65: 9 Katlı MÇÇÇ ve BÖÇÇÇ'li yapıların Northridge Depremi için a)0.5g Spektral ivme, b)0.75g Spektral ivme, c)1g spektral ivme değerlerine göre ölçeklenmiş deprem kayıtları etkisinde bina tepe deplasmanları karşılaştırılması. 127

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo No:		Sayfa
4.1:	Üç katlı MÇÇÇ binası için katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri.	18
4.2:	MÇÇÇ Göreli kat ötelemeleri.	18
4.3:	MÇÇÇ Çaprazlarının tasarımı.	21
4.4:	Çaprazlı açıklıktaki kolonların tasarımı.	23
4.5:	Çaprazsız açıklıktaki dış kolonların tasarımı.	24
4.6:	Çaprazlı açıklıktaki kirişlerin eğilme etkisi altında tasarımı.	27
4.7:	Çaprazlı açıklıktaki kirişlerin eksenel basınç etkisi altında tasarımı.	27
4.8:	Çaprazlı açıklıktaki kirişlerin birleşik kuvvet etkisi altında tasarımı.	28
4.9:	Çaprazsız açıklıktaki kirişlerin tasarımı.	28
4.10:	Üç katlı BÖÇÇÇ binası için katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri.	32
4.11:	BÖÇÇÇ Göreli kat ötelemeleri.	33
4.12:	Burkulması Önlenmiş Çaprazların Tasarımı.	35
4.13:	Çaprazlı açıklıktaki kolonların tasarımı.	38
4.14:	Çaprazsız açıklıktaki dış kolonların tasarımı.	40
4.15:	Çaprazlı açıklıktaki kirişlerin eğilme etkisi altında tasarımı.	42
4.16:	Çaprazlı açıklıktaki kirişlerin eksenel basınç etkisi altında tasarımı.	42
4.17:	Çaprazsız açıklıktaki kirişlerin tasarımı.	43
4.18:	Dokuz katlı MÇÇÇ binası için katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri.	47
4.19:	MÇÇÇ göreli kat ötelemeleri.	48
4.20:	MÇÇÇ çaprazlarının tasarımı.	50
4.21:	Çaprazlı açıklıktaki kolonların tasarımı.	53
4.22:	Çaprazsız açıklıktaki dış kolonların tasarımı.	54
4.23:	Çaprazlı açıklıktaki kirişlerin eğilme etkisi altında tasarımı.	57
4.24:	Çaprazlı açıklıktaki kirişlerin eksenel basınç etkisi altında tasarımı	58
4.25:	Çaprazlı açıklıktaki kirişlerin birleşik kuvvet etkisi altında tasarımı.	59
4.26:	Çaprazsız açıklıktaki kirişlerin tasarımı.	59
4.27:	Dokuz katlı MÇÇÇ binası için katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri	63
4.28:	BÖÇÇÇ göreli kat ötelemeleri.	64
4.29:	Burkulması önlenmiş çaprazların tasarımı.	66
4.30:	Çaprazlı açıklıktaki kolonların tasarımı.	69

4.31: Çaprazsız açıklıktaki dış kolonların tasarımı. 71
4.32: Çaprazlı açıklıktaki kirişlerin eğilme etkisi altında tasarımı. 74
4.33: Çaprazlı açıklıktaki kirişlerin eksenel basınç etkisi altında tasarımı. 74
4.34: Çaprazlı açıklıktaki kirişlerin birleşik kuvvet etkisi altında tasarımı. 76
4.35: Çaprazsız açıklıktaki kirişlerin tasarımı. 76
4.36: 3 Katlı MÇÇÇ plastik mafsal hesabı. 79
4.37: 9 Katlı MÇÇÇ plastik mafsal hesabı. 79
4.38: 3 Katlı BÖÇÇÇ plastik mafsal hesabı. 79
4.39: 9 Katlı BÖÇÇÇ plastik mafsal hesabı. 79
4.40: 0.48sn periyotlu 3 Katlı MÇÇÇ için deprem kayıtları ve ölçekleme katsayıları. 81
4.41: 0.88sn periyotlu 3 katlı BÖÇÇÇ için deprem kayıtları ve ölçekleme katsayıları. 81
4.42: 1.62sn periyotlu 9 katlı MÇÇÇ için deprem kayıtları ve ölçekleme katsayıları. 82
4.43: 1.89sn periyotlu 9 Katlı BÖÇÇÇ için deprem kayıtları ve ölçekleme katsayıları. 82

1. GİRİŞ

Depremler ülkemizde ve dünyada en fazla can ve mal kayıplarına neden olan doğal afetlerin başında gelmektedir. Her büyük deprem bize yeni veriler sağlamaktadır. Bu gerçek yapı mühendislerini depreme dayanıklı yapı tasarımı felsefesini her büyük depremden sonra bir ileri aşamaya taşımayı zorunlu kılmaktadır.

Depreme dayanıklı yapı tasarımında iyi yapılmış taşıyıcı sistem, tasarımı iyi yapılmış çözümlemeden daha fazla önem arz eder. Düzgün tasarlanmamış bir taşıyıcı sistem iyi yapılacak bir analiz ve imalatta alınacak tedbirlerle dahi düzeltilemez. Buna rağmen tasarımı düzgün yapılmış bir taşıyıcı sistemi basit metotlar ile çözmek ve imal etmek mümkündür [Celep,2004].

1994 Northridge depremi taşıyıcı sistemi çelik çerçevelerden oluşan binalarda beklenmedik hasarlara neden olmuştur. Bu hasarların sebeplerini araştırmak amacıyla bir çok proje yürütülerek depreme dayanıklı çelik yapı tasarımı ile ilgili bir çok tasarım esası gözden geçirilerek yenilenmiştir. Son gelişmeler mühendisleri azaltılmış deprem ötelenmeleri sağlayan daha basit ve daha ekonomik çözümlere itmiştir. Böylece merkezi çaprazlı çerçeve kullanımı önceki yıllara göre büyük oranda artış göstermiştir.

Depreme dayanıklı çelik yapı tasarımında tasarım depremi etkisinde taşıyıcı sistemin belirli sınırlar içinde elastik ötesi bir davranış göstererek enerji yutması istenir. Taşıyıcı sistemin bu elastik ötesi davranış esnasında süneklik sağlayabilmesi için kolon ve kirişlerde hasarın eğilme etkisinde çapraz elemanlarda hasarın ise eksenel kuvvet etkisi altında akma olması beklenir.

2007 Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmeliğe (DBYBHY) göre çelik yapı taşıyıcı sistemlerinin deprem yükü taşıyan sistemleri sadece merkezi çaprazlı çerçevelerden, dış merkezi çaprazlı çerçevelerden, çerçevelerin çelik çaprazlı çerçeveler veya betonarme perdelerle birlikte çalıştığı sistemlerden oluşabileceği belirtilmektedir.

Merkezi çaprazlı çelik çerçeveler çelik yapı taşıyıcı sistem tasarımında sıklıkla kullanılan çerçeve sistemleri arasındadır. Geleneksel tip köşebent, kutu veya dairesel kesitli profillerden oluşan çaprazlardan teşkil edilen çerçevelerde tersinir tekrarlı deprem yüklerinin etkisi altında burkulma nedeni ile ani dayanım kaybı oluşması

sonucu eksenel kuvvet deformasyon eğrilerinin simetrik olmayışı ve bu duruma bağlı olarak enerji yutma kapasitesinde azalması nedeniyle son yıllarda yapılan araştırmalar neticesinde burkulması önlenmiş çaprazlar geliştirilmiştir.

Burkulması önlenmiş çaprazlar ön görülebilir ve simetrik eksenel kuvvet deformasyon kapasiteleri nedeniyle deprem etkileri altında oldukça yüksek sünek davranış sergilemektedirler.

1.1. Amaç ve Kapsam

Çelik yapı taşıyıcı sistemi olarak Merkezi Çaprazlı Çelik Çerçeve (MÇÇÇ) sıklıkla kullanılan deprem yükü taşıyıcı sistemlerdir. MÇÇÇ sistemlerinde doğrusal olmayan davranışın çaprazlarda olması beklenir. Yatay yük etkisinde çaprazlarda çekme kuvveti ile akma oluşmasına rağmen basınç kuvveti ile burkulma oluşarak ani taşıma gücü kaybı oluşur. Burkulması Önlenmiş Çaprazlı Çelik Çerçeve (BÖÇÇÇ) sistemlerinde çaprazların burkulmaya karşı güçlendirilmiş olmasından dolayı enerji yutma kapasitelerinde artış yaşanmakta ve deprem etkileri altında göreceli olarak daha sünek davranış sağlamaktadırlar.

Bu çalışmada, 3 ve 9 katlı iki çelik binada bir yönde taşıyıcı sistem olarak MÇÇÇ ve BÖÇÇÇ seçilerek 2016 yılında taslağı yayınlanan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) ve 2016 yılında yürürlüğe giren Çelik Yapı Tasarım Esasları yönetmeliklerine göre tasarlanmıştır. Her dört çaprazlı çerçeve daha sonra artımsal dinamik analiz ile farklı spektral ivme değerlerine göre ölçeklenen 3 adet yer hareketine maruz bırakılarak deprem performansları karşılaştırılmıştır.
Bu çalışmada aşağıdaki adımlar uygulanmıştır.

i) Burkulması önlenmiş çaprazlı 3 ve 9 katlı çelik çerçevelerin tasarlanması .

ii) Aynı çerçevelerin merkezi çaprazlı olarak tasarlanması.

iii) Her dört çerçevenin de 3 değişik yer hareketlerine maruz bırakılması ve deprem performanslarının belirlenmesi.

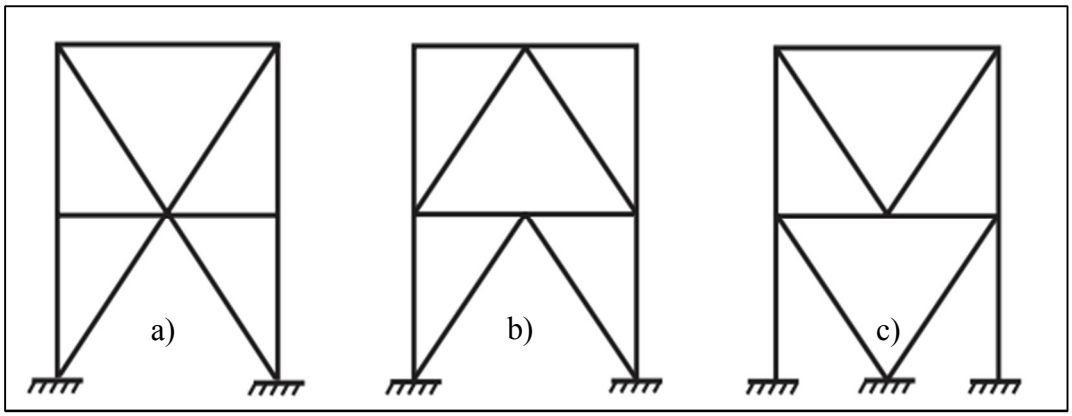
v) Bina tepe deplasmanları-zaman, kuvvet-birim deformasyon, Eksenel kuvvet-Zaman ve Eksenel deformasyon-Zaman grafikleri ile sonuçların karşılaştırılması.

2. MERKEZİ ÇAPRAZLI ÇELİK ÇERÇEVELER

2.1. Literatür Özeti

Çelik yapılarda yatay rijitliğin artırılması ve ötelemelerin sınırlandırılması için merkezi çaprazlı çelik çerçeveler sıklıkla kullanılan çelik yapı taşıyıcı sistem türlerindendir. Merkezi çaprazlı çerçeveler geçmiş dönemlerde yaşanan depremlerdeki performansları göz önünde bulundurulduğunda yüksek enerji yutma kapasitesine sahip oldukları görülmüştür.

Merkezi çaprazlı çelik çerçevelerin yaygın olarak kullanılan tipleri Şekil 2.1 de gösterilen çok katlı X çaprazlar, Ters V ve V çaprazlardır.



Şekil 2.1: Yaygın olarak kullanılan çapraz türleri a) Çok katlı X çaprazlar, b) Ters V çaprazlar, c) V çaprazlar.

Geçmiş depremler daha önce tasarlanmış yapıların deprem davranışlarına ilişkin ve yönetmeliklerin yeterliliklerine ilişkin önemli dersler çıkarmamıza imkan verirler. MÇÇÇ taşıyıcı sistemine sahip çok sayıda yapı kuvvetli yer hareketine maruz kalmıştır. Söz konusu kuvvetli yer hareketlerine 1978 Miyagi-ken Oki depremi, 1985 Michoacan depremi, 1994 Northridge depremi ve 1995 Hyogo-ken Nanbu depremi örnekleri verilebilir [Uriz and Mahin, 2008].

MÇÇÇ'lerin tersinir tekrarlanır yükler etkisi altındaki karakterine yönelik testler 1971, 1973 ve 1977 yıllarında Wakabayashi tarafından yapılmıştır. Bu testlerde görece küçük ölçekli ve kısa boylu elemanlar kullanılmasına rağmen narinlik oranının histeritik davranışa etkisi incelenmiştir.

Michigan Üniversitesi'nde [Astaneh-Asl et al. 1985] köşebent profilden oluşan çaprazların guse lehvalarına muhtemel birleşimlerini incelemek amacıyla dokuz seriden oluşan tam ölçekli testler yapılmış ve çalışma neticesinde burkulmanın ani dayanım kaybına neden olduğu, b/t oranının mevcut yönetmeliklerde yeterli olduğu ve çaprazın ucunda bulunan guse lehvasında bırakılan serbest uzunluğun iyi bir histeritik davranış gösterdiği görülmüştür.

[Tremblay, 2002], daha önce çaprazlarla ilgili yapılan bir çok deneysel testin kesit şekli, yükleme geçmişi, narinlik oranı ve diğer özelliklerinin ilk burkulma kapasitesi üzerindeki etkilerini,çok sayıda eksenel kısalma etkisinden sonraki basınç dayanımını, eksenel kısalmanın bir fonksiyonu olarak yatay ötelenmeyi ve kırılma gözlemlendiğinde çevrimsel deformasyon katsayısını incelemiş ve çaprazların dayanımının yönetmeliklerde öngörülenden fazla olduğunu ve bunun performans belirlemeye yönelik yapılacak analitik çalışmalarda dikkate alınması ve benzer olarak basınç altında kırılmadan hemen önce daha büyük eksenel deplasmanlara ulaşılması nedeniyle kullanılan kesitlerde b/t oranlarının daha sıkı olmasını önerdi.

[Lee and Bruneau, 2005], aynı verileri kullanarak çapraz elemanın kesit özelliklerini ve narinlik oranının değişimine göre her bir çevrimsel harekette burkulma yükünün azalmasına ve enerji yutma özelliğine odaklanmışlardır. Narinlik oranı 80 den iyi olan W tipi kesitlerde basınç etkisinde kompakt olan kesitlerin kompact olmayanlara göre ani dayanım kaybının daha yavaş gerçekleştiği, daha narin kesitlerin daha fazla deplasman yapabilmesine rağmen enerji yutma kapasiteleri ve dayanımlarının azaldığını belirtmektedirler.

Son yıllarda deneysel çalışmaların yanında MÇÇÇ sistemleri ile ilgili analitik çalışmalarda yapılmıştır. [Akşar vd., 2015], artırılmış deprem etkileri altında değişik deprem düzeyleri için çaprazların bağlı olduğu kolonlara gelen eksenel yükler incelenmiştir.

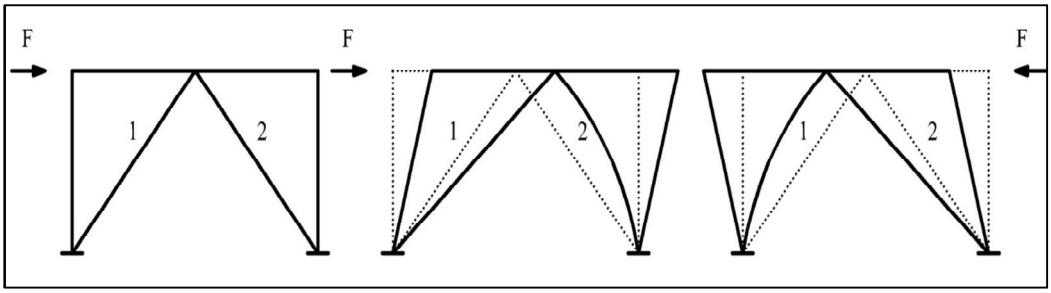
[Shen et al., 2014], iki katlı X çaprazlardan oluşan çerçeveler değişik kat sayılarına sahip ve değişik kiriş ebatlarına sahip olarak modellenerek deprem analizleri yapılarak kirişlerin akması sonucu oluşan değişimler incelenmiş sonuçlar detaylı 3 boyutlu sonlu eleman simülasyonları ile kıyaslanmıştır.

2.2. Merkezi Çaprazlı Çerçevenin Deprem Davranışı

Merkezi çaprazlı çelik çerçevelerde çaprazın burkulması genellikle doğrusal olmayan analizde meyana gelen ilk hasar durumudur. Bu nedenle hassas bir analitik model için çaprazın doğrusal olmayan çevrimsel davranışında burkulma formu, tasarım ve analiz adımlarının önemli bir parçasıdır [Dicleli and Mehta, 2006].

Merkezi çaprazlı çerçevelerde doğrusal olmayan davranışın yani hasarın çapraz elemanlarda oluşması istenir. Şekil 2.2 de görülen MÇÇÇ'ye yatay kuvvet etkittirildiğinde 1 nolu çaprazda çekme, 2 nolu çaprazda basınç kuvveti oluşacaktır. Yatay kuvvet arttırıldığında kısa bir süre sonra 2 nolu çaprazda basınçtan dolayı oluşan burkulma sebebi ile ani bir dayanım kaybı oluşacaktır. Çaprazın burkulması göreceli olarak sünek olmayan bir davranış olsa bile diğer yandan çekme kuvveti etkisindeki çaprazda akma oluşması yüksek süneklik gösteren bir davranıştır. Her iki etki birlikte dikkate alındığında MÇÇÇ de sünek davranışın esas sebebi çaprazın çekme kuvveti altında akmasıdır. Yatay yükün yönünü ters çevirirsek daha önce çekme oluşan 1 nolu çaprazda basınç kuvveti oluşup burkulma gözlemlenecek 2 nolu çapraz da ise çekme kuvveti etkisiyle akma davranışı oluşarak yüksek sünek bir davranış gösterecektir.

Merkezi çaprazlı çerçeve deprem hareketine maruz kaldığında çaprazlarda çekme ve basınç kuvvetleri oluşmakta böylece çaprazlarda akma ve burkulma birlikte gözlenecektir.



Şekil 2.2: Merkezi çaprazlı çerçeve doğrusal olmayan davranışı.

2.3. Merkezi Çaprazlı Çerçevenin Tasarım Esasları

Merkezi çaprazlı çerçevelerin tasarımı çaprazların söz konusu sınır durumuna ulaştığı durumlarda çaprazların bulunduğu çerçevelerdeki kolonlarda, kirişlerde ve

eleman birleşimlerinde herhangi bir doğrusal olmayan davranış oluşmayacağı dikkate alınarak yapılır [Akbaş, 2016].

Çaprazların tasarımı denklem (2.1) de verilen eşitliğe göre basınç etkisine göre yapılır.

$$P_n = F_{cr} \times A_g \tag{2.1}$$

Çaprazlar yönetmeliklerde verilen narinlik ve kompaktlık şartları dikkate alınarak tasarlanırlar. Çaprazların bağlı olduğu çerçevede oluşan dengelenmemiş kuvvetlerin hesabına esas basınç etkisi denklem (2.2) de çekme etkisi ise denklem (2.3) de verilmiştir.

$$P_n = 1.14 \times 0.3 \times (F_{cr} \times A_g) \tag{2.2}$$

$$P_n = R_y \times F_y \times A_g \tag{2.3}$$

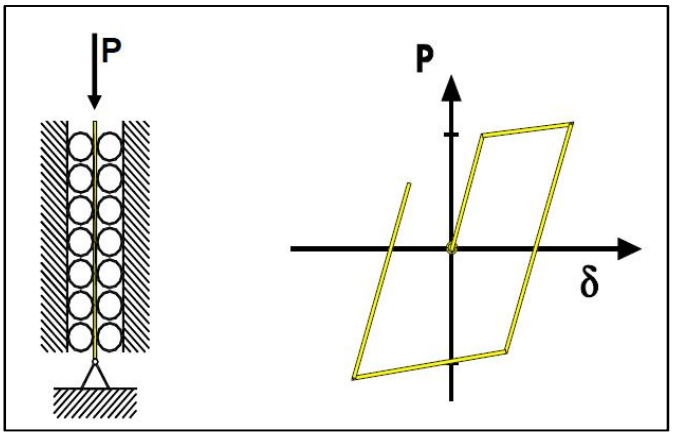
Çaprazların bulunduğu çerçevedeki kirişler çaprazların çekme ve basınç dayanımlarının farkından dolayı oluşan kuvvetlerin oluşturduğu eksenel kuvvet ve moment etkisinin birleşik etkileri altında tasarlanırlar.

3. BURKULMASI ÖNLENMİŞ ÇELİK ÇAPRAZLI ÇERÇEVELER

3.1. Genel Bilgiler

Günümüzde, modern çelik yapıların tasarımında burkulması önlenmiş çapraz (BÖÇ) lar yeni tip yatay yük taşıyıcı elemanlar olarak birçok gelişmiş ülkede sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır.

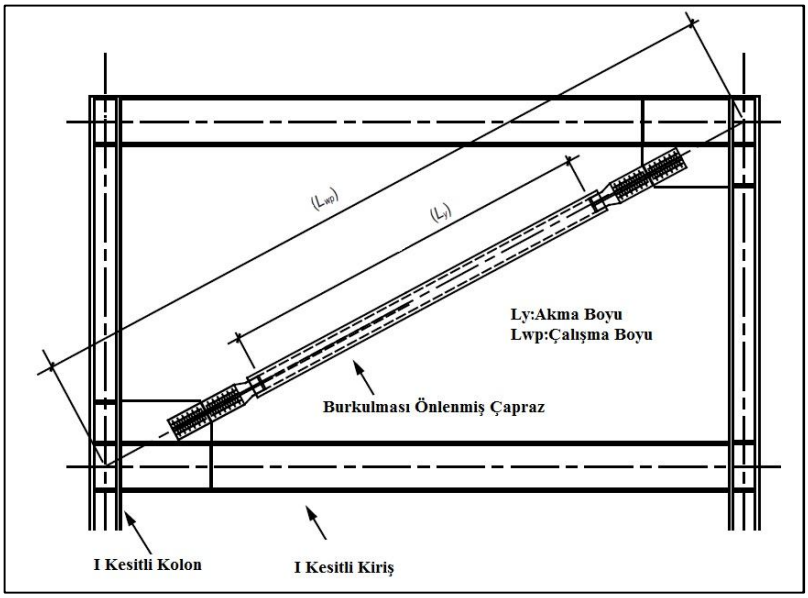
Burkulması önlenmiş çaprazlar Şekil 3.1' de görüldüğü gibi basınç ve çekme kuvveti altında akma şekil değiştirme davranışları incelendiğinde tamamen dengeli bir çevrimsel eğriye sahiptirler [López and Sabelli, 2004].



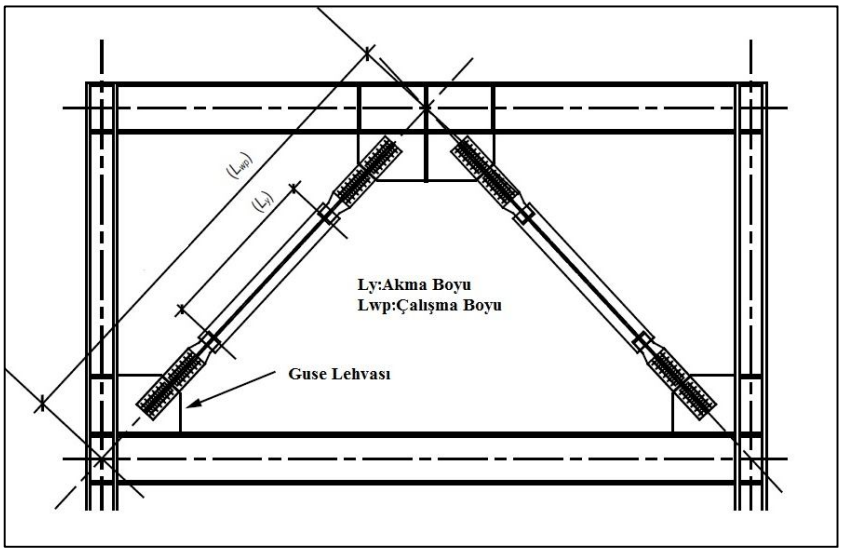
Şekil 3.1: Burkulması önlenmiş çaprazın akma şekil değiştirme mekanizması.

Burkulması önlenmiş çaprazlar yatay yükleri düşey çaprazlara benzer olarak kendi eksenleri düğüm noktalarının merkezine gelecek şekilde bağlanarak taşırlar. BÖÇÇÇ genel geometrisi geleneksel merkezi çaprazlı çelik çerçeveler ile benzerlik gösterse de BÖÇ elemanları, bağlantılar ve davranışı MÇÇÇ'lere göre belirgin biçimde farklılık göstermektedir [Kersting et al., 2015].

BÖÇ elemanlarının en çok kullanılan tipleri Şekil 3.2 ve Şekil 3.3 de gösterilen diagonal ve ters V tipi çaprazlardır.



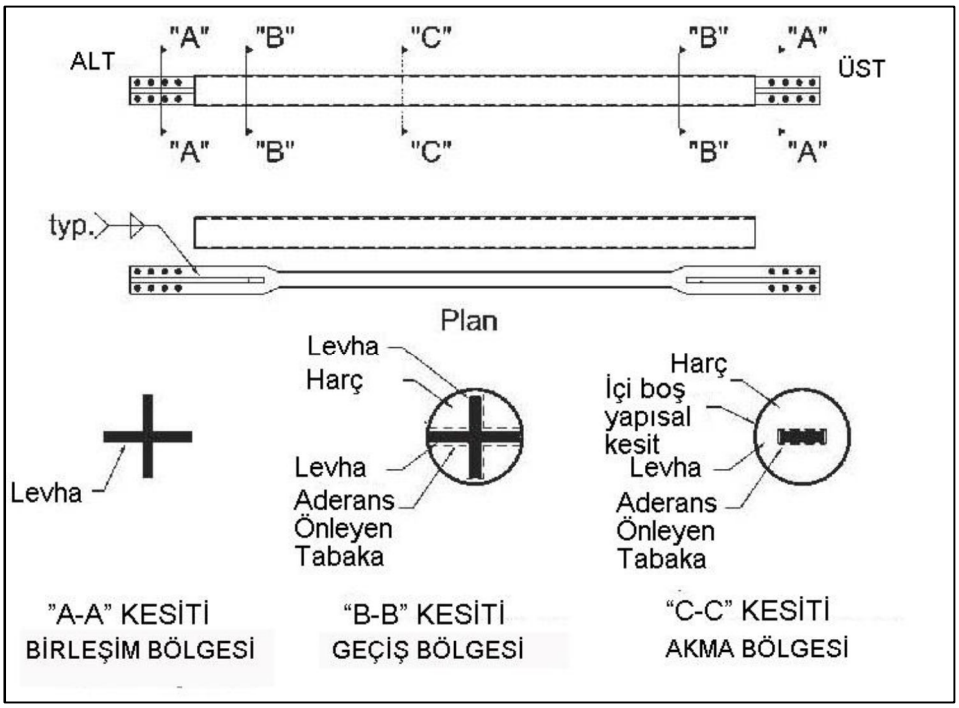
Şekil 3.2: Diagonal tip burkulması önlenmiş merkezi çapraz.



Şekil 3.3: Ters V tip burkulması önlenmiş merkezi çapraz.

BÖÇ elemanları ve parçaları fabrikasyon üretilen elemanlardır. En çok kullanılan tipleri 3 ana parçadan oluşur. Çelik çekirdek olarak adlandırılan eleman eksenel basınç ve çekme etkisi altında akma davranışı gösterir. Beton manto olarak adlandırılan beton veya harç ile çelik tüpten oluşan eleman ise çelik çekirdeği sararak burkulmasını engeller. Çelik çekirdek ile arasında bulunan yapışmayı engelleyen malzeme sayesinde çapraza gelen eksenel yükleri taşımaz. [AISC 341-10]

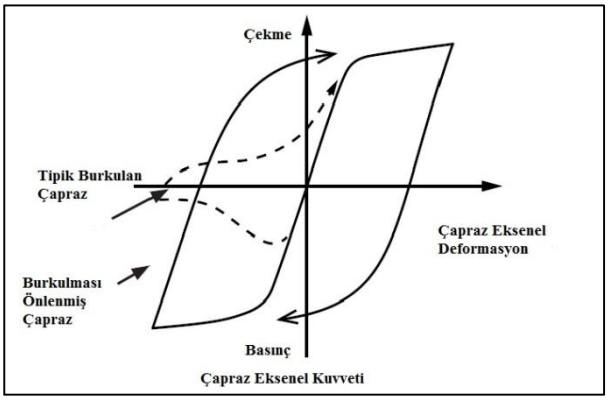
BÖÇ elemanları Şekil 3.4 te gösterildiği gibi çelik lehva, aderans önleyen tabaka, harç ve içi boş yapısal çelik kesitten oluşurlar.



Şekil 3.4: Tipik burkulması önlenmiş çapraz detayı.

Burkulması önlenmiş çaprazlı çerçeveler geleneksel merkezi çaprazlı çerçeveler ile kıyaslanabilecek bir elastik davranış gösterirler. Tam ölçekli laboratuvar testleri uygun şekilde tasarlanmış ve detaylandırılmış BÖÇÇÇ'ler deki BÖÇ elemanlarının eksenel basınç ve çekme kuvveti etkisi etkisinde görece yüksek doğrusal olmayan deformasyon seviyelerinde kararlı simetrik çevrimsel davranış sergilediklerini göstermiştir [Clark et al., 1999].

Geleneksel bir çapraz ile BÖÇ elemanının eksenel kuvvet deformasyon davranışları Şekil 3.5 te gösterilmiştir.



Şekil 3.5: Geleneksel çapraz ile burkulması önlenmiş çapraz Eksenel kuvvet-Deformasyon ilişkisinin karşılaştırılması.

BÖMÇÇÇ'nin sünek davranışı ve enerji yutma kapasitesinin süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çerçevelerden yüksek ve aynı zamanda süneklik düzeyi yüksek moment aktaran çerçeveler kadar iyi olması beklenir. Bu yüksek süneklik düzeyine BÖÇ elemanındaki çelik çekirdeğin burkulması engellenerek ulaşılır [AISC341-10].

3.2. Literatür Özeti

Geleneksel çaprazlardan oluşan sistemler basınç altında çaprazda burkulma oluşması sonucu asimetrik bir eksenel kuvvet deformasyon çevrimsel davranışı sergileyerek görece daha az sünek bir davranış sergilerler. Bu sebeple çaprazların burkulmaya karşı güçlendirilmesi için bir çok çaba harcanmaktadır. BÖÇ elemanların arkasındaki temel konsept basınç etkisi altında burkulmayı önleyerek çekme ve basınç etkileri altında düzgün tam stabil bir çevrimsel eksenel kuvvet deformasyon eğrisi elde etmeye yöneliktir.

BÖÇ elemanlarla ilgili ilk deneysel çalışma [Wakabayashi et al., 1973] tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada çelik düz bir lehva iki tane ön üretimli beton panel arasına konularak "Sandviç Model" burkulması önlenmiş ve paneller ile lehva arasında sürtünme önlenmeye çalışılmıştır. Deneyler sonucunda çekme dayanımından daha yüksek bir basınç dayanımına ulaşılmıştır.

Başlangıç BÖÇ elemanları çelik çekirdek ve çelik tüpün içine doldurulmuş beton ve bu betonun bir şekilde çelik çekirdek ile aderansının azaltılmasıyla oluşturulmuştur. Tek eksenli yüklemeyle yapılan bu testlerde uzun doğrusal olmayan deplasman ve çevrimler sonucunda düzgün ve stabil çevrimsel eğriler oluşturdular. ([Black et al. 2002]; [Clark et al. 1999]; [Uang and Nakashima, 2003]; [Wakabayashi et al. 1977] Bu deneysel çalışmalar eksenel yükler altında BÖÇ elemanlarının güvenilirliğini göstermiştir [Uriz and Mahin, 2008].

[Sutcu et al., 2014], çalışmasında betonarme bir yapının geleneksel çapraz ve BÖÇ ile güçlendirilmiş bir binayı inceleyerek BÖÇ eklenen çerçevede geleneksel çapraza göre görece ötelenmelerin azaldığı ve geleneksel çapraza göre daha düzgün bir histeretik davranış gösterdiği görülmüştür.

3.3. Burkulması Önlenmiş Çaprazlı Çelik Çerçevelerin Tasarım Esasları

Burkulması önlenmiş çaprazlı çelik çerçeveler plastik deformasyonların çekme ve basınç etkisi altında çapraz elemanda oluşması esasına göre çapraz tasarımında mühendis tarafından analiz neticesinde elde edilen eksenel kuvvet dikkate alınarak denklem (3.1) ile gösterilen eşitliğe göre çapraz alanı hesaplanır.

$$P_{ysc} = F_{ysc} \times A_{sc} \tag{3.1}$$

Çaprazların basınç ve çekme kuvveti altında akması prensibine dayanarak enerji yutması istendiğinden çapraz elemanın bağlandığı kolon ve kirişlerde doğrusal olmayan davranışın oluşması istenmez. Bu nedenle burkulması önlenmiş çaprazlı çelik çerçeve en az %2 göreli kat ötelemesine ve tasarım göreli kat ötelemesinin iki katına karşılık gelen şekil değiştirmeye göre çaprazda oluşan deformasyon durumu için çaprazın çekme ve basınç dayanımı hesaplanması gerekir. Söz konusu hesabın yapılabilmesi için kullanılacak çaprazla ilgili üretici firma tarafından yönetmeliklerde belirtilen belirli prosedürlere dayanarak yapılan testler neticesinde basınç dayanım düzeltme katsayısı (β) ve pekleşme etkisi düzeltme katsayısı (ω) hesaplanarak tasarım mühendisine verilir.

β katsayısı olası yer değiştirme durumu için maksimum çekme dayanımının akma dayanımına oranı olarak tanımlanır. ω katsayısı ise olası yer değiştirme durumu için maksimum çekme dayanımının, akma dayanımına $(R_y P_{ysc})$ oranı olarak tanımlanır. Çelik çekirdeğin eksenel dayanımı P_{ysc} nin belirlenmesinde çekme deneyi ile elde edilen akma gerilmesinin kullanılması halinde R_y katsayısının uygulanmasına gerek yoktur.

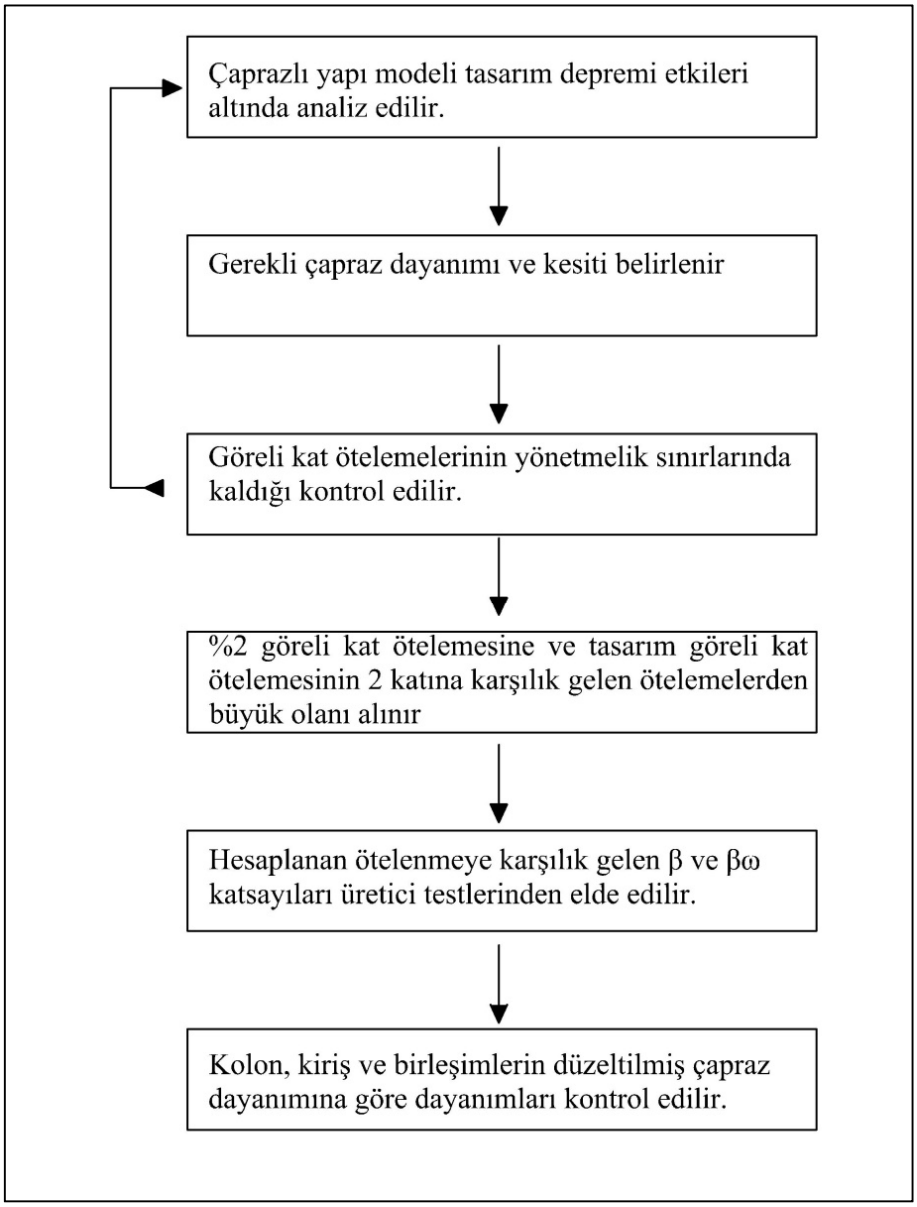
$\beta \, ve \, \omega$ katsayılarını kullanarak çaprazda oluşacak maksimum çekme ve basınç kuvveti denklem (3.2) ve denklem (3.3) te verilen eşitlikler dikkate alınarak hesaplanır.

$$T = \omega R_y P_{ysc} \tag{3.2}$$

$$P = \beta\omega R_y P_{ysc} \tag{3.3}$$

Bilgisayar destekli yapı modeli oluşturulurken çaprazların rijitliği sadece çelik çekirdek elemanın rijitliği olarak almak analiz modelinin hassasiyetini azaltır. Çapraz elemanın akma boyu ve az da olsa dış elemanların çubuk rijitliğine katkısı olduğu dikkate alınarak çapraz eleman rijitliği 1.3-1.6 oranında artırılmalıdır [Sabelli,2004].

Burkulması önlenmiş çaprazlı çelik çerçeve genel tasarım adımlarını şematik Şekil 3.4' de anlatılmaya çalışılmıştır.



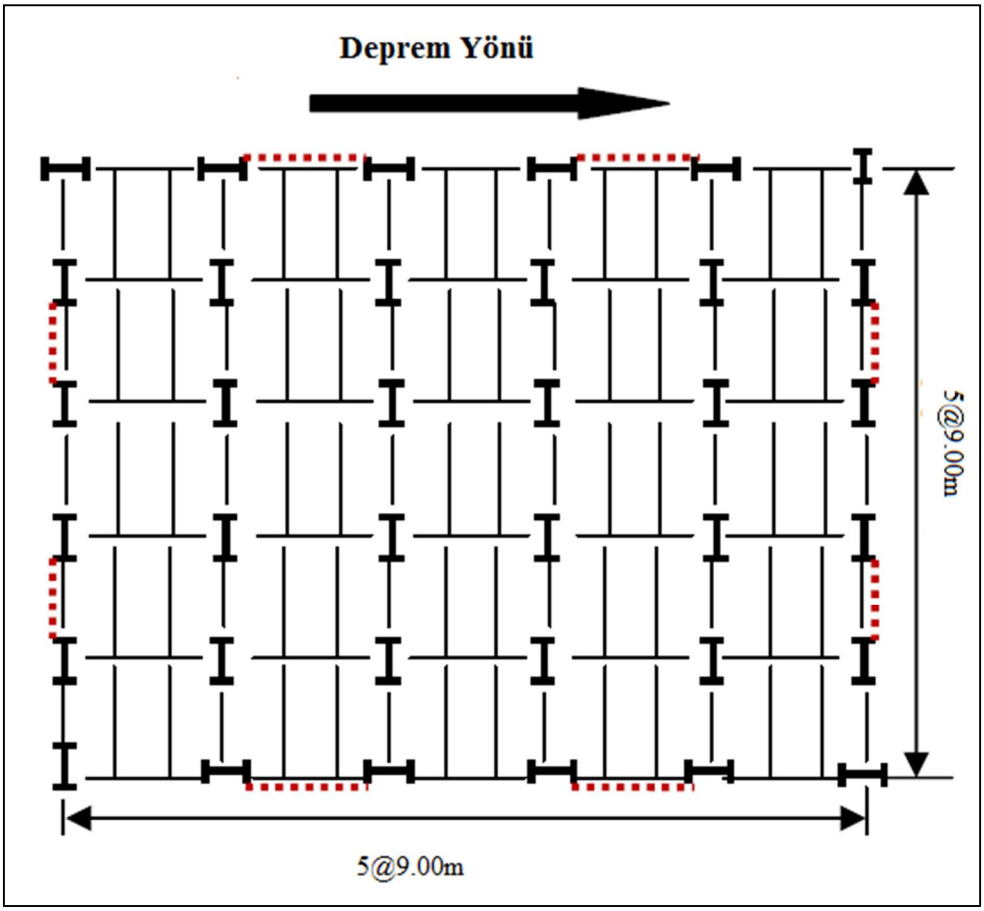
Şekil 3.6: Burkulması önlenmiş çaprazlı çerçeve tasarım adımları.

4. ANALİTİK ÇALIŞMA

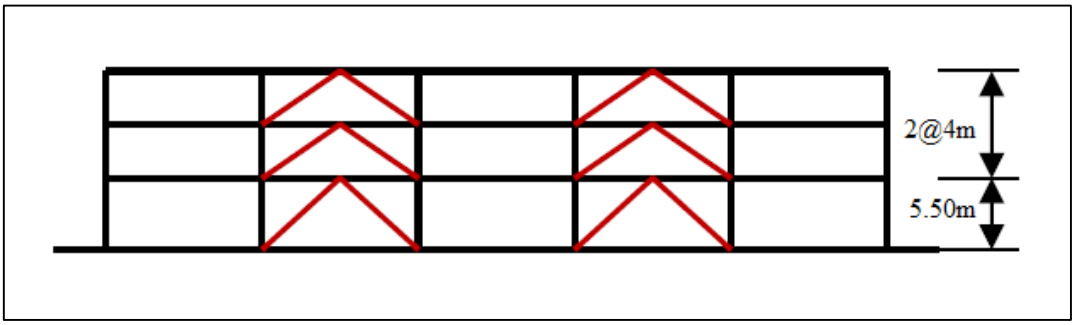
4.1. Yapıların Tanıtımı

Yapılar her iki yönde 9 metrelik 5 açıklıktan oluşan 45×45 m plan boyutlarına, 2025 m^2 kat alanına sahip her iki yönde merkezi çelik çaprazlardan oluşan 3 katlı ve 9 katlı sırasıyla 13.5 m ve 37.5 m yüksekliğinde iş merkezleridir. Yatay yükler dış açıklıklara yerleştirilen çaprazlar aracılığıyla taşınmaktadır. İç açıklıklarda taşıyıcı sistem düşey yükleri taşımaktadır. Yatayda herhangi bir rijitlikleri bulunmamaktadır.

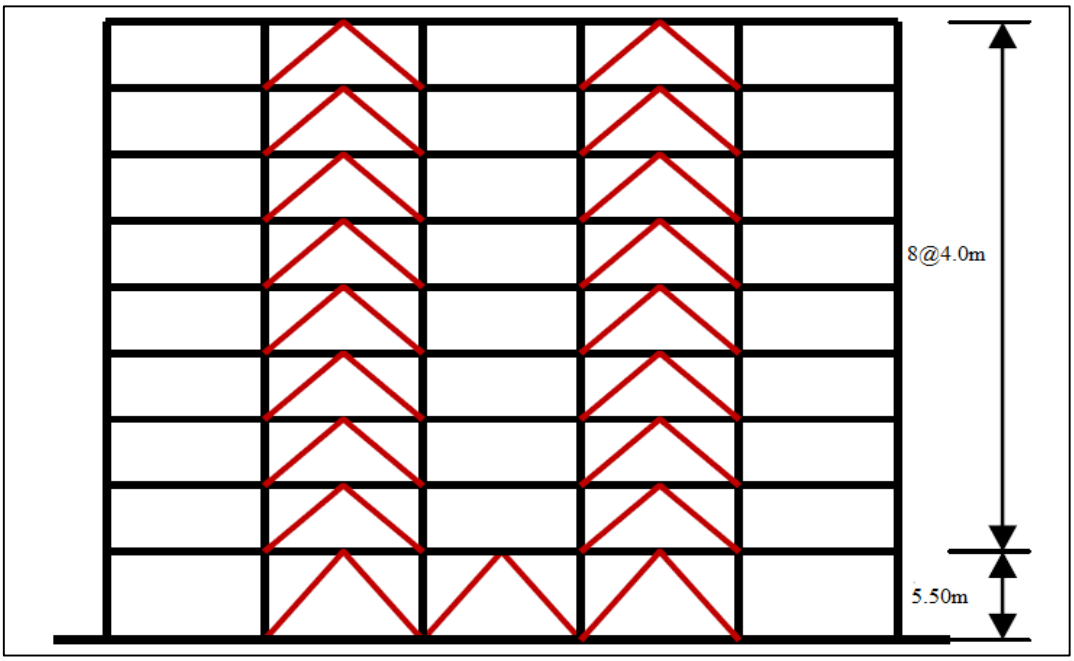
Tüm kolon, kiriş ve çapraz bağlantıları mafsallı olarak kabul edilmiştir. Döşemelerin düzlem içi rijit diyafram davranışı gösterdiği kabul edilmiştir. Yapıların hakim periyotları göz önünde bulundurularak dinamik etkilerin incelenmesi amacıyla 3 ve 9 katlı seçilmiştir.



Şekil 4.1: Üç ve dokuz katlı binalar için tipik kat planı.



Şekil 4.2: Üç katlı bina çaprazlı dış çerçeve geometrisi.



Şekil 4.3: Dokuz katlı bina çaprazlı dış çerçeve geometrisi.

Yapıların tasarımında deprem yükleri için TBDY taslağı kesit tasarımında ise Çelik Yapı Tasarım Esasları Yönetmeliği kullanılacaktır.

Tüm yapıların tasarımında kolon ve kiriş elemanlarında F_y=345MPa çaprazlarda ise F_y=320 Mpa çeliği kullanılmıştır.

Yük Kombinasyonları:

- 1.4G
- 1.2G+1.6Q
- 1.2G+1Q+1E
- 0.9G+1E

Zemin, Rüzgar ve Toprak yükleri tasarımlarda ihmal edilmiş olup Deprem Yükleri yatay ve düşey olarak hesaba katılmıştır.

$$E: E_d^{(H)}+0.3E_d^{(Z)} \tag{4.1}$$

4.2. Üç Katlı Merkezi Çaprazlı Çelik Çerçeve Tasarımı

Şekil 4.1 ve 4.2'de plan ve en kesiti verilen 3 katlı merkezi çaprazlı çelik çerçeve için hesap adımları aşağıda özetlenmiştir.

4.2.1. Düşey Yükler

Aşağıda ASCE 07-10 ve TS 498 şartnamelerinden yararlanılarak elde edilen yük değerleri kullanılarak üç katlı binaların hesaba katılan akslarında bulunan MÇÇÇ'lere yük aktarımı yapılmıştır. Ayrıca bu yük değerleri, katlara etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin hesabında TBDY esasları dikkate alınarak çerçevelere gelen deprem yüklerinin hesabında da kullanılmıştır.
Normal Kat Düşey Yükler:

- Kaplama 0.50 kN/m^2
- Trapez sac + Betonarme döşeme 2.00 kN/m^2
- Bölme duvarlar : 1.00 kN/m^2
- Çelik konstrüksiyon : 0.7 kN/m^2
- Asma Tavan+Tesisat : 0.3KN/ m^2
- Ölü yük : 4.5 kN/m^2 , Hareketli yük : 2.0 kN/m^2
- Duvar Yükü : 3KN/m

Çatı Kat Düşey Yükler:

- Çatı kaplama 1.00 kN/m^2
- Trapez sac + Betonarme döşeme 2.00 kN/m^2
- Çelik konstrüksiyon : 0.5 kN/m^2
- Asma Tavan + İzolasyon+Tesisat : 0.5KN/ m^2

- Ölü yük : 4.0 kN/m^2 , Hareketli yük : 1.0 kN/m^2

4.2.2. Deprem Karakteristikleri

Tasarımı yapılan ofis binalarının İstanbul Pendik'te bulunduğu kabulü yapılmıştır ve TBDY'e göre 50 yılda olma olasılığı %10 deprem için (DD-2) S_S: 1.07g S_1 :0.3g olarak alınmıştır.

Deprem Yüklerinin hesaplanmasında TBDY yönetmeliği göz önüne alınmıştır. TBDY'e göre periyod aşağıda hesaplanan değerden büyük olmayacaktır.

- T=0.04×13.5=0.54 sn
- ASCE 7-10 MÇÇÇ Yaklaşık Yapı Periyodu:

  $T_a = C_t \times H_n^{0.75} = 0.0488 \times 13.5^{0.75} = 0.34sn$ olarak alınmıştır.
- Yapı periyodu TBDY de belirtilen sınırlar içerisinde kalmıştır.
- Zemin Sınıfı: ZB
- Taşıyıcı Sistem: Merkezi Çaprazlı Çelik Çerçeve BYS>3
- Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı:5
- Deprem Düzeyi 50 yılda %10 DD-2
- H_N=13.5m
- Bina Yükseklik Sınırı(BYS)=6
- S_{DS}=0.963
- DTS=2
- L_f=16.5km
- F_s=0.8
- n=0.3
- $S_{DS} = S_S \times F_S$
- $S_{DS} = 1.07 \times 0.9 = 0.963g$
- $S_{D1} = S_1 \times \gamma_F \times F_1$
- $\gamma_F = 1.2 - (0.02 \times (L_F - 15))$
- $S_{D1} = 0.3 \times 1.17 \times 0.8 = 0.281g$
- $T_A = 0.2 \times \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0.06sn$

- $T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0.29sn$
- $T > T_B \quad S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}}{T} = 0.826\,g$
- $R_a(T) = \frac{R}{I} = \frac{5}{1} = 5$
- $S_{aR}(T) = \frac{S_{(ae)}(T)}{R_a(T)} = \frac{0.826}{5} = 0.165g$
- $W_{(1,2)} = G + n \times Q$
- $W_{(1,2)} = 45 \times 45 \times 4.5 \times 2 + 3 \times 9 \times 5 \times 2 + 0.3 \times 45 \times 45 \times 2 \times 2$
- $W_{(1,2)} = 20925kN$
- $W_{(3)} = G + n \times Q$
- $W_{(3)} = 45 \times 45 \times 4 \times 1 + 0.3 \times 45 \times 45 \times 1 \quad W_{(3)} = 8707kN$
- $W_{(T)} = 20925 + 8707 : 29632kN$
- $V_{tE} = m_t \times S_{aR}(T_P) \geq 0.04 \times m_t \times I \times S_{DS} \times g$
- $V_{tE} = 29632 \times 0.165 \geq 0.04 \times 29632 \times 1 \times 0.963$
- $V_{tE} = 4890kN \geq 1142kN$

Taban kesme kuvveti iki aynı geometriye sahip MÇÇÇ tarafından taşındığından taban kesme kuvvetinin yarısı hesaba katılacaktır.

Deprem kuvvetinin yarısı V/2=2445 kN olup yönetmelikte belirtilen %5 dış merkezliğin yaklaşık olarak hesaba katılması için deprem kuvveti %5 artırılarak V/2=2568 kN olarak hesaba katılmıştır. Düşey deprem yükü aşağıda hesaplanmıştır.

- $E_d=(2/3)S_{DS}G$
- $E_d^{(Z)}=(2/3)0.963G = 0.642G$

4.2.3. Katlara Etkiyen Deprem Yükleri

- $V_{tE} = \Delta F_{NE} + \sum_{i=1}^{N} F_{iE}$
- $\Delta F_{NE} = 0.0075NV_{tE} \qquad \Delta F_{NE} = 0.0075 \times 3 \times 2568 = 58kN$
- ΔF_{NE} Tepe Deprem Yükü Olarak Eklenecektir.
- $F_{iE} = (V_{tE} - \Delta F_{NE}) \frac{m_i H_i}{\sum_{j=1}^{N} m_j H_j}$

Tablo 4.1: Üç katlı MÇÇÇ binası için katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri.

Kat	H_i(m)	m_i(kN)	$m_i x H_i$	$\sum_{j=1}^{N} m_j H_j$	$\frac{m_i H_i}{\sum_{j=1}^{N} m_j H_j}$	$F_{iE} = (V_{tE} - \Delta F_{NE}) \frac{m_i H_i}{\sum_{j=1}^{N} m_j H_j}$ (kN)
3	13,5	8707	117544	274480	0,428	1133
2	9,5	10462.5	99393	274480	0,362	908
1	5,5	10462.5	57543	274480	0,210	527

4.2.4. Göreli Kat Ötelemesi Kontrolü

TBDY şartnamesine göre göreli kat ötelemesinin kontrolü için aşağıdaki denklem verilmiştir.

- $\Delta_i = u_i - u_{i-1}$ $\delta_i = (R/I) \times \Delta_i$ $\delta : \lambda \times (\delta_{imax}/h_i) \leq 0.008$
- $\lambda = S_{ae}(T)_{DD3} / S_{ae}(T)_{DD2}$
- $S_{DS} = S_S \times F_S$
- $S_{DS} = 0.43 \times 0.9 = 0.387g$
- $S_{D1} = S_1 \times \gamma_F \times F_1$
- $\gamma_F = 1$
- $S_{D1} = 0.115 \times 1 \times 0.8 = 0.092g$
- $T_A = 0.2 \times \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0.047sn$
- $T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0.238sn$
- $T > T_B \quad S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}}{T} = 0.27$
- $\lambda = \frac{S_{ae}(T)_{DD-3}}{S_{ae}(T)_{DD-2}} = \frac{0.27}{0.826} = 0.33$

Tablo 4.2: MÇÇÇ Göreli kat ötelemeleri.

Kat	Δ_i/h_i	(R/I)	$\delta : \lambda \times (\delta_{imax}/h_i)$
3	0,001	5	0,0017
2	0,0013	5	0,0022
1	0,0010	5	0,0017

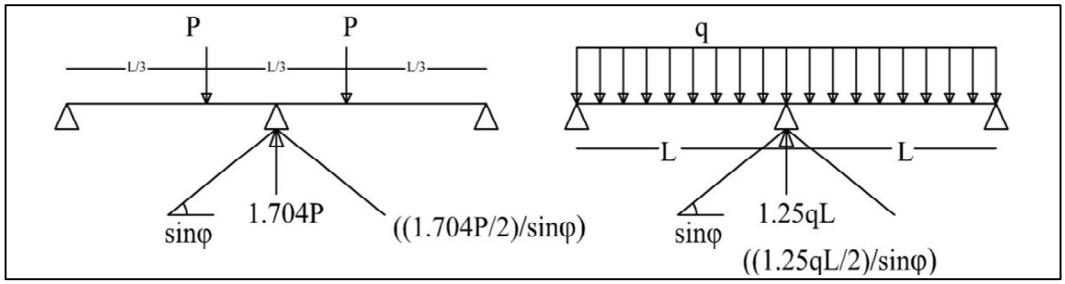
MÇÇÇ ler için göreli kat ötelemesi değerleri TBDY de verilen sınırlar içinde kalmaktadır.

4.2.5. Çaprazların Boyutlandırılması

4.3'de çaprazların tasarım hesap değerleri verilmiştir. İlgili tabloların oluşturulmasında kullanılan gerilme narinlik şartı denklemleri aşağıda verilmiştir.

$$P_n = F_{cr} x A_g \tag{4.2}$$

- $\frac{KL}{i} \leq 4.71\sqrt{\frac{E}{Fy}} \rightarrow \frac{F_y}{F_e} \leq 2.25 \rightarrow F_{cr} = \left[0.658^{\frac{F_y}{F_e}}\right] F_y$
- $\frac{KL}{i} > 4.71\sqrt{\frac{E}{Fy}} \rightarrow veya \ \frac{F_y}{F_e} > 2.25 \rightarrow F_{cr} = 0.877 F_e$
- $F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{i}\right)^2}$
- $\frac{b}{t} \leq 1.4\sqrt{\frac{E}{Fy}}$ Narinlik şartı
- $\frac{b}{t} \leq 0.55\sqrt{\frac{E}{Fy}}$ (TBDY Süneklik Düzeyi Yüksek Elemanlar)
- $\frac{KL}{i} \leq 200$



Şekil 4.4: Düşey yüklerin çaprazlara aktarım kabulü.

- $G_{1.2}$=60.75kN $Q_{1,2}$=27kN
- G_3=54kN Q_3=13.5kN

- $P_{G_3} = \frac{1.704}{2} \times 54 / 0.6645 = 69.2kN$ $P_{Q_3} = \frac{1.704}{2} \times 13.5 / 0.6645 = 17.3kN$
- $P_{G_2} = \frac{1.704}{2} \times 60.75 / 0.6645 + ((1.25 \times 3 \times 4.5) / 2) / 0.6645 = 90.60kN$
- $P_{Q_2} = \frac{1.704}{2} \times 27 / 0.6645 = 34.6kN$
- $P_{G_1} = \frac{1.704}{2} \times 60.75 / 0.7746 + ((1.25 \times 3 \times 4.5) / 2) / 0.7746 = 77.7kN$
- $P_{Q_1} = \frac{1.704}{2} \times 27 / 0.7746 = 29.7kN$

Çaprazların boyutlandırılmasında,

- 1.2G+1Q+1E
- $E= E_d^{(H)}+0.3E_d^{(Z)}$

yük kombinasyonu kullanılacaktır.

3.Kattaki çaprazlara gelen basınç kuvveti hesabı aşağıda gösterilmiştir.

- $P_a=1.2\times69.2+1\times17.3+379+0.3\times0.642\times69.2=492.7kN$

3. Kattaki çaprazların tasarımı ve kullanılan kesit aşağıda özetlenmiştir.

- HSS 7×7×0.5 i:66.8mm A_g:7480mm^2 b/t:12
- $12 \leq 0.55\sqrt{\frac{200000}{320}}$ (TBDY Süneklik Düzeyi Yüksek Elemanlar)
- $12 \leq 13.5$
- $90.12 \leq 200$
- $F_e = \frac{\pi^2 \times 200000}{\left(\frac{6020}{66.8}\right)^2} = 243.05Mpa$
- $90.12 \leq 117.75 \rightarrow 1.31 \leq 2.25 \rightarrow F_{cr} = \left[0.658^{\frac{320}{243}}\right]320 = 184.43\ Mpa$
- $P_n = F_{cr} \times A_g : 184.43 \times 7480 = 1379.5kN$
- $\phi P_n = 0.9 \times 1379.5 = 1241.5kN$
- $1241.5kN \geq 492.7kN$

Tablo 4.3: MÇÇÇ Çaprazlarının tasarımı.

Kat	3	2	1
P_G(kN)	69.2	90.6	77.7
P_Q(kN)	17.3	34.6	29.7
P_{EH}(kN)	379	683	1014
P_{EZ}(kN)	44.42	58.16	49.88
P_a(kN)	492.7	843.8	1151.9
K_x=K_y	1	1	1
L Çubuk Boyu (cm)	602	602	710
$(KL)_x$=$(KL)_y$ (mm)	6020	6020	7100
TBDY Narinlik Koşulu	200	200	200
TBDY En Kesit Koşulu	13.75	13.75	13.75
Seçilen Kesit	HSS 7X7X0,5	HSS 7X7X0,5	HSS 8X8X0,625
i(mm)	66.8	66.8	75.9
(KL)/i	90.12	90.12	93.54
b/t	12	12	10.8
F_e (N/mm2)	243.05	243.05	225.58
F_{cr} (N/mm2)	184.43	184.43	176.72
A_g(mm2)	7480	7480	10600
ϕP_n (kN)	1241.56	1241.56	1685.93
Etki/Kapasite	0.40	0.68	0.68

4.2.6. Kolonların Boyutlandırılması

4.2.6.1.Çaprazlı Açıklıktaki Kolonların Boyutlandırılması

4.4' de kolonların tasarım hesap değerleri verilmiştir. İlgili tabloların oluşturulmasında kullanılan gerilme narinlik şartı denklemleri aşağıda verilmiştir.

- $\frac{KL}{i} \leq 4.71\sqrt{\frac{E}{Fy}} \rightarrow \frac{F_y}{F_e} \leq 2.25 \rightarrow F_{cr} = \left[0.658^{\frac{F_y}{F_e}} \right] F_y$
- $\frac{KL}{i} > 4.71\sqrt{\frac{E}{Fy}} \rightarrow veya \ \frac{F_y}{F_e} > 2.25 \rightarrow F_{cr} = 0.877F_e$

- $F_e = \dfrac{\pi^2 E}{\left(\dfrac{KL}{i}\right)^2}$
- $\dfrac{b}{t} \leq 0.56\sqrt{\dfrac{E}{Fy}}$ Narinlik şartı
- $C_a > 0.125$
- $\dfrac{h}{t_w} \quad 0.77\sqrt{\dfrac{E}{Fy}}(2.93 - C_a) \geq 1.49\sqrt{\dfrac{E}{Fy}}$(TBDY Süneklik Düzeyi Yüksek Kolonlar)

3.Kat çaprazlı açıklıktaki kolon tasarımı aşağıda açıklanmıştır.
Kolonların boyutlandırılmasında,

- 1.2G+1Q+1E
- $E=E_d^{(H)}+0.3E_d^{(Z)}$

yük kombinasyonu kullanılacaktır.

- $K_x = K_y = 1$
- $P_{G_3} = 54 \times 3 = 162kN \quad P_{Q_3} = 13.5 \times 3 = 40.5kN \quad P_{E_3^H} = 0$
- $P_{E_3^Z} = 0.642P_{G_3}$
- $P_{E_3^Z} = 0.642 \times 162 = 104kN$
- $P_{G_2} = P_{G_3} + 60.75 \times 3 + 3 \times 9 = 371.25kN$
- $P_{Q_2} = P_{Q_3} + 27 \times 3 = 121.5kN \quad P_{E_2^H} = 252 \quad P_{E_2^Z} = 0.642P_{G_2}$
- $P_{E_2^Z} = 0.642 \times 371.25 = 238.4kN$
- $P_{G_1} = P_{G_2} + 60.75 \times 3 + 3 \times 9 = 580.5KN \quad P_{Q_1} = P_{Q_2} + 27 \times 3 = 202.5kN$
- $P_{E_1^H} = 706kN \quad P_{E_1^Z} = 0.642P_{G_1}$
- $P_{E_2^Z} = 0.642 \times 580.5 = 373kN$

3.Kattaki kolona gelen basınç kuvveti hesabı ve kolon tasarımı;

- P_a=1.2×162+1×40.5+0+0.3×0.642×104=266.1kN
- W 12×40 için kesit özellikleri i:49.3mm A_g:7550mm^2 b/t:7.77 h/t_w:33.6

- $7.77 \leq 0.56\sqrt{\frac{200000}{345}}$ Narinlik şartı
- $7.77 \leq 13.48$
- $C_a > 0.125 \quad C_a = 0.18$
- $\frac{h}{t_w} = 33.3 \;\; 0.77\sqrt{\frac{200000}{345}}(2.93 - 0.18) \geq 1.49\sqrt{\frac{200000}{345}}$
- $50.98 \geq 35.9$
- $33.3 \leq 35.9$
- $F_e = \frac{\pi^2 \times 200000}{\left(\frac{6020}{81.14}\right)^2} = 299.85\text{kN}$
- $81.14 \leq 113.4 \rightarrow 1.15 \leq 2.25 \rightarrow F_{cr} = \left[0.658^{\frac{320}{299.85}}\right]345 = 213.14\,\text{Mpa}$
- $P_n = F_{cr} \times A_g : 313.14 \times 7550 = 1609.2\text{kN}$
- $\phi P_n = 0.9 \times 1609.2 = 1448.3\text{kN}$
- $1448.3\text{kN} \geq 266.1\text{kN}$

Tablo 4.4: Çaprazlı açıklıktaki kolonların tasarımı.

Kat	3	2	1
P_G(kN)	162	371.25	580.5
P_Q(kN)	40.5	121.5	202.5
P_{EH}(kN)	0	252	706
P_{EZ}(kN)	104.0	238.3	372.7
P_a(kN)	266.1	890.5	1716.9
K_x=K_y	1	1	1
L Çubuk Boyu (m)	4	4	5.5
$(KL)_x$=$(KL)_y$ (mm)	4000	4000	5500
Seçilen Kesit	W12x40	W12x40	W12x65
i_y (mm)	49.3	49.3	76.7
(KL)/i	81.14	81.14	71.71
F_e (N/mm^2)	299.849	299.849	383.879
F_{cr} (N/mm^2)	213.14	213.14	236.84
A_g(mm^2)	7550	7550	12300
ϕP_n (kN)	1448.32	1448.32	2621.82
Etki/Kapasite	0.18	0.61	0.65

4.2.6.2.Çaprazsız Açıklıktaki Kolonların Boyutlandırılması

Dış açıklıktaki kolonlar deprem yükü almadığından aşağıda bulunan kombinasyona göre tasarımları yapılmıştır.

- 1.2G+1.6Q
- $P_{G_3} = 54 \times 3/2 = 81kN \quad P_{Q_3} = 13.5 \times 3/2 = 20.25kN$
- $P_a = 81 \times 1.2 + 20.25 \times 1.6 = 130kN$
- $P_{G_2} = P_{G_3} + (3 \times 9/2) + (60.75 \times 3/2) = 185.62kN$
- $P_{Q_2} = P_{Q_3} + 27 \times 3/2 = 60.75kN \qquad P_a = 320kN$
- $P_{G_1} = P_{G_2} + (3 \times 9/2) + (60.75 \times 3/2) = 290.25kN$
- $P_{Q_1} = P_{Q_2} + 27 \times 3/2 = 101.5kN$
- $P_a = 510.7kN$
- W 12×40 için kesit özellikleri i:49.3mm A_g:7550mm^2 b/t:7.77 h/t_w:33.6
- $7.77 \le 0.56\sqrt{\frac{200000}{345}}$ Narinlik şartı
- $7.77 \le 13.48$
- $C_a > 0.125 \quad C_a = 0.51$
- $\frac{h}{t_w} = 33.3 \quad 0.77\sqrt{\frac{200000}{345}}(2.93 - 0.51) \ge 1.49\sqrt{\frac{200000}{345}}$
- $44.86 \ge 35.9 \ge 33.3$

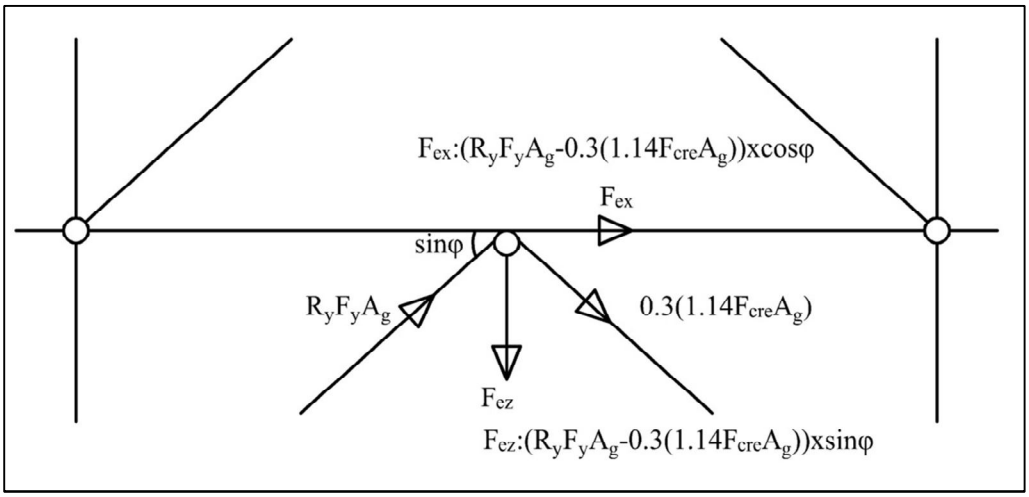
Tablo 4.5: Çaprazsız açıklıktaki dış kolonların tasarımı.

Kat	3	2	1
Pa(kN)	130	320	510.7
K_x=K_y	1	1	1
L Çubuk Boyu (m)	4	4	5.5
$(KL)_x$=$(KL)_y$ (mm)	4000	4000	5500
Seçilen Kesit	W12x40	W12x40	W12x40
i_y (mm)	49.3	49.3	49.3
(KL)/i	81.14	81.14	111.56
F_e (N/mm^2)	299.819	299.849	158.598
F_{cr} (N/mm^2)	213.13	213.14	138.80
A_g(mm^2)	7550	7550	7550
ϕP_n (kN)	1448.25	1448.32	943.18
Etki/Kapasite	0.09	0.22	0.54

4.2.7. Kirişlerin Boyutlandırılması

4.2.7.1. Çaprazlı Açıklıktaki Kirişlerin Boyutlandırılması

Çaprazlı açıklıktaki kirişler şekil 4.5'te gösterilen düşey ve yatay dengelenmemiş kuvvetler ve deprem yükü etkisinin büyüğü ile düşey yük etkisinden oluşan kuvvetlere göre tasarlanır.



Şekil 4.5: Kirişte oluşan dengelenmemiş çapraz kuvveti

Dengelenmemiş kuvvetten dolayı kiriş ortasında oluşan moment

- $(Me_x) = (1/4)Fe \times L$

olarak hesaplanır.

TBDY yönetmeliğine göre kutu profilleri için Ry:1.4 alınmıştır.

Kirişlerin tasarımı eğilme ve eksenel kuvvetin ayrı ayrı ve birleşik etkisi altında yapılacaktır.

Çaprazlı açıklıklardaki kirişin tasarımı 1.2G+1Q+1E kombinasyonu ile YDKT'e göre yapılacaktır. Söz konusu kombinasyonda E deprem kuvvetleri yerine dengelenmemiş iç kuvvetler kullanılacaktır.

3.Kat çapraz açıklıktaki kirişte oluşan iç kuvvetlerin hesabı:

- $M_{G_3} = 54 \times 3 = 162kN$ $M_{Q_3} = 13.5 \times 3 = 40.50kN$ $M_{E_3^Z} = 1/4 \times F_{ez} \times L$
- $F_{ez} = (R_y \times F_y \times A_g - 1.14 \times F_{cre} \times A_g) \times \sin\varphi$
- $F_{ez} = (1.4 \times 320 \times 7480 - 0.3 \times 1.14 \times 184.43 \times 7480) \times 0.6645 = 1913.12kN$
- $M_{E_3^Z} = 1/4 \times 1913 \times 9 : 4304.5kNm$
- $F_{ex} = (R_y \times F_y \times A_g - 1.14 \times F_{cre} \times A_g) x\cos\varphi$
- $F_{ex} = (1.4 \times 320 \times 7480 - 0.3 \times 1.14 \times 184.43 \times 7480) \times 0.7475 = 2152.26kN$
- $M_G = 3 \times 54 = 162kNm$ $M_Q = 3 \times 13.5 = 40.5kNm$
- $1.2G + 1Q + 1E$ $M_a = 1.2 \times 162 + 40.5 + 4304.5 = 4539.4kNm$
- $P_a = 2152.3kN.m$
- W36x330 için i:97.3mm W_{px}:23100mm^3 A_g:62500mm^2
- $\frac{b}{t} \leq 0.38\sqrt{\frac{E}{Fy}}$ Narinlik şartı $C_a > 0.125$
- $\frac{h}{t_w}$ $0.77\sqrt{\frac{E}{Fy}}(2.93 - C_a) \geq 1.49\sqrt{\frac{E}{Fy}}$(TBDY Süneklik Düzeyi Yüksek Kolonlar)
- $4.49 \leq 0.38\sqrt{\frac{200000}{345}}$ Narinlik şartı
- $4.49 \leq 9.15$
- $C_a > 0.125$ $C_a = 0.13$
- $\frac{h}{t_w} = 31.4$ $0.77\sqrt{\frac{200000}{345}}(2.93 - 0.13) \geq 1.49\sqrt{\frac{200000}{345}}$
- $51.91 \geq 35.9$
- $31.4 \leq 35.9$
- $M_p = F_y \times W_p$ M_p=345×23100/1000=7970kNm ϕ:0.9 ϕM_p=7172.5kNm
- 7172.5kNm>4304.5kNm
- $F_e = \frac{\pi^2 \times 200000}{\left(\frac{3000}{97.3}\right)^2} = 2076.42$
- $F_{cr} = \left[0.658^{\frac{320}{2076.42}}\right]345 = 300kN$
- $P_n = F_{cr} \times A_g : 300 \times 62500 = 18750kN$
- $\phi P_n = 0.9 \times 16875 = 16875kN$
- $16875 \geq 2152$

- $\frac{P_r}{2P_c}+\frac{M_r}{M_c}\leq 1.0$
- $\frac{2152}{33751}+\frac{4304}{7152}\leq 1.0$
- $0.06+0.63\leq 1.0$

Tablo 4.6: Çaprazlı açıklıktaki kirişlerin eğilme etkisi altında tasarımı.

Kat	3	2	1
$R_y \times F_y \times A_g$(kN)	3351.04	3351.04	4748.8
$0,3F_{cre} \times A_g$	471.79	471.79	640.65
sin θ	0.66445	0.66445	0.774648
Fe(kN)	1913.12	1913.12	3182.37
Me(kN.m)	4304.52	4304.52	7160.33
M_G(kN.m)	162	212.65	212.65
M_Q(kN.m)	40.50	81.00	81.00
Ma(kN.m)	4539.42	4640.70	7496.51
Seçilen Kesit	W36x330	W36x361	W36x529
W_{px}(mm^3)	23100	25400	38200
$M_p=F_y \times W_{px}$	7969.5	8763	13179
ϕM_p	7172.55	7886.70	11861.10
Etki/Kapasite	0.63	0.59	0.63

Tablo 4.7: Çaprazlı açıklıktaki kirişlerin eksenel basınç etkisi altında tasarımı.

Kat	3	2	1
$R_y \times F_y \times A_g$(kN)	3351.04	3351.04	4748.8
$0,3F_{cre} \times A_g$	471.79	471.79	640.65
cos θ	0.7475	0.7475	0.6338
F_e(kN)	2152.26	2152.26	2603.76
$K_x=K_y$	1	1	1
L Çubuk (cm)	300	300	300
$(KL)_x=(KL)_y$ (mm)	3000	3000	3000
Seçilen Kesit	W36x330	W36x361	W36x529
i (mm)	97.3	97.8	102
(KL)/i	30.83	30.67	29.41

Tablo 4.7: Devam.

F_e (N/mm^2)	2076.42	2097.81	2281.86
F_{cr} (N/mm^2)	300.01	300.21	301.76
A_g(mm^2)	62500	68400	101000
ϕP_n (kN)	16875.59	18480.80	27429.79
Etki/Kapasite	0.13	0.12	0.09

Tablo 4.8: Çaprazlı açıklıktaki kirişlerin birleşik kuvvet etkisi altında tasarımı.

Pr(kN)	2Pc (kN)	Pr/2Pc	Mr/Mc	Etki/Kapasite
2152	33751.18	0.06	0.63	0.70
2152	36961.60	0.06	0.59	0.65
2603	54859.59	0.05	0.63	0.68

4.2.7.2. Çaprazsız Açıklıktaki Kirişlerin Boyutlandırılması

Çaprazsız açıklıktaki kirişlerler aşağıdaki yük kombinasyonuna göre boyutlandırılacaktır.

- 1.2G+1.6Q

3.Kat çaprazsız açıklıktaki kirişlerin tasarımı;

- $M_{G_3} = 54 \times 3 = 162\text{kN}$ $M_{Q_3} = 13.5 \times 3 = 40.50\text{kN}$
- M_a:1.2×162+1.6×40.5=259.2kNm

Tablo 4.9: Çaprazsız açıklıktaki kirişlerin tasarımı.

Kat	M_a(kNm)	Seçilen Kesit	Z_x(m^3)	$M_p=F_y \times W_{px}$	ϕM_p(kNm)	Etki/Kapasite
3	259.20	W21x44	0.00156	538.20	484.38	0.54
2	384.78	W21x44	0.00156	538.20	484.38	0.79
1	384.78	W21x44	0.00156	538.20	484.38	0.79

4.3. Üç Katlı Burkulması Önlenmiş Çaprazlı Çelik Çerçeve Tasarımı

Şekil 4.1 ve 4.2'de plan ve en kesiti verilen 3 katlı burkulması önlenmiş merkezi çaprazlı çelik çerçeve için hesap adımları aşağıda özetlenmiştir.

4.3.1. Düşey Yükler

Aşağıda ASCE 07-10 ve TS 498 şartnamelerinden yararlanılarak elde edilen yük değerleri kullanılarak üç katlı binaların hesaba katılan akslarında bulunan BÖMÇÇÇ için yük aktarımı yapılmıştır. Ayrıca bu yük değerleri, katlara etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin hesabında ve dolayısıyla da çerçevelere gelen deprem yüklerinin hesabında da kullanılmıştır.

Normal Kat Düşey Yükler:

- Kaplama 0.50 kN/m^2
- Trapez sac + Betonarme döşeme 2.00 kN/m^2
- Bölme duvarlar : 1.00 kN/m^2
- Çelik konstrüksiyon : 0.7 kN/m^2
- Asma Tavan+Tesisat :0.3KN/ m^2
- Ölü yük : 4.5 kN/m^2 , Hareketli yük : 2.0 kN/m^2
- Duvar Yükü : 3kN/m

Çatı Kat Düşey Yükler:

- Çatı kaplama :1.00 kN/m^2
- Trapez sac + Betonarme döşeme 2.00 kN/m^2
- Çelik konstrüksiyon :0.5 kN/m^2
- Asma Tavan + İzolasyon+Tesisat :0.5kN/ m^2
- Ölü yük :4.0 kN/m^2 , Hareketli yük : 1.0 kN/m^2

4.3.2. Deprem Karakteristikleri

Tasarımı yapılan ofis binalarının İstanbul Pendik'te bulunduğu kabulü yapılmıştır ve TBDY'e göre 50 yılda olma olasılığı %10 deprem için (DD-2) S_S: 1.07g S_1 :0.3g olarak alınmıştır.

Deprem Yüklerinin hesaplanmasında TBDY yönetmeliği göz önüne alınmıştır.

- TBDY'e göre maksimum periyod hesabı T=0.04×HN
- T=0.04×13.5=0.54 sn büyük olmayacaktır.
- ASCE 7-10 BÖÇÇÇ yaklaşık yapı periyodu:

  $T_a = C_t \times H_n^{0.75} : 0.0731 \times 13.5^{0.75} = 0.51$sn olarak alınmıştır.
- Yapı periyodu TBDY de belirtilen sınırlar içerisinde kalmıştır.
- Zemin Sınıfı: ZB
- Taşıyıcı Sistem: Burkulması Önlenmiş Merkezi Çaprazlı Çelik Çerçeve
- BYS$\geq$2
- Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı:8
- Deprem Düzeyi 50 yılda %10 DD-2
- H_N:13.5m Bina Yükseklik Sınırı(BYS):6
- S_{DS}:0.963 DTS:2
- L_f:16.5km
- F_s:0.8
- n:0.3
- $S_{DS} = S_S \times F_S$
- $S_{DS} = 1.07 \times 0.9 = 0.963g$
- $S_{D1} = S_1 \times \gamma_F \times F_1$
- $\gamma_F = 1.2 - (0.02 \times (L_F - 15))$
- $S_{D1} = 0.3 \times 1.17 \times 0.8 = 0.281g$
- $T_A = 0.2 \times \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0.06sn$
- $T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0.29sn$
- $T > T_B \quad S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}}{T} = 0.551g$

- $R_a(T) = \frac{R}{I} = \frac{8}{1} = 8$
- $S_{aR}(T) = \frac{S_{(ae)}(T)}{R_a(T)} = \frac{0.551}{8} = 0.069g$
- $W_{(1,2)} = G + n \times Q$
- $W_{(1,2)} = 45 \times 45 \times 4.5 \times 2 + 3 \times 9 \times 5 \times 2 + 0.3 \times 45 \times 45 \times 2 \times 2$
- $W_{(1,2)} = 20925\,kN$
- $W_{(3)} = G + n \times Q$
- $W_{(3)} = 45 \times 45 \times 4 \times 1 + 0.3 \times 45 \times 45 \times 1$
- $W_{(3)} = 8707kN$
- $W_{(T)} = 20925 + 8707 = 29632kN$
- $V_{tE} = m_t \times S_{aR}(T_P) \geq 0.04 \times m_t \times I \times S_{DS} \times g$
- $V_{tE} = 29632 \times 0.069 \geq 0.04 \times 29632 \times 1 \times 0.963$
- $V_{tE} = 2045kN \geq 1142kN$

Taban kesme kuvveti iki aynı geometriye sahip BÖÇÇÇ tarafından taşındığından taban kesme kuvvetinin yarısı hesaba katılacaktır.

Deprem kuvvetinin yarısı V/2=1023 kN olup yönetmelikte belirtilen %5 dış merkezliğin yaklaşık olarak hesaba katılması için deprem kuvveti %5 artırılarak V/2=1074kN olarak hesaba katılmıştır. Düşey deprem yükü aşağıda açıklanmıştır.

- $E_d=(2/3)S_{DS}G$
- $E_d^{(Z)}=(2/3)0.963G = 0.642G$

4.3.3. Katlara Etkiyen Deprem Yükleri

- $V_{tE} = \Delta F_{NE} + \sum_{i=1}^{N} F_{iE}$
- $\Delta F_{NE} = 0.0075NV_{tE} \quad \Delta F_{NE} = 0.0075 \times 3 \times 1074 = 24kN$
- $F_{iE} = (V_{tE} - \Delta F_{NE}) \frac{m_i H_i}{\sum_{j=1}^{N} m_j H_j}$

Tablo 4.10: Üç katlı BÖÇÇÇ binası için katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri.

Kat	H_i(m)	m_i(kN)	$m_i x H_i$	$\sum_{j=1}^{N} m_j H_j$	$\frac{m_i H_i}{\sum_{j=1}^{N} m_j H_j}$	$F_{iE} = (V_{tE} - \Delta F_{NE}) \frac{m_i H_i}{\sum_{j=1}^{N} m_j H_j}$ (kN)
3	13,5	8707	117544	274480	0,428	474
2	9,5	10462.5	99393	274480	0,362	380
1	5,5	10462.5	57543	274480	0,210	220

4.3.4. Göreli Kat Ötelemesi Kontrolü

TBDY şartnamesine göre göreli kat ötelemesinin kontrolü için aşağıdaki denklem verilmiştir.

- $\Delta_i = u_i - u_{i-1}$
- $\delta_i = (R/I) \times \Delta_i$
- $\delta : \lambda \times (\delta_{imax}/h_i) \leq 0.008$
- $\lambda = S_{ae}(T)_{DD3} / S_{ae}(T)_{DD2}$
- $S_{DS} = S_S \times F_S$
- $S_{DS} = 0.43 \times 0.9 = 0.387g$
- $S_{D1} = S_1 \times \gamma_F \times F_1 \quad \gamma_F = 1$
- $S_{D1} = 0.115 \times 1 \times 0.8 = 0.092g$
- $T_A = 0.2 \times \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0.047sn$
- $T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0.238sn$
- $T > T_B \quad S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}}{T} = 0.18$
- $\lambda = \frac{S_{ae}(T)_{DD-3}}{S_{ae}(T)_{DD-2}} = \frac{0.18}{0.551} = 0.33$

Tablo 4.11: BÖÇÇÇ Göreli kat ötelemeleri.

Kat	Δ_i/h_i	(R/I)	$\delta:\lambda\times(\delta_{imax}/h_i)$
3	0,00135	8	0,0036
2	0,00152	8	0,0041
1	0,0015	8	0,0041

BÖÇÇÇ ler için göreli kat ötelemesi değerleri TBDY de verilen sınırlar içinde kalmaktadır.

4.3.5. Çaprazların Boyutlandırılması

Burkulması önlenmiş çapraz tasarımını YDKT'e göre yapılacak olup çapraz boyutlandırmaları çaprazların düşey yük almadığı kabulü ile yatay deprem kuvvetlerine göre yapılacaktır.

3.Kat burkulması önlenmiş merkezi çaprazın tasarımı;

Çapraza gelen deprem yükü SAP 2000 programından 159kN olarak okunmuştur.

YDKT için çapraz tasarımında ϕ:0.90

Çelik çapraz malzemesinin çekirdek elemanı için 320 MPa akma dayanımına sahip çelik kullanıldığı varsayılmıştır.

- $P_r = 159kN$
- $P_{ysc} = F_{ysc} x A_{sc}$ denklemi esas alınarak gerekli A_{sc} bulunacaktır.
- $A_{sc_{gereken}} = \frac{P_r}{\phi F_{ysc}} = \frac{159000}{0.9x320} = 549mm^2$ $A_{sc} = 1000mm^2$ seçilmiştir.

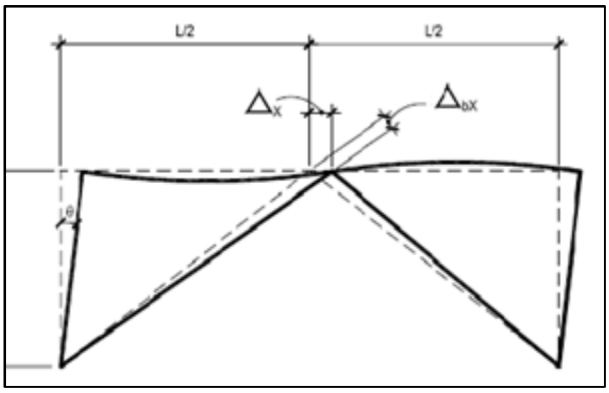
Burkulması önlenmiş çaprazlı açıklıkta bulunan kolon ve kirişler, en az %2 göreli kat ötelenmesi veya tasarım göreli kat ötelenmesinin iki ile çarpılması sonucu oluşan göreli ötelemelerin büyüğüne göre çapraz dayanımları dikkate alınarak oluşan akma mekanizması dikkate alınarak tasarlanacaktır. Tasarım göreli kat ötelemesi dikkate alınırken düşey yüklerin etkisi de hesaba katılacaktır.

3.Kat için hesaplanan düşey göreli ötelenme: 1.3mm

3.Kat için hesaplanan göreli ötelenmesi;

- ΔH:5.4mm
- 2×ΔH×R/I=86.4mm

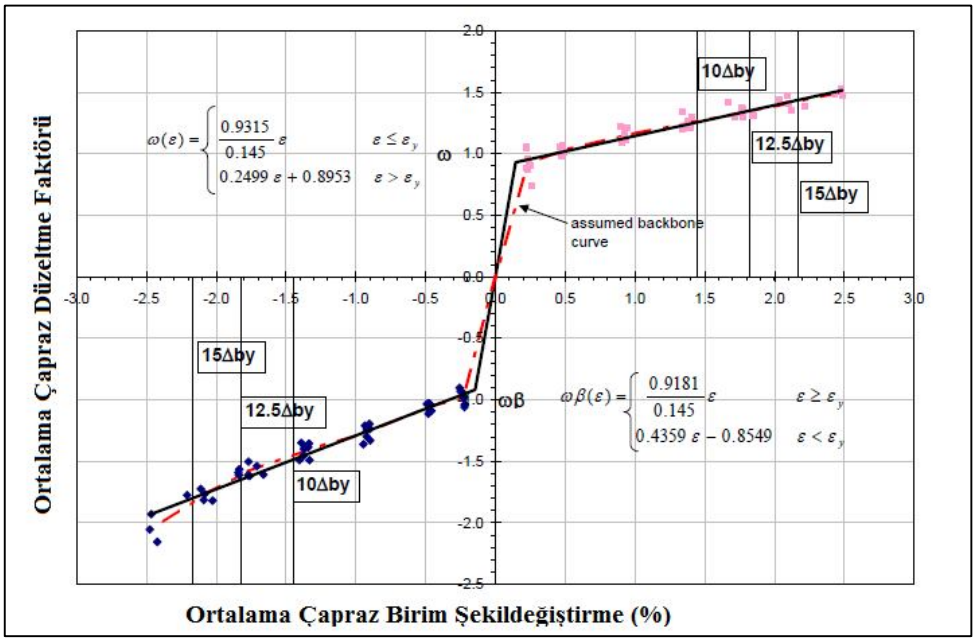
3.Kat için %2 göreli kat ötelemesi:80mm



Şekil 4.6: Burkulması önlenmiş çaprazın uzamasının çerçeveye olan etkisi

- $\Delta_{çapraz} = \sqrt{(L_y{}^2 - \Delta L_y{}^2) + (L_x{}^2 + \Delta L_x{}^2)} - \sqrt{(L_y{}^2 + L_x{}^2}$
- $\Delta_{çapraz} = \sqrt{(4000 - 1.3)^2 + (4500 + 86.4)^2} - \sqrt{(4000^2 + 4500^2}$
- $\Delta_{çapraz} = 64.00mm$
- $L_{wp} = 0.7 \times L \ Gerçek\ akma\ boyu$
- $L_{wp} = 0.7 \times 6020 = 4214mm$
- $\varepsilon = \dfrac{\Delta_{çapraz}}{L_{wp}} = \dfrac{64.0}{4214} = 0.0152\, için\, \omega = 1.27\ ve\ \beta\omega = 1.52$

Çapraz dayanımları hesaplarında (Merrit, 2003), tarafından yapılan testlerde elde edilen $\omega\ ve\ \beta\omega$ değerleri kullanılmıştır.



Şekil 4.7: Çaprazlarda birim şekildeğiştirme için ω *ve* $\beta\omega$ değerleri

- $T = \omega R_y P_{ysc} = 1.27 \times 1.4 \times 320 \times 1000 = 571.08\text{kN}$
- $P = \beta\omega R_y P_{ysc} = 1.52 \times 1.4 \times 320 \times 1000 = 679.51\text{kN}$

Tablo 4.12: Burkulması önlenmiş çaprazların tasarımı.

Kat	3	2	1
P_r(kN)	158	286	424
F_{ysc} (Mpa)	320	320	320
ϕ	0.9	0.9	0.9
A_{sc}	548.611	993.056	1472.22
R	8	8	8
ΔZ	1.3	2.6	2
ΔH	5.4	6.1	8.5
I	1	1	1
ΔH	43.2	48.8	68
2ΔH	86.4	97.6	136
%0.02ΔH	80	80	110
L_x	4500	4500	4500

Tablo 4.12: Devam.

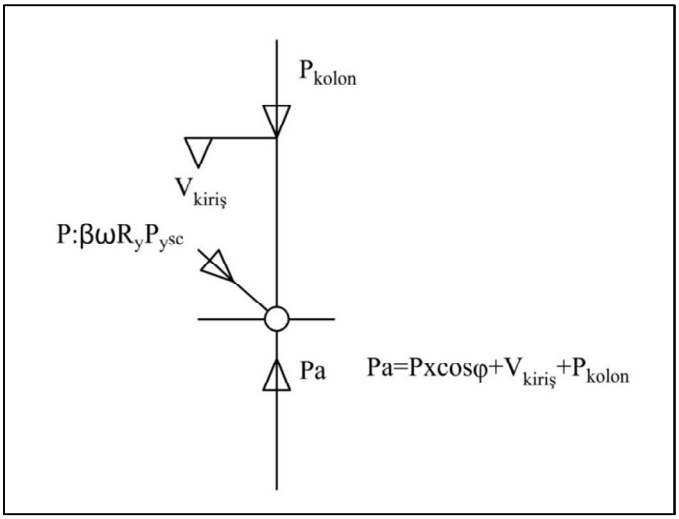
L_y	4000	4000	5500
Δçapraz	63.992	71.586	85.361
L Çapraz	4214.56	4214.56	4974.43
ε	0.0152	0.0170	0.0172
ω	1.27	1.32	1.32
ωβ	1.52	1.60	1.60
T	571.08	886.88	1186.42
P	679.51	1072.04	1436.20
A_{sc} Seçilen(mm^2)	1000	1500	2000

4.3.6. Kolonların Boyutlandırılması

4.3.6.1.Çaprazlı Açıklıktaki Kolonların Boyutlandırılması

4.13' de kolonların tasarım hesap değerleri verilmiştir. İlgili tabloların oluşturulmasında kullanılan gerilme narinlik şartı denklemleri aşağıda verilmiştir.

- $\frac{KL}{i} \leq 4.71\sqrt{\frac{E}{Fy}} \rightarrow \frac{F_y}{F_e} \leq 2.25 \rightarrow F_{cr} = \left[0.658^{\frac{F_y}{F_e}}\right] F_y$
- $\frac{KL}{i} > 4.71\sqrt{\frac{E}{Fy}} \rightarrow veya \ \frac{F_y}{F_e} > 2.25 \rightarrow F_{cr} = 0.877F_e \quad F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{i}\right)^2}$
- $\frac{b}{t} \leq 0.56\sqrt{\frac{E}{Fy}}$ Narinlik şartı
- $C_a > 0.125$
- $\frac{h}{t_w} \quad 0.77\sqrt{\frac{E}{Fy}}(2.93 - C_a) \geq 1.49\sqrt{\frac{E}{Fy}}$(TBDY Süneklik Düzeyi Yüksek Kolonlar)
- $K_x = K_y = 1$



Şekil 4.8: Burkulması önlenmiş çaprazlı çerçevede kolona etkiyen kuvvetler

3.Kat çaprazlı açıklıktaki kolon tasarımında

- 1.2G+1Q+1E
- (E: $E_d^{(H)}+0.3E_d^{(Z)}$)

yük kombinasyonu kullanılacaktır. $E_d^{(H)}$ yerine çaprazlarda oluşan dengelenmemiş kuvvet kullanılacaktır.

- $P_{G_3} = 54\times 3 = 162\text{kN}$ $P_{Q_3} = 13.5\times 3 = 40.5\text{kN}$ $P_{E_3^H} = 0$ $P_{E_3^Z} = 0.642P_{G_3}$
- $P_{E_3^Z} = 0.642\times 162 = 104\text{kN}$
- $P_{G_2} = P_{G_3} + 60.75\times 3 + 3\times 9 = 371.25\text{kN}$ $P_{Q_2} = P_{Q_3} + 27\times 3 = 121.5\text{kN}$
- $P_{E_2^H} = P_3 \times \sin\varphi = 679.51\times 0.664 = 451.2\text{kN}$
- $P_{E_2^Z} = 0.642P_{G_2}$
- $P_{E_2^Z} = 0.642\times 371.25 = 238.4\text{kN}$
- $P_{a_2} = 1.2\times 371.25 + 121.5 + 451.2 = 1018.2\text{kN}$
- $P_{G_1} = P_{G_2} + 60.75\times 3 + 3\times 9 = 580.5\text{kN}$ $P_{Q_1} = P_{Q_2} + 27\times 3 = 202.5\text{kN}$
- $P_{E_1^H} = (P_3 + P_2)\times \sin\varphi = (679.51 + 1072)\times 0.664 = 1163\text{kN}$
- $P_{E_1^Z} = 0.642P_{G_1}$
- $P_{E_1^Z} = 0.642\times 580.5 = 372.7\text{KN}$
- $P_{a_1} = 1.2\times 580.5 + 202.5 + 1163 = 2062.12\text{kN}$

3.Kattaki çaprazlara gelen basınç kuvveti hesabı,

- P_a:1.2×162+1×40.5+0+0.3×0.642×104=266kN

3.Kattaki çaprazlı açıklıktaki kolon tasarımı,

- W 12×40 i:49.3mm A_g:7550mm^2 b/t:7.77 h/t_w:33.6
- $7.77 \leq 0.56\sqrt{\frac{200000}{345}}$ Narinlik şartı
- $7.77 \leq 13.48$
- $C_a > 0.125 \quad C_a = 0.18$
- $\frac{h}{t_w} = 33.3 \quad 0.77\sqrt{\frac{200000}{345}}(2.93 - 0.18) \geq 1.49\sqrt{\frac{200000}{345}}$
- $50.98 \geq 35.9$
- $33.3 \leq 35.9$
- $F_e = \frac{\pi^2 \times 200000}{\left(\frac{6020}{81.14}\right)^2} = 299.85$
- $81.14 \leq 113.4 \rightarrow 1.15 \leq 2.25 \rightarrow F_{cr} = \left[0.658^{\frac{320}{299.85}}\right]345 = 213.14$
- $P_n = F_{cr} \times A_g : 313.14 \times 7550 = 1609.2\text{kN}$
- $\phi P_n = 0.9 \times 1609.2 = 1448.3\text{kN}$
- $1448.3\text{kN} \geq 266.1\text{kN}$

Tablo 4.13: Çaprazlı açıklıktaki kolonların tasarımı.

Kat	3	2	1
P_G(kN)	162	371.25	580.5
P_Q(kN)	40.5	121.5	202.5
sin θ	0.664	0.664	0.775
P	679.51	1072.04	1436.20
P×sinθ	451.193	711.832	1113.06
P_{EH}(kN)	0	451.193	1163.02
Pa	266.00	1018.19	2062.12
K_x=K_y	1	1	1

Tablo 4.13: Devam.

L Çubuk Boyu (m)	4	4	5.5
$(KL)_x=(KL)_y$ (mm)	4000	4000	5500
Seçilen Kesit	W12x40	W12x40	W12x65
i (mm)	49.3	49.3	76.7
(KL)/i	81.14	81.14	71.71
F_e (N/mm^2)	299.849	299.849	383.879
F_{cr} (N/mm^2)	213.14	213.14	236.84
A_g(mm^2)	7550	7550	12300
ϕP_n (kN)	1448.32	1448.32	2621.82
Etki/Kapasite	0.19	0.70	0.79

4.3.6.2.Çaprazsız Açıklıktaki Kolonların Boyutlandırılması

Dış açıklıktaki kolonlar deprem yükü almadığından aşağıda bulunan kombinasyona göre tasarımları yapılmıştır.

- 1.2G+1.6Q
- $P_{G_3} = 54 \times 3/2 = 81\text{kN}$ $P_{Q_3} = 13.5 \times 3/2 = 20.25\text{kN}$
- $P_a = 81 \times 1.2 + 20.25 \times 1.6 : 130\text{kN}$
- $P_{G_2} = P_{G_3} + (3 \times 9/2) + (60.75 \times 3/2) = 185.62\text{kN}$ $P_{Q_2} = P_{Q_3} + 27 \times 3/2 = 60.75\text{kN}$
- $P_a = 320\text{kN}$
- $P_{G_1} = P_{G_2} + (3 \times 9/2) + (60.75 \times 3/2) = 290.25\text{kN}$ $P_{Q_1} = P_{Q_2} + 27 \times 3/2 = 101.5\text{kN}$
- $P_a = 510.7\text{kN}$
- W 12x40 kesit özellikleri: i:49.3mm A_g:7550mm^{2}b/t:7.77 h/t_w:33.6
- $7.77 \le 0.56\sqrt{\frac{200000}{345}}$ Narinlik şartı
- $7.77 \le 13.48$
- $C_a > 0.125$ $C_a = 0.51$
- $\frac{h}{t_w} = 33.3$ $0.77\sqrt{\frac{200000}{345}}(2.93 - 0.51) \ge 1.49\sqrt{\frac{200000}{345}}$
- $44.86 \ge 35.9$
- $33.3 \le 35.9$

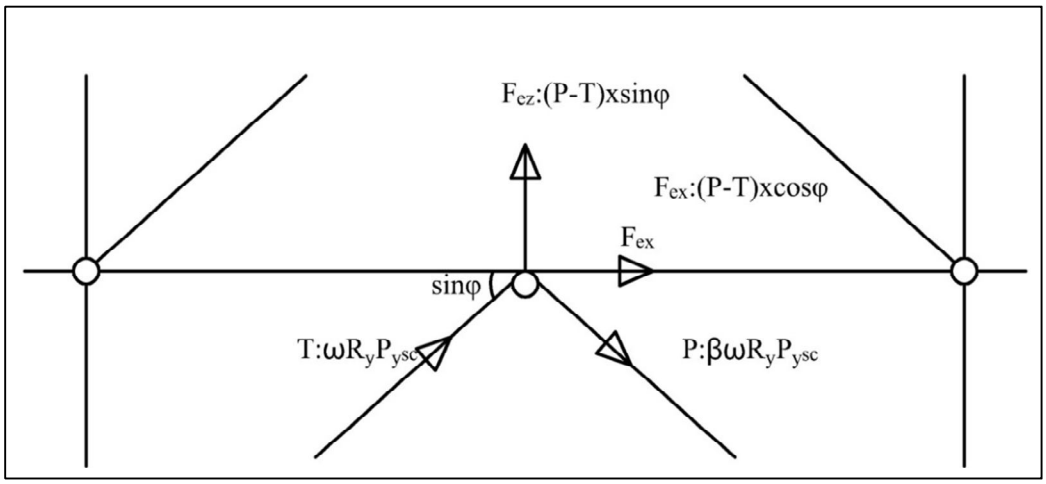
Tablo 4.14: Çaprazsız açıklıktaki dış kolonların tasarımı.

Kat	3	2	1
P_a(kN)	130	320	510.7
K_x=K_y	1	1	1
L Çubuk Boyu (m)	4	4	5.5
$(KL)_x$=$(KL)_y$ (mm)	4000	4000	5500
Seçilen Kesit	W12x40	W12x40	W12x40
i_y (mm)	49.3	49.3	49.3
(KL)/i	81.14	81.14	111.56
F_e (N/mm^2)	299.819	299.849	158.598
F_{cr} (N/mm^2)	213.13	213.14	138.80
A_g(mm^2)	7550	7550	7550
ϕP_n (kN)	1448.25	1448.32	943.18
Etki/Kapasite	0.09	0.22	0.54

4.3.7. Kirişlerin Boyutlandırılması

4.3.7.1. Çaprazlı Açıklıktaki Kirişlerin Boyutlandırılması

Çaprazlı açıklıktaki kirişler Şekil 4.9 da gösterilen düşey ve yatay dengelenmemiş kuvvetler ve deprem yükü etkisinin büyüğü ile düşey yük etkisinden oluşan kuvvetlere göre tasarlanır.



Şekil 4.9: Kirişte oluşan Dengelenmemiş çapraz kuvveti

Dengelenmemiş kuvvetten dolayı kiriş ortasında oluşan moment,

- $(Me_x) = (1/4)F_e\ L$

olarak hesaplanır.

TBDY yönetmeliğine göre R_y:1.4 alınmıştır.

Kirişlerin tasarımı eğilme ve eksenel kuvvetin ayrı ayrı ve birleşik etkisi altında yapılacaktır.

Çaprazlı açıklıklardaki kirişin tasarımı 1.2G+1.6Q kombinasyonu ile YDKT'e göre çapraz yokmuş gibi veya çaprazlarda deprem etkileriyle oluşacak olası çekme ve basınçtan dolayı meydana gelen dengelenmemiş kuvvetinin büyüğüne göre yapılacaktır.

3.Kat çapraz açıklıktaki kirişte oluşan iç kuvvetlerin hesabı;

- $M_{G_3} = 54 \times 3 = 162kN \quad M_{Q_3} = 13.5 \times 3 = 40.50kN \quad M_{E_3^Z} = 1/4 \times F_{ez} \times L$
- $F_{ez} = (P - T) \times \sin\varphi$ (P ve T çapraz tasarımında hesaplanmıştı.)
- $F_{ez} = (679.5 - 571.1) \times 0.6645 = 72kN$
- $M_{E_3} = 1/4 \times 72 \times 9 : 162kNm$
- $F_{ex} = (P - T) \times \cos\varphi$
- $F_{ex} = (679.5 - 571.1) \times 0.7475 = 81kN$
- $M_G = 3 \times 54 = 162kNm \quad M_Q = 3 \times 13.5 = 40.5kNm$
- $1.2G + 1.6Q \quad M_a = 1.2 \times 162 + 1.6 \times 40.5 = 259kNm$
- W21x44 için i:32mm W_{px}:1560mm^3 A_g:8390mm^2
- $7.22 \leq 0.38\sqrt{\frac{200000}{345}}$ Narinlik şartı $\frac{b}{t} \leq 0.38\sqrt{\frac{E}{Fy}}$
- $7.22 \leq 9.15$
- $C_a < 0.125 \quad C_a = 0.06$
- $\frac{h}{t_w} \quad 2.45\sqrt{\frac{E}{Fy}}(1 - 0.93C_a)$(TBDY Süneklik Düzeyi Yüksek Kolon Elemanlar)
- $53.6 \leq 55.7$
- $M_p = F_y \times W_p$ M_p=345×1560/1000=538kNm ϕ:0.9 ϕM_p=484kNm
- 484kNm>259kNm
- $F_e = \frac{\pi^2 \times 200000}{\left(\frac{3000}{32}\right)^2} = 224.59$

- $F_{cr} = \left[0.658^{\frac{320}{224.59}} \right] 345 = 176.26\text{kN}$
- $P_n = F_{cr} \times A_g = 176 \times 8390 = 1476\text{kN}$
- $\phi P_n = 0.9 \times 1476 = 1330\text{kN}$
- $1330 \geq 81$

Tablo 4.15: Çaprazlı açıklıktaki kirişlerin eğilme etkisi altında tasarımı.

Kat	3	2	1
P	679.51	1072.04	1436.20
T	571.08	886.88	1186.42
sin θ	0.664	0.664	0.775
F_{ez}(kN)	71.99	122.94	193.58
M_e(kN.m)	161.98	276.62	435.56
M_G(kN.m)	162	212.65	212.65
M_Q(kN.m)	40.50	81.00	81.00
M_a(kN.m)	259.20	384.78	435.56
Seçilen Kesit	W21x44	W21x62	W21x62
Zx(mm^3)	1560	2360	2360
$M_p=F_y \times Z_x$	538.2	814.2	814.2
ϕM_p	484.38	732.78	732.78
Etki/Kapasite	0.54	0.53	0.59

Tablo 4.16: Çaprazlı açıklıktaki kirişlerin eksenel basınç etkisi altında tasarımı.

F_{ez}(kN)	81.05	138.40	158.31
$K_x=K_y$	1	1	1
L Çubuk Boyu (cm)	300	300	300
$(KL)_x=(KL)_y$ (mm)	3000	3000	3000
Seçilen Kesit	W21x44	W21x62	W21x62
i (mm)	32	45	45
(KL)/i	93.75	66.67	66.67

Tablo 4.16: Devam.

F_e (N/mm^2)	224.59	444.13	444.13
F_{cr} (N/mm^2)	176.26	236.69	236.69
A_g(mm^2)	8390	11800	11800
ϕP_n (kN)	1330.94	2513.66	2513.66
Etki/Kapasite	0.06	0.06	0.06

2. ve 3. Kat sabit ve hareketli yükler altında tasarlandığı için birleşik etkiler altında kontrole gerek yoktur. 1.katta dengelenmemiş kuvvetlerden oluşan iç kuvvetlere göre tasarım yapıldığı için eksenel basınç kapasitesi ve eğilme etkisinin birlikte etkisi altında kontrol yapılmıştır. 1.Kat çaprazlı açıklıkta kirişe gelen eksenel kuvvet ve moment etkisi birlikte aşağıda hesaplanmıştır.

- $\frac{P_r}{2P_c}+\frac{M_r}{M_c}\leq 1.0$
- $\frac{158.3}{5026}+\frac{435.6}{732.8}\leq 1.0$
- $0.03+0.59\leq 1.0$

4.3.7.2. Çaprazsız Açıklıktaki Kirişlerin Boyutlandırılması

Çaprazsız açıklıktaki kirişlerler aşağıda verilen yük kombinasyonlarının oluşturduğu iç kuvvetlerin büyük olanına göre boyutlandırılacaktır.

- 1.2G+1.6Q
- 1.2G+1Q+1E ($E=0.3E_d^{(Z)}$)

3.Kat düşey deprem 1. ve 2. Kat düşey yük etkisi altında tasarlanmıştır.

Tablo 4.17: Çaprazsız açıklıktaki kirişlerin tasarımı.

Kat	Ma(kNm)	Seçilen Kesit	Z_x(m^3)	$M_p=F_y\times W_{px}$	ϕM_p	Etki/Kapasite
3	259.2	W21x44	0.00156	538.20	484.38	0.54
2	384.78	W21x44	0.00156	538.20	484.38	0.79
1	384.78	W21x44	0.00156	538.20	484.38	0.79

4.4. Dokuz Katlı Merkezi Çaprazlı Çelik Çerçeve Tasarımı

Şekil 4.1 ve 4.2'de plan ve en kesiti verilen 3 katlı merkezi çaprazlı çelik çerçeve için hesap adımları aşağıda özetlenmiştir.

4.4.1. Düşey Yükler

Aşağıda ASCE 07-10 ve TS 498 şartnamelerinden yararlanılarak elde edilen yük değerleri kullanılarak üç katlı binaların hesaba katılan akslarında bulunan MÇÇÇ'lere yük aktarımı yapılmıştır. Ayrıca bu yük değerleri, katlara etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin hesabında ve dolayısıyla da çerçevelere gelen deprem yüklerinin hesabında da kullanılmıştır.
Normal Kat Düşey Yükler:

- Kaplama 0.50 kN/m^2
- Trapez sac + Betonarme döşeme 2.00 kN/m^2
- Bölme duvarlar : 1.00 kN/m^2
- Çelik konstrüksiyon : 0.7 kN/m^2
- Asma Tavan+Tesisat :0.3KN/ m^2
- Ölü yük : 4.5 kN/m^2 , Hareketli yük : 2.0 kN/m^2
- Duvar Yükü : 3KN/m

Çatı Kat Düşey Yükler:

- Çatı kaplama 1.00 kN/m^2
- Trapez sac + Betonarme döşeme 2.00 kN/m^2
- Çelik konstrüksiyon : 0.5 kN/m^2
- Asma Tavan + İzolasyon+Tesisat :0.5KN/ m^2
- Ölü yük : 4.0 kN/m^2 , Hareketli yük : 1.0 kN/m^2

4.4.2. Deprem Karakteristikleri

Tasarımı yapılan ofis binalarının İstanbul Pendik'te bulunduğu kabulü yapılmıştır ve TBDY'e göre 50 yılda olma olasılığı %10 deprem için (DD-2) S_S: 1.07g S_1 :0.3g olarak alınmıştır. Deprem Yüklerinin hesaplanmasında TBDY yönetmeliği göz önüne alınmıştır.

- TBDY'e göre maksimum periyod hesabı $T=0.04\times H_N$
- $T=0.04\times 37.5$:1.5 sn büyük olmayacaktır.
- ASCE 7-10 MÇÇÇ Yaklaşık Yapı Periyodu:

  $T_a = C_t \times H_n^{0.75} = 0.0488\times 37.5^{0.75} = 0.74\text{sn}$ olarak alınmıştır.

  Yapı periyodu TBDY de belirtilen sınırlar içerisinde kalmıştır.
- Zemin Sınıfı: ZB
- Taşıyıcı Sistem: Merkezi Çaprazlı Çelik Çerçeve BYS>3
- Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı:5
- Deprem Düzeyi 50 yılda %10 DD-2
- H_N:37.5m Bina Yükseklik Sınırı(BYS):4
- S_{DS}:0.963 DTS:2
- L_f:16.5km
- F_s:0.8 n:0.3
- $S_{DS} = S_S \times F_S$
- $S_{DS} = 1.07\times 0.9 = 0.963\text{g}$
- $S_{D1} = S_1 \times \gamma_F \times F_1$
- $\gamma_F = 1.2 - (0.02\times(L_F - 15))$
- $S_{D1} = 0.3\times 1.17\times 0.8 = 0.281\text{g}$
- $T_A = 0.2\times\dfrac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0.06\text{sn}$
- $T_B = \dfrac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0.29\text{sn}$
- $T > T_B \quad S_{ae}(T) = \dfrac{S_{D1}}{T} = 0.38$
- $R_a(T) = \dfrac{R}{I} = \dfrac{5}{1} = 5$
- $S_{aR}(T) = \dfrac{S_{(ae)}(T)}{R_a(T)} = \dfrac{0.38}{5} = 0.076\text{g}$

- $W_{(1,8)} = G + n \times Q$
- $W_{(1,8)} = 45 \times 45 \times 4.5 \times 8 + 3 \times 9 \times 5 \times 8 + 0.3 \times 45 \times 45 \times 2 \times 8$
- $W_{(1,8)} = 83700kN$
- $W_{(9)} = G + n \times Q$
- $W_{(9)} = 45 \times 45 \times 4 \times 1 + 0.3 \times 45 \times 45 \times 1$
- $W_{(9)} = 8707kN$
- $W_{(T)} = 83700 + 8707 = 92407kN$
- $V_{tE} = m_t \times S_{aR}(T_P) \geq 0.04 \times m_t \times I \times S_{DS} \times g$
- $V_{tE} = 92407 \times \times 0.076 \geq 0.04 \times 92407 \times 1 \times 0.963$
- $V_{tE} = 7022KN \geq 3560kN$

Taban kesme kuvveti iki aynı geometriye sahip MÇÇÇ tarafından taşındığından taban kesme kuvvetinin yarısı hesaba katılacaktır.

Deprem kuvvetinin yarısı V/2=3511 kN olup yönetmelikte belirtilen %5 dış merkezliğin yaklaşık olarak hesaba katılması için deprem kuvveti %5 artırılarak V/2=3687 kN olarak hesaba katılmıştır. Düşey deprem yükü aşağıda anlatılmıştır.

- $E_d=(2/3)S_{DS}G$
- $E_d^{(Z)}=(2/3)0.963G =0.642G$

4.4.3. Katlara Etkiyen Deprem Yükleri

- $V_{tE} = \Delta F_{NE} + \sum_{i=1}^{N} F_{iE}$
- $\Delta F_{NE} = 0.0075NV_{tE} \quad \Delta F_{NE} = 0.0075 \times 9 \times 3687 = 249kN$
- ΔF_{NE} Tepe Deprem Yükü Olarak Eklenecektir.
- $F_{iE} = (V_{tE} - \Delta F_{NE}) \dfrac{m_i H_i}{\sum_{j=1}^{N} m_j H_j}$

Tablo 4.18: Dokuz katlı MÇÇÇ binası için katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri.

Kat	H_i(m)	m_i(kN)	$m_i \times H_i$	$\sum_{j=1}^{N} m_j H_j$	$\frac{m_i H_i}{\sum_{j=1}^{N} m_j H_j}$	$F_{iE} = (V_{tE} - \Delta F_{NE}) \frac{m_i H_i}{\sum_{j=1}^{N} m_j H_j}$ (kN)
9	37.5	8707	326513	1934963	0.169	829
8	33.5	10462.5	350494	1934963	0.181	622
7	29.5	10462.5	308644	1934963	0.160	550
6	25.5	10462.5	266794	1934963	0.138	474
5	21,5	10462.5	224944	1934963	0.116	399
4	17,5	10462.5	183094	1934963	0.095	326
3	13,5	10462.5	117544	1934963	0.061	210
2	9,5	10462.5	99393	1934963	0.051	175
1	5,5	10462.5	57543	1934963	0.030	102

4.4.4. Göreli Kat Ötelemesi Kontrolü

TBDY şartnamesine göre göreli kat ötelemesinin kontrolü için aşağıdaki denklem verilmiştir.

- $\Delta_i = u_i - u_{i-1}$
- $\delta_i = (R/I) \times \Delta_i$
- $\delta : \lambda \times (\delta_{imax}/h_i) \leq 0.008$
- $\lambda = S_{ae}(T)_{DD3} / S_{ae}(T)_{DD2}$
- $S_{DS} = S_S \times F_S$
- $S_{DS} = 0.43 \times 0.9 = 0.387g$
- $S_{D1} = S_1 \times \gamma_F \times F_1$
- $\gamma_F = 1$
- $S_{D1} = 0.115 \times 1 \times 0.8 = 0.092g$
- $T_A = 0.2 \times \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0.047sn$

- $T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0.238sn$
- $T > T_B \;\; S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}}{T} = 0.124$
- $\lambda = \frac{S_{ae}(T)_{DD-3}}{S_{ae}(T)_{DD-2}} = \frac{0.124}{0.38} = 0.33$

4.19: MÇÇÇ göreli kat ötelemeleri.

Kat	Δ_i/h_i	(R/I)	$\delta:\lambda\times(\delta_{imax}/h_i)$
9	0,0019	5	0,0032
8	0,0022	5	0,0037
7	0,0022	5	0,0037
6	0,0021	5	0,0035
5	0,0020	5	0,0033
4	0,0018	5	0,0030
3	0,0016	5	0,0027
2	0,0014	5	0,0024
1	0,0010	5	0,0017

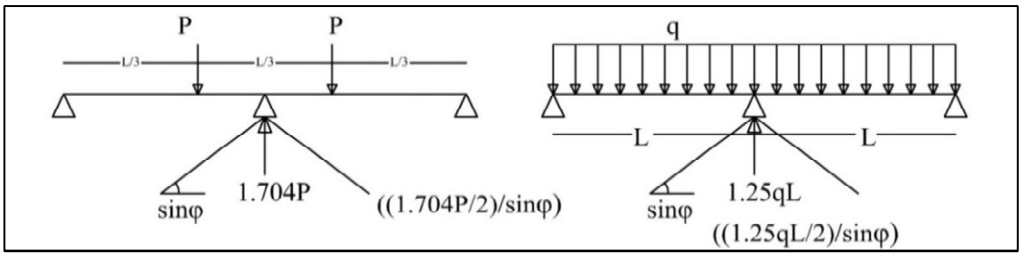
MÇÇÇ ler için göreli kat ötelemesi değerleri TBDY de verilen sınırlar içinde kalmaktadır.

4.4.5. Çaprazların Boyutlandırılması

4.20' de çaprazların tasarım hesap değerleri verilmiştir. İlgili tabloların oluşturulmasında kullanılan gerilme narinlik şartı denklemleri aşağıda verilmiştir.

- $\frac{KL}{i} \le 4.71\sqrt{\frac{E}{Fy}} \rightarrow \frac{F_y}{F_e} \le 2.25 \rightarrow F_{cr} = \left[0.658^{\frac{F_y}{F_e}}\right]F_y$
- $\frac{KL}{i} > 4.71\sqrt{\frac{E}{Fy}} \rightarrow veya \;\; \frac{F_y}{F_e} > 2.25 \rightarrow F_{cr} = 0.877F_e$
- $F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{i}\right)^2}$

- $\frac{b}{t} \leq 1.4\sqrt{\frac{E}{Fy}}$ Narinlik şartı
- $\frac{b}{t} \leq 0.55\sqrt{\frac{E}{Fy}}$ (TBDY Süneklik Düzeyi Yüksek Elemanlar)
- $\frac{KL}{i} \leq 200$



Şekil 4.10: Düşey yüklerin çaprazlara aktarım kabulü.

- $G_{1.8}$:60.75kN $Q_{1,2}$:27kN
- G_9:54kN Q_3:13.5kN
- $P_{G_9} = \frac{1.704}{2} \times 54 / 0.6645 = 69.2\text{kN}$ $P_{Q_9} = \frac{1.704}{2} \times 13.5 / 0.6645 = 17.3\text{kN}$
- $P_{G_{2.8}} = \frac{1.704}{2} \times 60.75 / 0.6645 + ((1.25 \times 3 \times 4.5) / 2) / 0.6645 = 90.60\text{kN}$
- $P_{Q_{2,8}} = \frac{1.704}{2} \times 27 / 0.6645 = 34.6\text{kN}$
- $P_{G_1} = \frac{1.704}{2} \times 60.75 / 0.7746 + ((1.25 \times 3 \times 4.5) / 2) / 0.7746 = 77.7\text{kN}$
- $P_{Q_1} = \frac{1.704}{2} \times 27 / 0.7746 = 29.7\text{kN}$

Çaprazların boyutlandırılmasında,

- 1.2G+1Q+1E
- $E= E_d^{(H)}+0.3E_d^{(Z)}$

yük kombinasyonu kullanılacaktır.

9.Kattaki çaprazlara gelen basınç kuvveti hesabı ve tasarımı;

- P_a:1.2×69.2+1×17.3+278+0.3x0.642×69.2=391.7kN

- HSS 7×7×0.5 i:66.8mm A_g:7480mm^2 b/t:12
- $12 \leq 0.55\sqrt{\frac{200000}{320}}$ (TBDY Süneklik Düzeyi Yüksek Elemanlar)
- $12 \leq 13.5$
- $90.12 \leq 200$
- $F_e = \frac{\pi^2 \times 200000}{\left(\frac{6020}{66.8}\right)^2} = 243.05$
- $90.12 \leq 117.75 \rightarrow 1.31 \leq 2.25 \rightarrow F_{cr} = \left[0.658^{\frac{320}{243}}\right]320 = 184.43$
- $P_n = F_{cr} x A_g = 184.43 \times 7480 = 1379.5\text{kN}$
- $\phi P_n = 0.9 \times 1379.5 = 1241.5\text{kN}$
- $1241.5 \geq 391.7$

Tablo 4.20: MÇÇÇ çaprazlarının tasarımı.

Kat	9	8	7	6	5	4	3	2	1
P_G(kN)	69.2	90.6	90.6	90.6	90.6	90.6	90.6	90.6	77.7
P_Q(kN)	17.3	34.6	34.6	34.6	34.6	34.6	34.6	34.6	29.7
P_{EH}(kN)	278	486	669	828	962	1071	1141	1200	971
P_{EZ}(kN)	44.4	58.2	58.2	58.2	58.2	58.2	58.2	58.2	49.9
Pa(kN)	391	646	829	988	1122	1231	1301	1360	1108
K_x=K_y	1	1	1	1	1	1	1	1	1
L Çubuk Boyu (cm)	602	602	602	602	602	602	602	602	710
$(KL)_x$= $(KL)_y$ (mm)	6020	6020	6020	6020	6020	6020	6020	6020	7100
TBDY Narinlik Koşulu	200	200	200	200	200	200	200	200	200
TBDY En Kesit Koşulu	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5
Seçilen Kesit	HSS 7X7 X0,5	HSS 7X7X 0,5	HSS 7X7 X0,5	HSS 7X7X 0,625	HSS 7X7X 0,625	HSS 8X8X 0,625	HSS 8X8X 0,625	HSS 8X8 X0,6 25	HSS 8X8 X0,6 25

Tablo 4.20: Devam.

i(mm)	66.8	66.8	66.8	65.5	65.5	75.9	75.9	75.9	75.9
(KL)/i	90.1	90.12	90.1	91.91	91.91	79.31	79.31	79.31	93.54
b/t	12	12	12	9.05	9.05	10.8	10.8	10.8	10.8
Fe (N/mm^2)	243	243	243	233	233	313	313	313	225
Fcr (N/mm^2)	184	184.4	184	180.4	180.4	208.8	208.8	208.8	176.7
A_g(mm^2)	7480	7480	7480	9030	9030	10600	10600	10600	10600
ϕP_n (kN)	1241	1241	1241	1466	1466	1992	1992	1992	1685
Etki/Kapasite	0.32	0.52	0.67	0.67	0.77	0.62	0.65	0.68	0.66

4.4.6. Kolonların Boyutlandırılması

4.4.6.1. Çaprazlı Açıklıktaki Kolonların Boyutlandırılması

4.21' de kolonların tasarım hesap değerleri verilmiştir. İlgili tabloların oluşturulmasında kullanılan gerilme narinlik şartı denklemleri aşağıda verilmiştir.

- $\frac{\mathrm{KL}}{\mathrm{i}} \leq 4.71\sqrt{\frac{\mathrm{E}}{\mathrm{Fy}}} \rightarrow \frac{F_y}{F_e} \leq 2.25 \rightarrow F_{cr} = \left[0.658^{\frac{F_y}{F_e}}\right]\mathrm{F_y}$
- $\frac{KL}{i} > 4.71\sqrt{\frac{E}{Fy}} \rightarrow veya \ \frac{F_y}{F_e} > 2.25 \rightarrow F_{cr} = 0.877F_e$
- $F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{i}\right)^2}$
- $\frac{b}{t} \leq 0.56\sqrt{\frac{\mathrm{E}}{\mathrm{Fy}}}$ Narinlik şartı
- $C_a > 0.125$
- $\frac{h}{t_w} \quad 0.77\sqrt{\frac{\mathrm{E}}{\mathrm{Fy}}}(2.93 - C_a) \geq 1.49\sqrt{\frac{\mathrm{E}}{\mathrm{Fy}}}$(TBDY Süneklik Düzeyi Yüksek Kolonlar)
- $K_x = K_y = 1$

9.Kat çaprazlı açıklıktaki kolon tasarımı ve boyutlandırmasında;

- 1.2G+1Q+1E
- E= $E_d^{(H)}$+0.3$E_d^{(Z)}$

yük kombinasyonu kullanılacaktır.

- $P_{G_9} = 54 \times 3 = 162kN$ $P_{Q_9} = 13.5 \times 3 = 40.5kN$ $P_{E_9^H} = 0$ $P_{E_9^Z} = 0.642P_{G_9}$
- $P_{E_9^Z} = 0.642 \times 162 = 104kN$
- $P_{G_8} = P_{G_9} + 60.75 \times 3 + 3 \times 9 = 371.25kN$
- $P_{Q_8} = P_{Q_8} + 27 \times 3 = 121.5kN$ $P_{E_8^H} = 252$ $P_{E_8^Z} = 0.642P_{G_8}$
- $P_{E_8^Z} = 0.642 \times 371.25 = 238.4kN$

3.Kattaki kolona gelen basınç kuvveti hesabı;

- P_a:1.2×162+1×40.5+0+0.3×0.642×104=266.1kN

3.Kattaki çaprazlı açıklıktaki kolon tasarımı;

- W 14x48 için kesit özellikleri i:48.5mm A_g:9100mm^2 b/t:6.75 h/t_w:33.6
- $6.75 \leq 0.56\sqrt{\frac{200000}{345}}$ Narinlik şartı
- $6.75 \leq 13.48$
- $C_a > 0.125$ $C_a = 0.23$
- $\frac{h}{t_w} = 33.6$ $0.77\sqrt{\frac{200000}{345}}(2.93 - 0.23) \geq 1.49\sqrt{\frac{200000}{345}}$
- $50.05 \geq 35.9$
- $33.6 \leq 35.9$
- $F_e = \frac{\pi^2 \times 200000}{\left(\frac{6020}{82.47}\right)^2} = 290.23$

- $82.47 \leq 113.4 \rightarrow 1.15 \leq 2.25 \rightarrow F_{cr} = \left[0.658^{\frac{320}{290.23}} \right] 345 = 201.71$
- $P_n = F_{cr} \times A_g = 201.71 \times 9100 = 1835.6 kN$
- $\phi P_n = 0.9 \times 1835.6 = 1652 kN$
- $1652 \geq 266.1$

Tablo 4.21: Çaprazlı açıklıktaki kolonların tasarımı.

Kat	9	8	7	6	5	4	3	2	1
P_G(kN)	162	371.2	580.5	789.7	999	1208.2	1417.5	1626.7	1836
P_Q(kN)	40.5	121.5	202.5	283.5	364.5	445.5	526.5	607.5	688.5
P_{EH}(kN)	0	185	507	952	1502	2140	2852	3609	4406
P_{EZ}(kN)	104.0	238.3	372.7	507.0	641.4	775.7	910.0	1044.4	1178.7
Pa(kN)	266.1	823.5	1517.	2335.	3257.7	4268.1	5352.5	6481.9	7651.3
K_x=K_y	1	1	1	1	1	1	1	1	1
L Çubuk Boyu (m)	4	4	4	4	4	4	4	4	5.5
$(KL)_x$=$(KL)_y$ (mm)	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	5500
Seçilen Kesit	W14x 48	W14x 48	W14x 68	W14x 68	W14x 120	W14x 120	W14x 159	W14x 159	W14x 159
i_y (mm)	48.5	48.5	62.5	62.5	95.5	95.5	102	102	102
(KL)/i	82.47	82.47	64.00	64.00	41.88	41.88	39.22	39.22	39.22
F_e (N/mm^2)	290.2	290.2	481.9	481.9	1125.1	1125.1	1283.2	1283.2	1283.2
F_{cr} (N/mm^2)	201.7	201.7	242.3	242.3	284.09	284.09	288.29	288.29	288.29
A_g(mm^2)	9100	9100	12900	12900	25000	25000	30100	30100	30100
ϕP_n (kN)	1652	1652	2813	2813	6391	6391	7809	7809	7809
Etki/Kapasite	0.16	0.51	0.54	0.83	0.51	0.67	0.69	0.83	0.98

4.4.6.2. Çaprazsız Açıklıktaki Kolonların Boyutlandırılması

Dış açıklıktaki kolonlar deprem yükü almadığından aşağıda bulunan kombinasyona göre tasarımları yapılmıştır.

- 1.2G+1.6Q
- $P_{G_3} = 54 \times 3/2 = 81kN \quad P_{Q_3} = 13.5 \times 3/2 = 20.25kN$
- $P_a = 81 \times 1.2 + 20.25 \times 1.6 : 130kN$
- $P_{G_2} = P_{G_3} + (3x9/2) + (60.75 \times 3/2) = 185.62kN \quad P_{Q_2} = P_{Q_3} + 27 \times 3/2 = 60.75kN$
- $P_a = 320kN$
- $P_{G_1} = P_{G_2} + (3 \times 9/2) + (60.75 \times 3/2) = 290.25kN \quad P_{Q_1} = P_{Q_2} + 27 \times 3/2 = 101.5kN$
- $P_a = 510.3kN$
- W 12x40 için kesit özellikleri i:49.3mm A_g:7550mm^{2}b/t:7.77 h/t_w:33.6
- $7.77 \leq 0.56\sqrt{\frac{200000}{345}}$ Narinlik şartı
- $7.77 \leq 13.48$
- $C_a > 0.125 \quad C_a = 0.51$
- $\frac{h}{t_w} = 33.3 \quad 0.77\sqrt{\frac{200000}{345}}(2.93 - 0.51) \geq 1.49\sqrt{\frac{200000}{345}}$
- $44.86 \geq 35.9$
- $33.3 \leq 35.9$

Tablo 4.22: Çaprazsız açıklıktaki dış kolonların tasarımı.

Kat	9	8	7	6	5	4	3	2	1
P_a(kN)	129.6	319.9	510.3	700.6	891	1081	1271	1462	1652
K_x=K_y	1	1	1	1	1	1	1	1	1
L Ç.Boy (m)	4	4	4	4	4	4	4	4	5.5
$(KL)_x$=($KL)_y$ (mm)	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	5500
Seçilen Kesit	W12x 40	W12x 40	W12x 40	W12x 40	W12x 40	W14x 48	W14x 48	W14x 68	W14 x68
i_y (mm)	49.3	49.3	49.3	49.3	49.3	48.5	48.5	62.5	62.5
(KL)/i	81.14	81.14	81.14	81.14	81.14	82.47	82.47	64.00	64.00
F_e (N/mm^2)	299.8	299.8	299.8	299.8	299.8	290.2	290.2	481.9	481.9

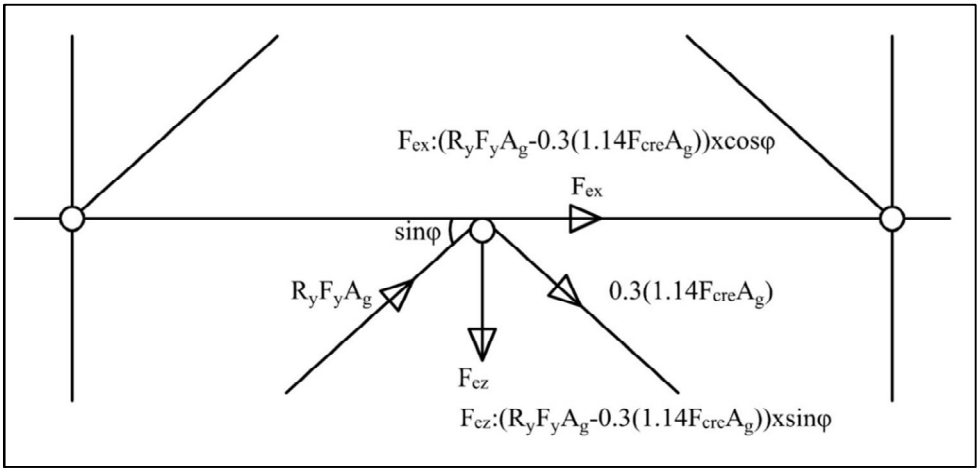
Tablo 4.22: Devam.

F_{cr} (N/mm^2)	213.1	213.1	213.1	213.1	213.1	201.7	201.7	242.3	242.3
$A_g(mm^2)$	7550	7550	7550	7550	7550	9100	9100	12900	12900
ϕP_n (kN)	1448	1448	1448	1448	1448	1652	1652	2813	2813
Etki/Kapasite	0.09	0.22	0.35	0.48	0.62	0.65	0.77	0.52	0.59

4.4.7. Kirişlerin Boyutlandırılması

4.4.7.1. Çaprazlı Açıklıktaki Kirişlerin Boyutlandırılması

Çaprazlı açıklıktaki kirişler şekil 4.6 ta gösterilen düşey ve yatay dengelenmemiş kuvvetler ve deprem yükü etkisinin büyüğü ile düşey yük etkisinden oluşan kuvvetlere göre tasarlanır.



Şekil 4.11: Kirişte oluşan Dengelenmemiş çapraz kuvveti

Dengelenmemiş kuvvetten dolayı kiriş ortasında oluşan moment,

- $(Me_x) = (1/4)F_e\ L$

olarak hesaplanır. TBDY yönetmeliğine göre kutu profilleri için R_y:1.4 alınmıştır.

Kirişlerin tasarımı eğilme ve eksenel kuvvetin ayrı ayrı ve birleşik etkisi altında yapılacaktır.

Çaprazlı açıklıklardaki kirişin tasarımı 1.2G+1Q+1E kombinasyonu ile YDKT'e göre yapılacaktır. Söz konusu kombinasyonda E deprem kuvvetleri yerine dengelenmemiş iç kuvvetler kullanılacaktır.

3.Kat çapraz açıklıktaki kirişte oluşan iç kuvvetlerin hesabı;

- $M_{G_3} = 54 \times 3 = 162kN \quad M_{Q_3} = 13.5 \times 3 = 40.50kN \quad M_{E_3^Z} = 1/4 \times F_{ez} \times L$
- $F_{ez} = (R_y \times F_y \times A_g - 1.14 \times F_{cre} \times A_g) \times \sin\varphi$
- $F_{ez} = (1.4 \times 320 \times 7480 - 0.3 \times 1.14 \times 184.43 \times 7480) \times 0.6645 = 1913.12kN$
- $M_{E_3^Z} = 1/4 \times 1913 \times 9 = 4304.5kNm$
- $F_{ex} = (R_y \times F_y \times A_g - 1.14 \times F_{cre} \times A_g) x \cos\varphi$
- $F_{ex} = (1.4 \times 320 \times 7480 - 0.3 \times 1.14 \times 184.43 \times 7480) \times 0.7475 = 2152.26kN$
- $M_G = 3 \times 54 = 162kNm \quad M_Q = 3 \times 13.5 = 40.5kNm$
- $1.2G + 1Q + 1E$
- $M_a = 1.2 \times 162 + 40.5 + 4304.5 = 4539.4kNm$
- $P_a = 2152.3kN.m$
- W36x330 için i:97.3mm W_{px}:23100mm^3 A_g:62500mm^2
- $\frac{b}{t} \leq 0.38\sqrt{\frac{E}{Fy}}$ Narinlik şartı
- $C_a > 0.125$
- $\frac{h}{t_w} \quad 0.77\sqrt{\frac{E}{Fy}}(2.93 - C_a) \geq 1.49\sqrt{\frac{E}{Fy}}$ (TBDY Süneklik Düzeyi Yüksek Kolonlar)
- $4.49 \leq 0.38\sqrt{\frac{200000}{345}}$ Narinlik şartı
- $4.49 \leq 9.15$
- $C_a > 0.125 \quad C_a = 0.13$
- $\frac{h}{t_w} = 31.4 \quad 0.77\sqrt{\frac{200000}{345}}(2.93 - 0.13) \geq 1.49\sqrt{\frac{200000}{345}}$
- $51.91 \geq 35.9$
- $31.4 \leq 35.9$
- $M_p = F_y \times W_p \quad M_p = 345 \times 23100/1000 = 7970kNm \ \phi:0.9 \quad \phi M_p = 7172.5kNm$
- 7172.5kNm>4304.5kNm

- $F_e = \dfrac{\pi^2 \times 200000}{\left(\dfrac{3000}{97.3}\right)^2} = 2076.42$
- $F_{cr} = \left[0.658^{\frac{320}{2076.42}}\right]345 = 300\text{kN}$
- $\text{P}_\text{n} = \text{F}_{cr} \times A_g = 300 \times 62500 = 18750\text{kN}$
- $\phi P_n = 0.9 \times 16875 = 16875\text{kN}$
- $16875 \geq 2152$
- $\dfrac{P_r}{2P_c} + \dfrac{M_r}{M_c} \leq 1.0$
- $\dfrac{2152}{33751} + \dfrac{4304}{7152} \leq 1.0$
- $0.06 + 0.63 \leq 1.0$

Tablo 4.23: Çaprazlı açıklıktaki kirişlerin eğilme etkisi altında tasarımı.

Kat	9	8	7	6	5	4	3	2	1
$R_y \times F_y \times A_g$(kN)	3351	3351	3351	4045	4045	4748	4748	4748	4748
$0{,}3F_{cre} \times A_g$	471.7	471.7	471.7	557.1	557.1	757.0	757.0	757.0	640.6
sin θ	0.664	0.664	0.664	0.664	0.664	0.664	0.664	0.664	0.774
F_e(kN)	1913	1913	1913	2317	2317	2652	2652	2652	3182
M_e(kNm)	4304	4304	4304	5215	5215	5967	5967	5967	7160
M_G(kNm)	162	212.6	212.6	212.6	212.6	212.6	212.6	212.6	212.6
M_Q(kNm)	40.50	81.00	81.00	81.00	81.00	81.00	81.00	81.00	81.00
Ma(kNm)	4539	4640	4640	5551	5551	6303	6303	6303	7496
Seçilen Kesit	W36 x330	W36 x330	W36 x330	W36 x361	W36 x361	W36 x441	W36 x441	W36 x441	W36 x441
$W_p \times$ (mm^3)	23100	23100	23100	25400	25400	31300	31300	31300	31300
$M_p = F_y \times W_{px}$	7969	7969	7969	8763	8763	10798	10798	10798	10798
ϕM_p	7172	7172	7172	7886	7886	9718	9718	9718	9718
Etki/Kapasite	0.63	0.65	0.65	0.70	0.70	0.65	0.65	0.65	0.77

Tablo 4.24: Çaprazlı açıklıktaki kirişlerin eksenel basınç etkisi altında tasarımı.

Kat	9	8	7	6	5	4	3	2	1
$Ry \times Fy \times A_g$(kN)	3351	3351	3351	4045	4045	4748	4748	4748	4748
$0,3F_{cre}A_g$	471.7	471.7	471.7	557.1	557.1	757.0	757.0	757.0	640.6
cos θ	0.747	0.747	0.747	0.747	0.747	0.747	0.747	0.747	0.633
F_e(kN)	2152	2152	2152	2607	2607	2983	2983	2983	2603
$K_x=K_y$	1	1	1	1	1	1	1	1	1
L Çubuk Boyu (cm)	300	300	300	300	300	300	300	300	300
$(KL)_x=(KL)_y$ (mm)	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000
Seçilen Kesit	W36 x330	W36 x330	W36 x330	W36 x361	W36 x361	W36 x441	W36 x441	W36 x441	W36 x441
i (mm)	97.3	97.3	97.3	97.8	97.8	99.6	99.6	99.6	99.6
(KL)/i	30.83	30.83	30.83	30.67	30.67	30.12	30.12	30.12	30.12
Fe (N/mm^2)	2076.42	2076.42	2076.42	2097.81	2097.81	2175.74	2175.74	2175.74	2175.74
F_{cr} (N/mm^2)	300.0	300.0	300.0	300.2	300.2	300.9	300.9	300.9	300.9
$A_g(mm^2)$	62500	62500	62500	68400	68400	83900	83900	83900	83900
ϕP_n (kN)	16875	16875	16875	18480	18480	22720	22720	22720	22720
Etki/Kapasite	0.13	0.13	0.13	0.14	0.14	0.13	0.13	0.13	0.11

Tablo 4.25: Çaprazlı açıklıktaki kirişlerin birleşik kuvvet etkisi altında tasarımı.

Pr(kN)	2Pc (kN)	Pr/2Pc	Mr/Mc	Etki/Kapasite
2152.26	33751.18	0.06	0.63	0.70
2152.26	33751.18	0.06	0.65	0.71
2152.26	33751.18	0.06	0.65	0.71
2607.55	36961.60	0.07	0.70	0.77
2607.55	36961.60	0.07	0.70	0.77
2983.89	45441.20	0.07	0.65	0.71
2983.89	45441.20	0.07	0.65	0.71
2983.89	45441.20	0.07	0.65	0.71
2603.76	45441.20	0.06	0.77	0.83

4.4.7.2. Çaprazsız Açıklıktaki Kirişlerin Boyutlandırılması

Çaprazsız açıklıktaki kirişlerler aşağıda verilen yük kombinasyonuna göre boyutlandırılacaktır.

- 1.2G+1.6Q

9.Kat çaprazsız açıklıktaki kirişlerin tasarımı;

- $M_{G_9} = 54 \times 3 = 162kN$ $M_{Q_9} = 13.5 \times 3 = 40.50kN$
- M_a:1.2×162+1.6×40.5=259.2kNm

Tablo 4.26: Çaprazsız açıklıktaki kirişlerin tasarımı.

Kat	M_a(KNm)	Seçilen Kesit	$Z_x(m^3)$	$M_p=F_y \times W_{px}$	ϕM_p	Etki/Kapasite
9	259.20	W21x44	0.00156	538.20	484.38	0.54
8	384.78	W21x44	0.00156	538.20	484.38	0.79
7	384.78	W21x44	0.00156	538.20	484.38	0.79

Tablo 4.26: Devam.

6	384.78	W21x44	0.00156	538.20	484.38	0.79
5	384.78	W21x44	0.00156	538.20	484.38	0.79
4	384.78	W21x44	0.00156	538.20	484.38	0.79
3	384.78	W21x44	0.00156	538.20	484.38	0.79
2	384.78	W21x44	0.00156	538.20	484.38	0.79
1	384.78	W21x44	0.00156	538.20	484.38	0.79

4.5. Dokuz Katlı Burkulması Önlenmiş Merkezi Çaprazlı Çelik Çerçeve Tasarımı

Şekil 4.1 ve 4.2'de plan ve en kesiti verilen 9 katlı merkezi çaprazlı çelik çerçeve için hesap adımları aşağıda özetlenmiştir.

4.5.1. Düşey Yükler

Aşağıda ASCE 07-10 ve TS 498 şartnamelerinden yararlanılarak elde edilen yük değerleri kullanılarak üç katlı binaların hesaba katılan akslarında bulunan MÇÇÇ'lere yük aktarımı yapılmıştır. Ayrıca bu yük değerleri, katlara etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin hesabında ve dolayısıyla da çerçevelere gelen deprem yüklerinin hesabında da kullanılmıştır.

Normal Kat Düşey Yükler:

- Kaplama 0.50 kN/m^2
- Trapez sac + Betonarme döşeme 2.00 kN/m^2
- Bölme duvarlar : 1.00 kN/m^2
- Çelik konstrüksiyon : 0.7 kN/m^2
- Asma Tavan+Tesisat :0.3KN/ m^2
- Ölü yük : 4.5 kN/m^2 , Hareketli yük : 2.0 kN/m^2
- Duvar Yükü : 3KN/m

Çatı Kat Düşey Yükler:

- Çatı kaplama 1.00 kN/m^2
- Trapez sac + Betonarme döşeme 2.00 kN/m^2 ,
- Çelik konstrüksiyon : 0.5 kN/m^2
- Asma Tavan + İzolasyon+Tesisat :0.5KN/ m^2
- Ölü yük : 4.0 kN/m^2 , Hareketli yük : 1.0 kN/m^2,

4.5.2. Deprem Karakteristikleri

Tasarımı yapılan ofis binalarının İstanbul Pendik'te bulunduğu kabulü yapılmıştır ve TBDY'e göre 50 yılda olma olasılığı %10 deprem için (DD-2) S_S: 1.07g S_1 :0.3g olarak alınmıştır. Deprem Yüklerinin hesaplanmasında TBDY yönetmeliği göz önüne alınmıştır.

- TBDY'e göre maksimum periyod hesabı $T=0.04\times H_N$
- $T=0.04\times 37.5=1.5$ sn büyük olmayacaktır.
- ASCE 7-10 BÖMÇÇÇ Yaklaşık Yapı Periyodu:

  $T_a = C_t \times H_n^{0.75} = 0.0731\times 37.5^{0.75} = 1.11$sn olarak alınmıştır.

  Yapı periyodu TBDY de belirtilen sınırlar içerisinde kalmıştır.
- Zemin Sınıfı: ZB
- Taşıyıcı Sistem: Burkulması Önlenmiş Merkezi Çaprazlı Çelik Çerçeve
- BYS ≥ 2
- Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı:8
- Deprem Düzeyi 50 yılda %10 DD-2
- H_N:37.5m Bina Yükseklik Sınırı(BYS):4
- S_{DS}:0.963 DTS:2
- L_f:16.5km
- F_s:0.8 n:0.3
- $S_{DS} = S_S \times F_S$
- $S_{DS} = 1.07\times 0.9 = 0.963g$
- $S_{D1} = S_1 \times \gamma_F \times F_1$
- $\gamma_F = 1.2 - (0.02\times(L_F - 15))$
- $S_{D1} = 0.3\times 1.17\times 0.8 = 0.281g$

- $T_A = 0.2 \times \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0.06sn$
- $T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0.29sn$
- $T > T_B \;\; S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}}{T} = 0.253$
- $R_a(T) = \frac{R}{I} = \frac{8}{1} = 8$
- $S_{aR}(T) = \frac{S_{(ae)}(T)}{R_a(T)} = \frac{0.253}{8} = 0.032g$
- $W_{(1,8)} = G + n \times Q$
- $W_{(1,8)} = 45 \times 45 \times 4.5 \times 8 + 3 \times 9 \times 5 \times 8 + 0.3 \times 45 \times 45 \times 2 \times 8$
- $W_{(1,8)} = 83700kN$
- $W_{(9)} = G + n \times Q$
- $W_{(9)} = 45 \times 45 \times 4 \times 1 + 0.3 \times 45 \times 45 \times 1$
- $W_{(9)} = 8707kN$
- $W_{(T)} = 83700 + 8707 = 92407kN$
- $V_{tE} = m_t \times S_{aR}(T_P) \geq 0.04 \times m_t \times I \times S_{DS} \times g$
- $V_{tE} = 92407 \times 0.032 \geq 0.04 \times 92407 \times 1 \times 0.963$
- $V_{tE} = 2957kN \geq 3560kN$

Taban kesme kuvveti iki aynı geometriye sahip MÇÇÇ tarafından taşındığından taban kesme kuvvetinin yarısı hesaba katılacaktır.

Deprem kuvvetinin yarısı V/2=1780 kN olup yönetmelikte belirtilen %5 dış merkezliğin yaklaşık olarak hesaba katılması için deprem kuvveti %5 artırılarak V/2=1869kN olarak hesaba katılmıştır. Düşey deprem yükü aşağıda gösterilmiştir.

- $E_d=(2/3)S_{DS}G$
- $E_d^{(Z)}=(2/3)0.963G = 0.642G$

4.5.3. Katlara Etkiyen Deprem Yükleri

- $V_{tE} = \Delta F_{NE} + \sum_{i=1}^{N} F_{iE}$

- $\Delta F_{NE} = 0.0075NV_{tE}$ $\Delta F_{NE} = 0.0075 \times 9 \times 1869 = 126kN$
- $F_{iE} = (V_{tE} - \Delta F_{NE}) \dfrac{m_i H_i}{\sum_{j=1}^{N} m_j H_j}$

Tablo 4.27: Dokuz katlı MÇÇÇ binası için katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri

Kat	H_i(m)	m_i(kN)	$m_i \times H_i$	$\sum_{j=1}^{N} m_j H_j$	$\dfrac{m_i H_i}{\sum_{j=1}^{N} m_j H_j}$	$F_{iE} = (V_{tE} - \Delta F_{NE}) \dfrac{m_i H_i}{\sum_{j=1}^{N} m_j H_j}$ (kN)
9	37.5	8707	326513	1934963	0.169	421
8	33.5	10462.5	350494	1934963	0.181	315
7	29.5	10462.5	308644	1934963	0.160	279
6	25.5	10462.5	266794	1934963	0.138	241
5	21,5	10462.5	224944	1934963	0.116	202
4	17,5	10462.5	183094	1934963	0.095	166
3	13,5	10462.5	117544	1934963	0.061	106
2	9,5	10462.5	99393	1934963	0.051	89
1	5,5	10462.5	57543	1934963	0.030	52

4.5.4. Göreli Kat Ötelemesi Kontrolü

TBDY şartnamesine göre göreli kat ötelemesinin kontrolü için aşağıdaki denklem verilmiştir.

- $\Delta_i = u_i - u_{i-1}$
- $\delta_i = (R/I) \times \Delta_i$
- $\delta : \lambda \times (\delta_{imax}/h_i) \leq 0.008$
- $\lambda = S_{ae}(T)_{DD3} / S_{ae}(T)_{DD2}$
- $S_{DS} = S_S \times F_S$
- $S_{DS} = 0.43 \times 0.9 = 0.387g$
- $S_{D1} = S_1 \times \gamma_F \times F_1$
- $\gamma_F = 1$

- $S_{D1} = 0.115 \times 1 \times 0.8 = 0.092g$
- $T_A = 0.2 \times \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0.047sn$
- $T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0.238sn$
- $T > T_B \;\; S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}}{T} = 0.083$
- $\lambda = \frac{S_{ae}(T)_{DD-3}}{S_{ae}(T)_{DD-2}} = \frac{0.083}{0.253} = 0.33$

Tablo 4.28: BÖÇÇÇ göreli kat ötelemeleri.

Kat	Δ_i/h_i	(R/I)	$\delta{:}\lambda x(\delta_{imax}/h_i)$
9	0,0013	8	0,0035
8	0,0017	8	0,0044
7	0,0019	8	0,0050
6	0,0018	8	0,0049
5	0,0019	8	0,0050
4	0,0017	8	0,0045
3	0,0016	8	0,0043
2	0,0016	8	0,0043
1	0,0012	8	0,0032

BÖÇÇÇ ler için göreli kat ötelemesi değerleri TBDY de verilen sınırlar içinde kalmaktadır.

4.5.5. Çaprazların Boyutlandırılması

Burkulması önlenmiş çapraz tasarımını YDKT'e göre yapılacak olup çapraz boyutlandırmaları çaprazların düşey yük almadığı kabulü ile yatay deprem kuvvetlerine göre yapılacaktır.

9.Kat burkulması önlenmiş merkezi çaprazın tasarımı için çapraza gelen deprem yükü SAP 2000 programından 159KN olarak okunmuştur.

YDKT için çapraz tasarımında ϕ:0.90

Çelik çapraz malzemesinin çekirdek elemanı için 320 MPa akma dayanımına sahip çelik kullanıldığı varsayılmıştır.

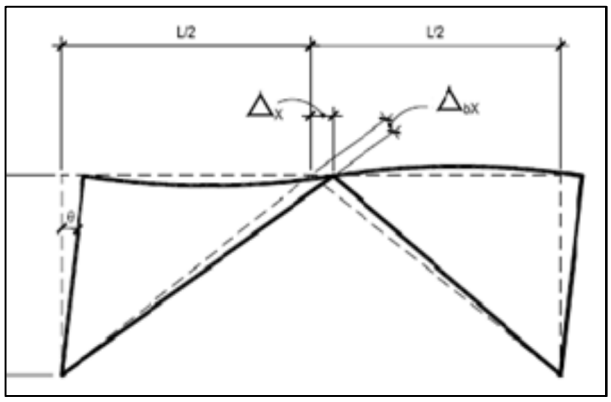
- $P_r = 141KN$
- $P_{ysc} = F_{ysc} \times A_{sc}$ denklemi esas alınarak gerekli A_{sc} bulunacaktır.
- $A_{sc_{gereken}} = \frac{P_r}{\phi F_{ysc}} = \frac{141000}{0.9x320} = 489.5mm^2$ $A_{sc} = 2000mm^2$ seçilmiştir.

Burkulması önlenmiş çaprazlı açıklıkta bulunan kolon ve kirişler, en az %2 göreli kat ötelenmesi veya tasarım göreli kat ötelenmesinin iki ile çarpılması sonucu oluşan göreli ötelemelerin büyüğüne göre çapraz dayanımları dikkate alınarak oluşan akma mekanizması dikkate alınarak tasarlanacaktır. Tasarım göreli kat ötelemesi dikkate alınırken düşey yüklerin etkisi de hesaba katılacaktır.

9.Kat için hesaplanan düşey göreli ötelenme: 0.35mm

9.Kat için hesaplanan göreli ötelenmesi: 84mm

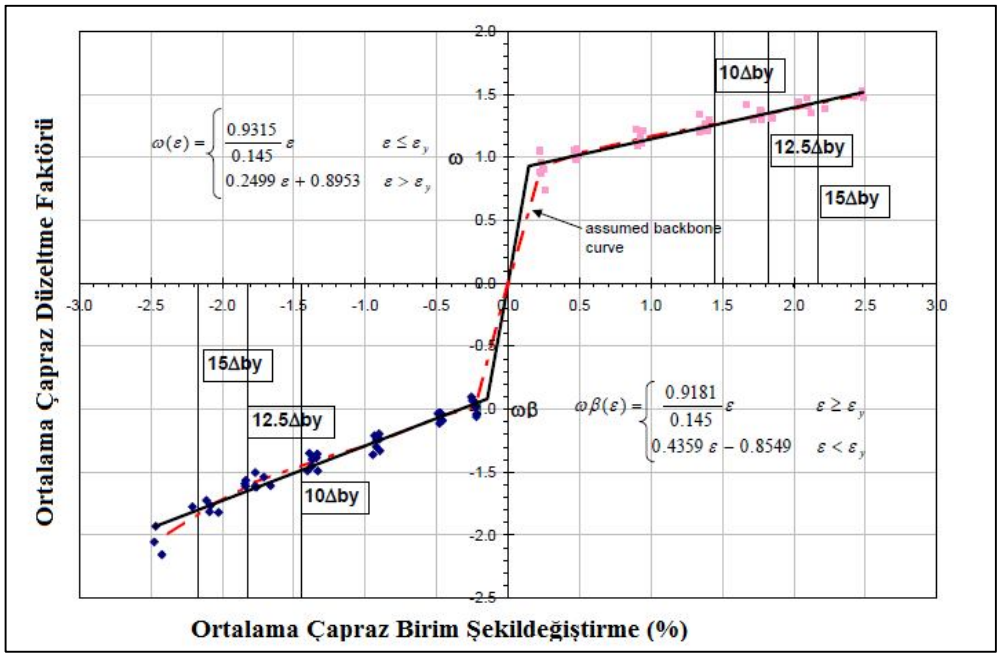
9.Kat için %2 göreli kat ötelemesi: 80mm



Şekil 4.12: Burkulması önlenmiş çaprazın uzamasının çerçeveye olan etkisi.

- $\Delta_{çapraz} = \sqrt{(L_y^2 - \Delta L_y^2) + (L_x^2 + \Delta L_x^2)} - \sqrt{(L_y^2 + L_x^2}$
- $\Delta_{çapraz} = \sqrt{(4000 - 0.35)^2 + (4500 + 84)^2} - \sqrt{(4000^2 + 4500^2}$
- $\Delta_{çapraz} = 62.81mm$
- $L_{wp} = 0.7 \times L$ Gerçek akma boyu
- $L_{wp} = 0.7 \times 6020 = 4214mm$
- $\varepsilon = \frac{\Delta_{çapraz}}{L_{wp}} = \frac{62.81}{4214} = 0.0149$ için $\omega = 1.27$ ve $\beta\omega = 1.50$

Çapraz dayanımları hesaplarında (Merrit, 2003), tarafından yapılan testlerde elde edilen ω *ve* $\beta\omega$ değerleri kullanılmıştır.



Şekil 4.13: Çaprazlarda birim şekildeğiştirme için ω *ve* $\beta\omega$ değerleri

- $T=\omega R_y P_{ysc}$ = 1.27×1.4×320×2000=1135.88kN
- $P=\beta\omega R_y P_{ysc}$ =1.50×.4×320×2000=1348.04kN

Tablo 4.29: Burkulması önlenmiş çaprazların tasarımı.

Kat	9	8	7	6	5	4	3	2	1
P_r(kN)	141	247	340	421	488	544	579	609	493
F_{ysc}(Mpa)	320	320	320	320	320	320	320	320	320
ϕ	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
A_{sc}	489.5	857.6	1180	1461	1694	1888	2010	2114	1711
R	8	8	8	8	8	8	8	8	8
ΔZ	0.35	0.85	0.9	0.75	0.85	0.8	0.75	0.65	0.9
ΔH	5.25	6.65	7.65	7.3	7.65	6.8	6.55	6.45	6.6
I	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ΔH	42	53.2	61.2	58.4	61.2	54.4	52.4	51.6	52.8
2ΔH	84	106.4	122.4	116.8	122.4	108.8	104.8	103.2	105.6

Tablo 4.29: Devam.

%0.02ΔH	80	80	80	80	80	80	80	80	110
L_x	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500
L_y	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	5500
Δ çapraz	62.80	79.37	91.43	87.29	91.46	81.22	78.23	77.09	69.47
L_{wp}	4214	4214	4214	4214	4214	4214	4214	4214	4974
ε	0.0149	0.0188	0.0217	0.0207	0.0217	0.0193	0.0186	0.0183	0.0140
ω	1.27	1.37	1.44	1.41	1.44	1.38	1.36	1.35	1.24
ωβ	1.50	1.68	1.80	1.76	1.80	1.69	1.66	1.65	1.46
T	1135	1223	1287	1582	1610	1850	1826	1817	1672
P	1348	1501	1613	1968	2017	2278	2236	2220	1967
A_{sc} Seç. (mm^2)	2000	2000	2000	2500	2500	3000	3000	3000	3000

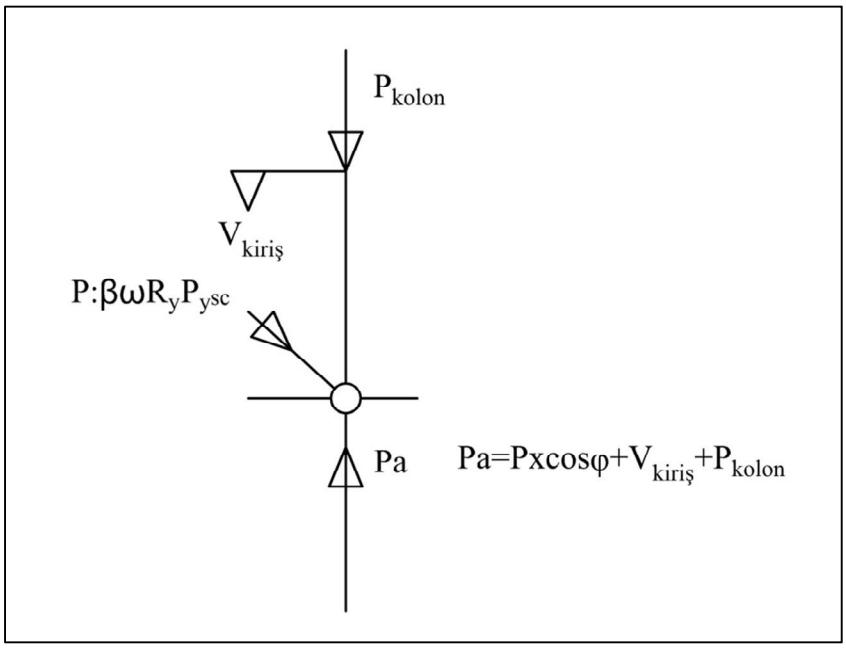
4.5.6. Kolonların Boyutlandırılması

4.5.6.1.Çaprazlı Açıklıktaki Kolonların Boyutlandırılması

4.29' de kolonların tasarım hesap değerleri verilmiştir. İlgili tabloların oluşturulmasında kullanılan gerilme narinlik şartı denklemleri aşağıda verilmiştir.

- $\frac{KL}{i} \leq 4.71\sqrt{\frac{E}{Fy}} \rightarrow \frac{F_y}{F_e} \leq 2.25 \rightarrow F_{cr} = \left[0.658^{\frac{F_y}{F_e}}\right] F_y$
- $\frac{KL}{i} > 4.71\sqrt{\frac{E}{Fy}} \rightarrow veya \ \frac{F_y}{F_e} > 2.25 \rightarrow F_{cr} = 0.877F_e$
- $F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{i}\right)^2}$
- $\frac{b}{t} \leq 0.56\sqrt{\frac{E}{Fy}}$ Narinlik şartı

- $C_a > 0.125$
- $\frac{h}{t_w} \quad 0.77\sqrt{\frac{E}{Fy}}(2.93 - C_a) \geq 1.49\sqrt{\frac{E}{Fy}}$(TBDY Süneklik Düzeyi Yüksek Kolonlar)
- $K_x = K_y = 1$



Şekil 4.14: Burkulması önlenmiş çaprazlı çerçevede kolona etkiyen kuvvetler.

9.Kat çaprazlı açıklıktaki kolon tasarımı ve boyutlandırılması;

- 1.2G+1Q+1E
- $E= E_d^{(H)}+0.3E_d^{(Z)}$

yük kombinasyonu kullanılacaktır. $E_d^{(H)}$ yerine çaprazlarda oluşan dengelenmemiş kuvvet kullanılacaktır.

- P_{G_9} =54×3=162kN P_{Q_9} =13.5×3=40.5kN $P_{E_9^H}$=0 $P_{E_9^Z}$=0.642P_{G_9}
- $P_{E_9^Z}$=0.642×162=104kN
- P_{G_8} =P_{G_8} +60.75×3+3×9=371.25kN
- P_{Q_8} =P_{Q_9} +27×3=121.5kN

- $P_{E_8^H}=P_9\times\sin\varphi=1348.04\times0.664=895.1kN$
- $P_{E_8^Z}=0.642P_{G_8}$
- $P_{E_8^Z}=0.642\times371.25=238.4kN$
- $P_{a_8}=1.2\times371.25+121.5+895.1=1462.1kN$

3.Kattaki çaprazlara gelen basınç kuvveti hesabı ve kolon tasarımı;

- P_a:1.2×162+1×40.5+0+0.3×0.642×104=266kN
- W 14x48 i:48.5mm A_g:9100mm^2 b/t:6.75 h/t_w:33.6
- $6.75 \le 0.56\sqrt{\frac{200000}{345}}$ Narinlik şartı
- $6.75 \le 13.48$
- $C_a > 0.125$
- $C_a = 0.18$
- $\frac{h}{t_w} = 33.6 \;\; 0.77\sqrt{\frac{200000}{345}}(2.93-0.18) \ge 1.49\sqrt{\frac{200000}{345}}$
- $50.98 \ge 35.9$
- $33.6 \le 35.9$
- $F_e = \frac{\pi^2 \times 200000}{\left(\frac{6020}{82.47}\right)^2} = 290.23$
- $82.47 \le 113.4 \rightarrow 1.19 \le 2.25 \rightarrow$
- $F_{cr} = \left[0.658^{\frac{320}{290.23}}\right]345 = 201.7$
- $P_n = F_{cr} \times A_g : 201.7 \times 9100 = 1835.5kN$
- $\phi P_n = 0.9 \times 1835.5 = 1652kN$
- $1448.3 \ge 266.1$

Tablo 4.30: Çaprazlı açıklıktaki kolonların tasarımı.

Kat	9	8	7	6	5	4	3	2	1
P_G(kN)	162	371.2	580.5	789.7	999	1208	1417	1626	1836
P_Q(kN)	40.5	121.5	202.5	283.5	364.5	445.5	526.5	607.5	688.5
sin θ	0.664	0.664	0.664	0.664	0.664	0.664	0.664	0.664	0.775

Tablo 4.30: Devam.

P	1348	1501	1613	1968	2017	2278	2236	2220	1967
P×sinθ	895	997	1071	1307	1339	1512	1485	1474	1524
P_{EH}(kN)	0	895.098	1892.15	2963.39	4270.64	5609.96	7122.56	8607.59	10082.07
P_a	266.0	1462	2791	4194	5833	7505	9350	11167	12973
K_x=K_y	1	1	1	1	1	1	1	1	1
L Çubuk Boyu (m)	4	4	4	4	4	4	4	4	5.5
$(KL)_x$= $(KL)_y$ (mm)	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	5500
Seçilen Kesit	W14 x48	W14 x68	W14 x68	W14x 159	W14x 159	W14x 159	W14x 159	W14x 311	W14x 311
i (mm)	48.5	62.5	62.5	102	102	102	102	107	107
(KL)/i	82.47	64.00	64.00	39.22	39.22	39.22	39.22	39.22	39.22
F_e (N/mm^2)	290.2	481.9	481.9	1283	1283	1283	1283	1283	1283
F_{cr} (N/mm^2)	201.7	242.3	242.3	288.2	288.2	288.2	288.2	288.2	288.2
A_g(mm^2)	9100	12900	12900	30100	30100	30100	30100	59000	59000
ϕPn (kN)	1652	2813	2813	7809	7809	7809	7809	15307	15307
Etki/Kapasite	0.161	0.520	0.992	0.537	0.747	0.961	1.197	0.730	0.848

4.5.6.2.Çaprazsız Açıklıktaki Kolonların Boyutlandırılması

Dış açıklıktaki kolonlar deprem yükü almadığından aşağıda bulunan kombinasyona göre tasarımları yapılmıştır.

- 1.2G+1.6Q
- $P_{G_3} = 54 \times 3/2 = 81kN \quad P_{Q_3} = 13.5 \times 3/2 = 20.25kN$
- $P_a = 81 \times 1.2 + 20.25 \times 1.6 = 130kN$
- $P_{G_2} = P_{G_3} + (3 \times 9/2) + (60.75 \times 3/2) = 185.62kN$
- $P_{Q_2} = P_{Q_3} + 27 \times 3/2 = 60.75kN$
- $P_a = 320kN$
- $P_{G_1} = P_{G_2} + (3 \times 9/2) + (60.75 \times 3/2) = 290.25kN$
- $P_{Q_1} = P_{Q_2} + 27 \times 3/2 = 101.5kN$
- $P_a = 510.3kN$
- W 12x40 için kesit özellikleri i:49.3mm A_g:7550mm^2 b/t:7.77 h/t_w:33.6
- $7.77 \leq 0.56\sqrt{\frac{200000}{345}}$ Narinlik şartı
- $7.77 \leq 13.48$
- $C_a > 0.125 \quad C_a = 0.51$
- $\frac{h}{t_w} = 33.3 \quad 0.77\sqrt{\frac{200000}{345}}(2.93 - 0.51) \geq 1.49\sqrt{\frac{200000}{345}}$
- $44.86 \geq 35.9$
- $33.3 \leq 35.9$

Tablo 4.31: Çaprazsız açıklıktaki dış kolonların tasarımı.

Kat	9	8	7	6	5	4	3	2	1
P_a(kN)	129.6	319.9	510.3	700.6	891	1081	1271	1462	1652
K_x=K_y	1	1	1	1	1	1	1	1	1
L Boyu (m)	4	4	4	4	4	4	4	4	5.5
$(KL)_x$= $(KL)_y$ (mm)	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	5500

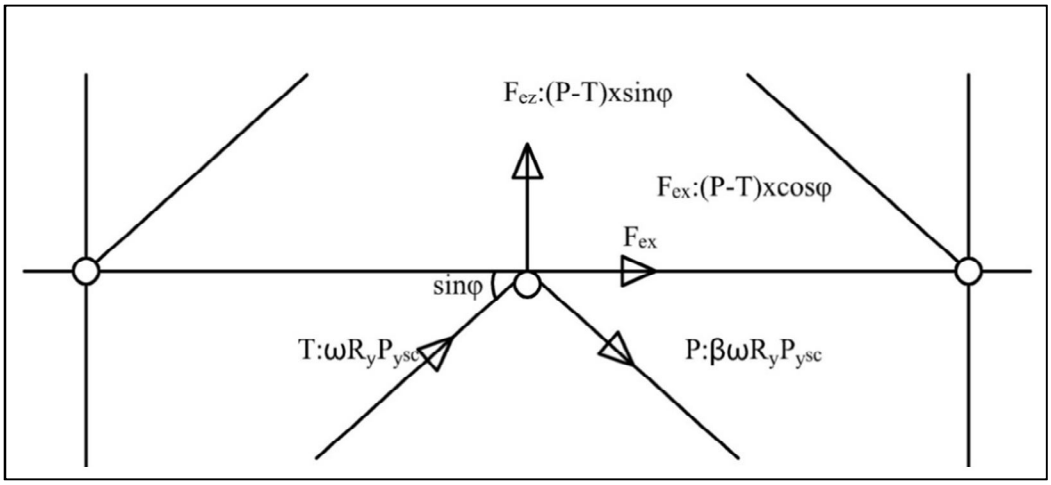
Tablo 4.31: Devam.

Seçilen Kesit	W12 x40	W12 x40	W12 x40	W12 x40	W12 x40	W14 x48	W14 x48	W14 x68	W14 x68
i_y (mm)	49.3	49.3	49.3	49.3	49.3	48.5	48.5	62.5	62.5
(KL)/i	81.14	81.14	81.14	81.14	81.14	82.47	82.47	64.00	64.00
F_e (N/mm^2)	299.8	299.8	299.8	299.8	299.8	290.2	290.2	481.9	481.9
F_{cr} (N/mm^2)	213.1	213.1	213.1	213.1	213.1	201.7	201.7	242.3	242.3
Ag(mm^2)	7550	7550	7550	7550	7550	9100	9100	12900	12900
ϕP_n (kN)	1448	1448	1448	1448	1448	1652	1652	2813	2813
Etki/Kapasite	0.09	0.22	0.35	0.48	0.62	0.65	0.77	0.52	0.59

4.5.7. Kirişlerin Boyutlandırılması

4.5.7.1. Çaprazlı Açıklıktaki Kirişlerin Boyutlandırılması

Çaprazlı açıklıktaki kirişler Şekil 4.7 ta gösterilen düşey ve yatay dengelenmemiş kuvvetler ve deprem yükü etkisinin büyüğü ile düşey yük etkisinden oluşan kuvvetlere göre tasarlanır.



Şekil 4.15: Kirişte oluşan Dengelenmemiş çapraz kuvveti

Dengelenmemiş kuvvetten dolayı kiriş ortasında oluşan moment,

- $(Me_x) = (1/4)F_e\ L$

olarak hesaplanır. TBDY yönetmeliğine göre R_y:1.4 alınmıştır.

Kirişlerin tasarımı eğilme ve eksenel kuvvetin ayrı ayrı ve birleşik etkisi altında yapılacaktır.

Çaprazlı açıklıklardaki kirişin tasarımı 1.2G+1.6Q kombinasyonu ile YDKT'e göre çapraz yokmuş gibi veya çaprazlarda deprem etkileriyle oluşacak olası çekme ve basınçtan dolayı meydana gelen dengelenmemiş kuvvetinin büyüğüne göre yapılacaktır.

9.Kat çapraz açıklıktaki kirişte oluşan iç kuvvetlerin hesabı;

- $M_{G_3} = 54 \times 3 = 162kN \quad M_{Q_3} = 13.5 \times 3 = 40.50kN \quad M_{E_3^Z} = 1/4 \times F_{ez} \times L$
- $F_{ez} = (P - T) \times \sin\varphi$ (P ve T çapraz tasarımında hesaplanmıştı.)
- $F_{ez} = (1348.04 - 1135.88) \times 0.6645 = 140.9kN$
- $M_{E_3} = 1/4 \times 140.9 \times 9 = 316.97kNm$
- $F_{ex} = (P - T) \times \cos\varphi$
- $F_{ex} = (1348.04 - 1135.88) \times 0.7475 = 158.6kN$
- $M_G = 3 \times 54 = 162kNm \quad M_Q = 3 \times 13.5 = 40.5kNm$
- $1.2G + 1.6Q$
- $M_a = 1.2 \times 162 + 1.6 \times 40.5 = 259kNm$
- W21x44 için i:32mm W_{px}:1560mm^3 A_g:8390mm^2
- $7.22 \leq 0.38\sqrt{\frac{200000}{345}}$ Narinlik şartı $\frac{b}{t} \leq 0.38\sqrt{\frac{E}{Fy}}$
- $7.22 \leq 9.15$
- $C_a < 0.125 \quad C_a = 0.12$
- $\frac{h}{t_w} \quad 2.45\sqrt{\frac{E}{Fy}}(1 - 0.93C_a)$(TBDY Süneklik Düzeyi Yüksek Kolonlar)
- $53.6 \leq 55.7$
- $M_p = F_y \times W_p$ M_p=345x1560/1000=538kNm ϕ:0.9 ϕM_p=484kNm
- 484kNm>259kNm

- $F_e = \dfrac{\pi^2 \times 200000}{\left(\dfrac{3000}{93.75}\right)^2} = 224.59$
- $F_{cr} = \left[0.658^{\frac{320}{224.59}}\right] 345 = 176.26\text{kN}$
- $\mathrm{P_n} = \mathrm{F}_{cr} \times A_g = 176x8390 = 1476kN$
- $\phi P_n = 0.9 \times 1476 = 1330kN$
- $1330 \geq 172$

Tablo 4.32: Çaprazlı açıklıktaki kirişlerin eğilme etkisi altında tasarımı.

Kat	9	8	7	6	5	4	3	2	1
P(kN)	1348	1501	1613	1968	2017	2278	2236	2220	1967
T(kN)	1135	1223	1287	1582	1610	1850	1826	1817	1672
sin θ	0.664	0.664	0.664	0.664	0.664	0.664	0.664	0.664	0.775
F_{ez}(kN)	140.8	184.3	216.0	256.4	270.1	283.8	272.0	267.5	228.4
M_e(kNm)	316.9	414.8	486.0	577.0	607.8	638.6	612.1	602.0	514.1
M_G(kNm)	162	212.6	212.6	212.6	212.6	212.6	212.6	212.6	212.6
M_Q(kNm)	40.50	81.00	81.00	81.00	81.00	81.00	81.00	81.00	81.00
M_a(kNm)	259.2	414.8	486.0	577.0	607.8	638.6	612.1	602.0	514.1
Seçilen Kesit	W21x 44	W21x 62	W21x 62	W21x 62	W21x 62	W21x 62	W21x 62	W21x 62	W21x 62
Zx(mm^3)	1560	2360	2360	2360	2360	2360	2360	2360	2360
$M_p=F_y \times Z_x$	538.2	814.2	814.2	814.2	814.2	814.2	814.2	814.2	814.2
ϕM_p	484.3	732.7	732.7	732.7	732.7	732.7	732.7	732.7	732.7
Etki/Kapasite	0.54	0.57	0.66	0.79	0.83	0.87	0.84	0.82	0.70

Tablo 4.33: Çaprazlı açıklıktaki kirişlerin eksenel basınç etkisi altında tasarımı.

Kat	9	8	7	6	5	4	3	2	1
F_{ez}(kN)	158.5	207.5	243.2	288.7	304.1	319.5	306.2	301.2	186.8
$K_x=K_y$	1	1	1	1	1	1	1	1	1
L Çubuk Boy (cm)	300	300	300	300	300	300	300	300	300

Tablo 4.33: Devam.

$(KL)_x$= $(KL)_y$ (mm)	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000
Seçilen Kesit	W21 x44	W21 x62	W21 x62	W21 x62	W21 x62	W21 x62	W21 x62	W21 x62	W21 x62
i (mm)	32	45	45	45	45	45	45	45	45
(KL)/i	93.75	66.67	66.67	66.67	66.67	66.67	66.67	66.67	66.67
F_e (N/mm^2)	224.5	444.1	444.1	444.1	444.1	444.1	444.1	444.1	444.1
F_{cr} (N/mm^2)	176.2	236.6	236.6	236.6	236.6	236.6	236.6	236.6	236.6
$A_g(mm^2)$	8390	11800	11800	11800	11800	11800	11800	11800	11800
ϕP_n (kN)	1330	2513	2513	2513	2513	2513	2513	2513	2513
Etki/Kapasite	0.12	0.08	0.10	0.11	0.12	0.13	0.12	0.12	0.07

9. Kat sabit ve hareketli yükler altında tasarlandığı için birleşik etkiler altında kontrole gerek yoktur. Diğer katlar dengelenmemiş kuvvetlerden oluşan iç kuvvetlere göre tasarım yapıldığı için eksenel basınç kapasitesi ve eğilme etkisinin birlikte etkisi altında kontrol yapılmıştır.

1.Kat için Birleşik etkilerin kontrolü aşağıda gösterilmiştir.

- $\frac{P_r}{2P_c} + \frac{M_r}{M_c} \leq 1.0$
- $\frac{186.86}{11989} + \frac{514.10}{732.8} \leq 1.0$
- $0.02 + 0.70 \leq 1.0$

Tablo 4.34: Çaprazlı açıklıktaki kirişlerin birleşik kuvvet etkisi altında tasarımı.

Kat	Pr(kN)	2Pc (kN)	Pr/2Pc	Mr/Mc	Etki/Kapasite
9	158.59	2661.88	0.06	0.54	0.59
8	207.57	5027.31	0.04	0.57	0.61
7	243.21	5027.31	0.05	0.66	0.71
6	288.73	5027.31	0.06	0.79	0.84
5	304.13	5027.31	0.06	0.83	0.89
4	319.53	5027.31	0.06	0.87	0.94
3	306.28	5027.31	0.06	0.84	0.90
2	301.22	5027.31	0.06	0.82	0.88
1	186.86	5027.31	0.04	0.70	0.74

4.5.7.2. Çaprazsız Açıklıktaki Kirişlerin Boyutlandırılması

Çaprazsız açıklıktaki kirişlerler aşağıda verilen yük kombinasyonuna göre boyutlandırılacaktır.

- 1.2G+1.6Q

9.Kat çaprazsız açıklıktaki kirişlerin tasarımı;

- $M_{G_9} = 54 \times 3 = 162kN \quad M_{Q_9} = 13.5 \times 3 = 40.50kN$
- M_a:1.2 ×162+1.6 ×40.5=259.2kNm

Tablo 4.35: Çaprazsız açıklıktaki kirişlerin tasarımı.

Kat	M_a(KNm)	Seçilen Kesit	$Z_x(m^3)$	$M_p=F_y \times W_{px}$	ϕM_p	Etki/Kapasite
9	259.20	W21x44	0.00156	538.20	484.38	0.54
8	384.78	W21x44	0.00156	538.20	484.38	0.79
7	384.78	W21x44	0.00156	538.20	484.38	0.79

Tablo 4.35: Devam.

6	384.78	W21x44	0.00156	538.20	484.38	0.79
5	384.78	W21x44	0.00156	538.20	484.38	0.79
4	384.78	W21x44	0.00156	538.20	484.38	0.79
3	384.78	W21x44	0.00156	538.20	484.38	0.79
2	384.78	W21x44	0.00156	538.20	484.38	0.79
1	384.78	W21x44	0.00156	538.20	484.38	0.79

4.6. Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanında Analizler

Bu bölümde tasarlanan 3 ve 9 katlı BÖÇÇÇ ve MÇÇÇ li yapıların doğrusal olmayan analizleri açıklanacaktır.

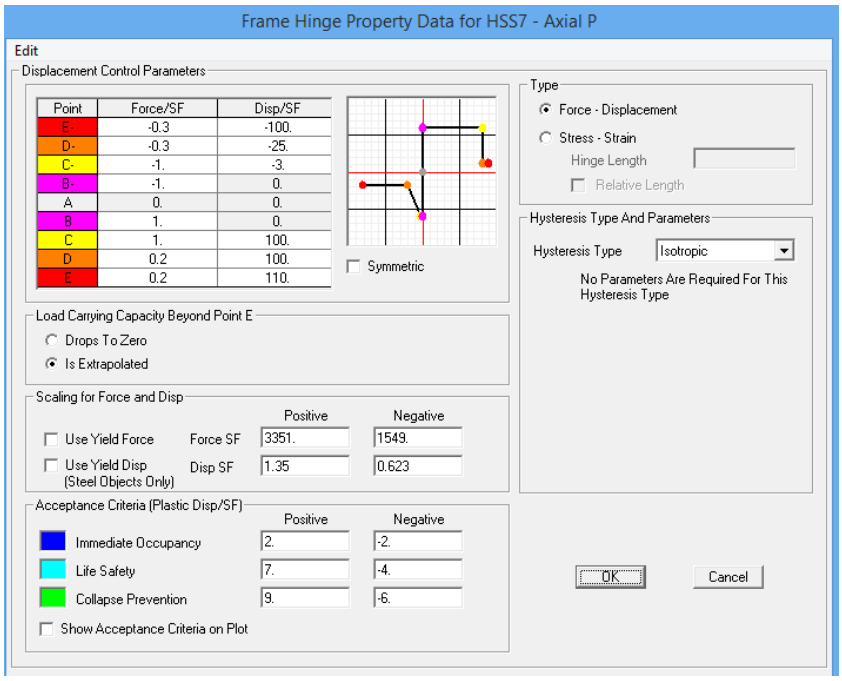
4.6.1. Plastik Mafsal Özellikleri

Bu çalışmada doğrusal olmayan analizlerde SAP2000 programı kullanılmış olup çapraz elemanların ortalarında doğrusal olmayan burkulmalı tip plastik mafsal tanımlanmıştır. Çaprazların beklenen akma dayanımı ve şekil değiştirme denklemleri geleneksel çaprazlar için basınç ve akma için sırasıyla denklem 4.3 ve denklem 4.4'te BÖÇ için ise denklem 4.5'te verilmiştir.

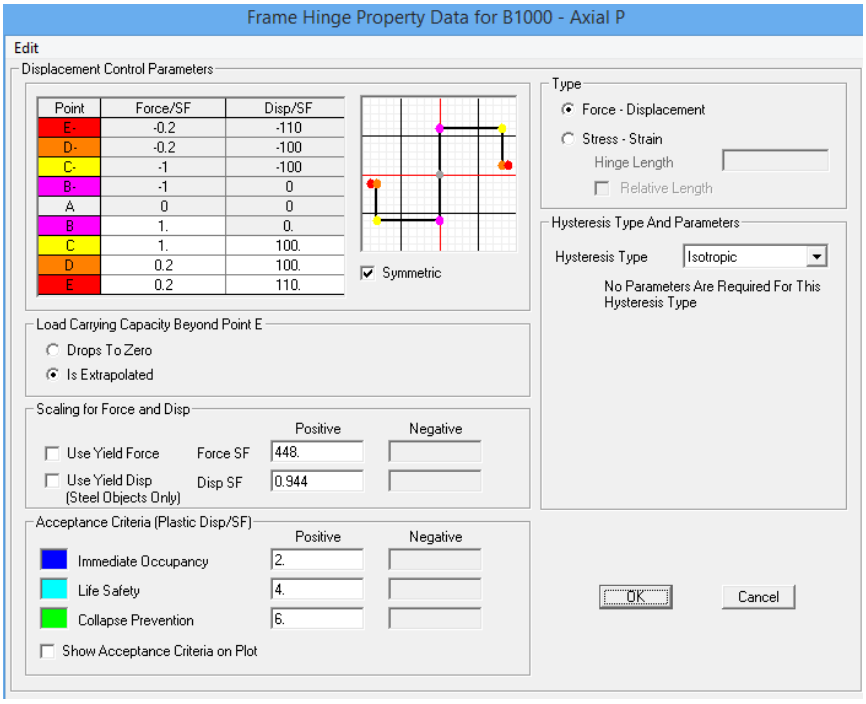
$$\Delta_c = \frac{P_c \times L_c}{A_c E} \tag{4.3}$$

$$\Delta_T = \frac{P_{YE} \times L_c}{A_c E} \tag{4.4}$$

$$\Delta_y = \frac{P_{bec} \times L_{bec}}{A_{bec} E} \tag{4.5}$$



Şekil 4.16: SAP2000'de kullanılan MÇÇÇ burkulmalı plastik mafsal modeli.



Şekil 4.17: SAP2000'de kullanılan BÖÇÇÇ burkulmalı plastik mafsal modeli.

Plastik mafsal tanımlamada kullanılan beklenen dayanımlar ve şekil değiştirmeler aşağıda lar halinde verilmiştir.

Tablo 4.36: 3 Katlı MÇÇÇ plastik mafsal hesabı.

PLASTİK MAFSAL ÖZELLİKLERİ							
Kat	Seçilen Kesit	$A_c(mm^2)$	Pc (kN)	P_{YE} (kN)	L(m)	Δ_c (m) Basınç	Δ_T (m) Çekme
3	HSS 7X7X0,5	7480	1549	3351	6.02	0.00623	0.013484
2	HSS 7X7X0,5	7480	1549	3351	6.02	0.00623	0.013484
1	HSS 8X8X0,625	10600	2068	4749	7.1	0.00693	0.015904

Tablo 4.37: 9 Katlı MÇÇÇ plastik mafsal hesabı.

PLASTİK MAFSAL ÖZELLİKLERİ							
Kat	Seçilen Kesit	$A_c(mm^2)$	P_c (kN)	P_{YE} (kN)	L(m)	Δ_c (m) Basınç	Δ_T (m) Çekme
9	HSS 7X7X0,5	7480	1549	3351	6.02	0.00623	0.013484
8	HSS 7X7X0,5	7480	1549	3351	6.02	0.00623	0.013484
7	HSS 7X7X0,5	7480	1549	3351	6.02	0.00623	0.013484
6	HSS 7X7X0,625	9030	1813	4045	6.02	0.00604	0.013484
5	HSS 7X7X0,625	9030	1813	4045	6.02	0.00604	0.013484
4	HSS 8X8X0,625	10600	2612	4749	6.02	0.00742	0.013484
3	HSS 8X8X0,625	10600	2612	4749	6.02	0.00742	0.013484
2	HSS 8X8X0,625	10600	2612	4749	6.02	0.00742	0.013484
1	HSS 8X8X0,625	10600	2068	4749	7.01	0.00684	0.015702

Tablo 4.38: 3 Katlı BÖÇÇÇ plastik mafsal hesabı.

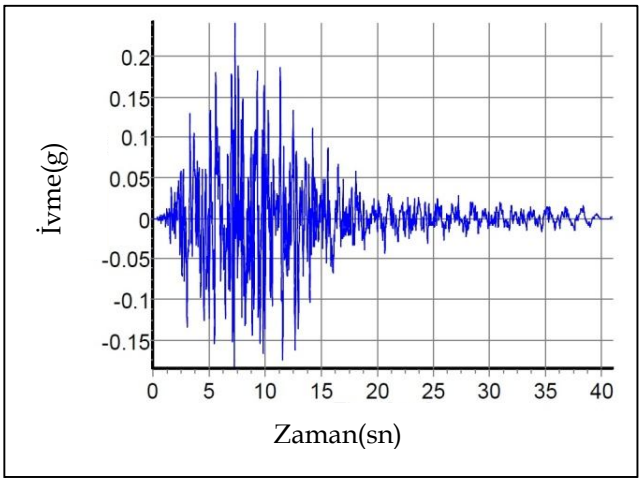
PLASTİK MAFSAL ÖZELLİKLERİ							
Kat	Seçilen Kesit	A_{bec}(mm)	P_{bec} (kN)	P_{bec} (kN) Çekme	L(mm)	Δ_y (m) Basınç	Δ_y (m) Çekme
3	B1000	1000	448	448	4.214	0.00944	0.009439
2	B1500	1500	672	672	4.214	0.00944	0.009439
1	B2000	2000	896	896	4.97	0.01113	0.011133

Tablo 4.39: 9 Katlı BÖÇÇÇ plastik mafsal hesabı.

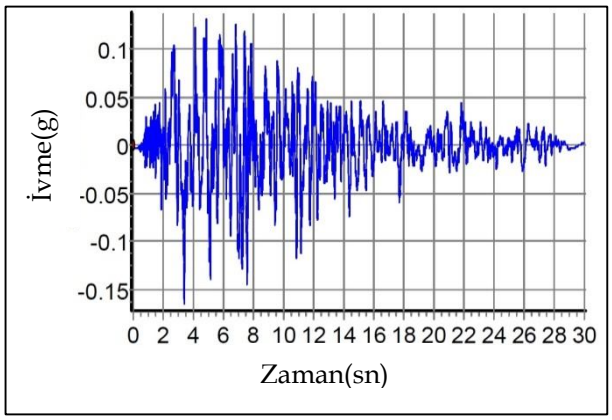
PLASTİK MAFSAL ÖZELLİKLERİ							
Kat	Seçilen Kesit	A_{bec}(mm)	P_{bec} (kN)	P_{bec} (kN) Çekme	L(mm)	Δ_y (m) Basınç	Δ_y (m) Çekme
9	B2000	2000	896	896	4.214	0.00944	0.009439
8	B2000	2000	896	896	4.214	0.00944	0.009439
7	B2000	2000	896	896	4.214	0.00944	0.009439
6	B2500	2500	1120	1120	4.214	0.00944	0.009439
5	B2500	2500	1120	1120	4.214	0.00944	0.009439
4	B3000	3000	1344	1344	4.214	0.00944	0.009439
3	B3000	3000	1344	1344	4.214	0.00944	0.009439
2	B3000	3000	1344	1344	4.214	0.00944	0.009439
1	B3000	3000	1344	1344	4.97	0.01113	0.011133

4.6.2. Deprem Kayıtlarının Ölçeklenmesi

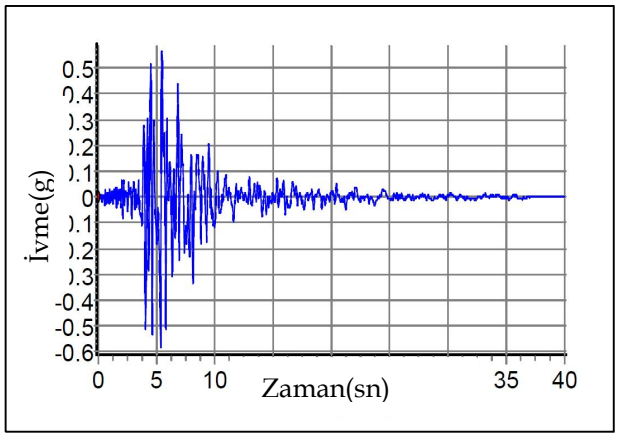
Doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizlerde kullanılmak üzere deprem kaydı seçilmesi için TBDY yönetmeliğinde belirtilen tasarım spektrum eğrisi dikkate alınarak Peer yer hareketi veri tabanı kullanılarak üç adet deprem kaydı seçilmiştir.



Şekil 4.18: 1995 Kobe Depremi Kakogawa istasyonu 0 yönü İvme-Zaman grafiği.



Şekil 4.19: 1999 Kocaeli Depremi İzmit istasyonu180 yönü İvme-Zaman grafiği.



Şekil 4.20: 1994 Northridge Depremi Newhall istasyonu 90 yönü İvme-Zaman grafiği.

Yukarıda gösterilen Kobe depremi, Kocaeli depremi ve Düzce depremine ait kayıtlar binanın hakim modundaki spektral ivme değerleri 3 katlı yapılarda 1g,1.5g,2g 9 katlı yapılarda ise 0.5g,0.75g,1g olacak şekilde ölçeklendirilmiştir.

Tablo 4.40: 0.48sn periyotlu 3 Katlı MÇÇÇ için deprem kayıtları ve ölçekleme katsayıları.

Kayıt	Deprem Büyüklüğü	Uzaklık(km)	Süre (sn)	Ölçekleme Katsayısı (1g)	Ölçekleme Katsayısı (1.5g)	Ölçekleme Katsayısı (2g)
KOBE 1107	6.9	22.5	40.96	1.937	2.905	3.874
KOCAELİ 1165	7.51	3.62	30	4.415	6.622	8.830
NORTHRIDGE 1044	6.69	3.16	39	1.083	1.625	2.167

Tablo 4.41: 0.88sn periyotlu 3 katlı BÖÇÇÇ için deprem kayıtları ve ölçekleme katsayıları.

Kayıt	Deprem Büyüklüğü	Uzaklık(km)	Süre (sn)	Ölçekleme Katsayısı (1g)	Ölçekleme Katsayısı (1.5g)	Ölçekleme Katsayısı (2g)
KOBE 1107	6.9	22.5	40.96	5.0	7.5	10.0
KOCAELİ 1165	7.51	3.62	30	3.64	5.46	7.28
NORTHRIDGE 1044	6.69	3.16	39	1.19	1.785	2.38

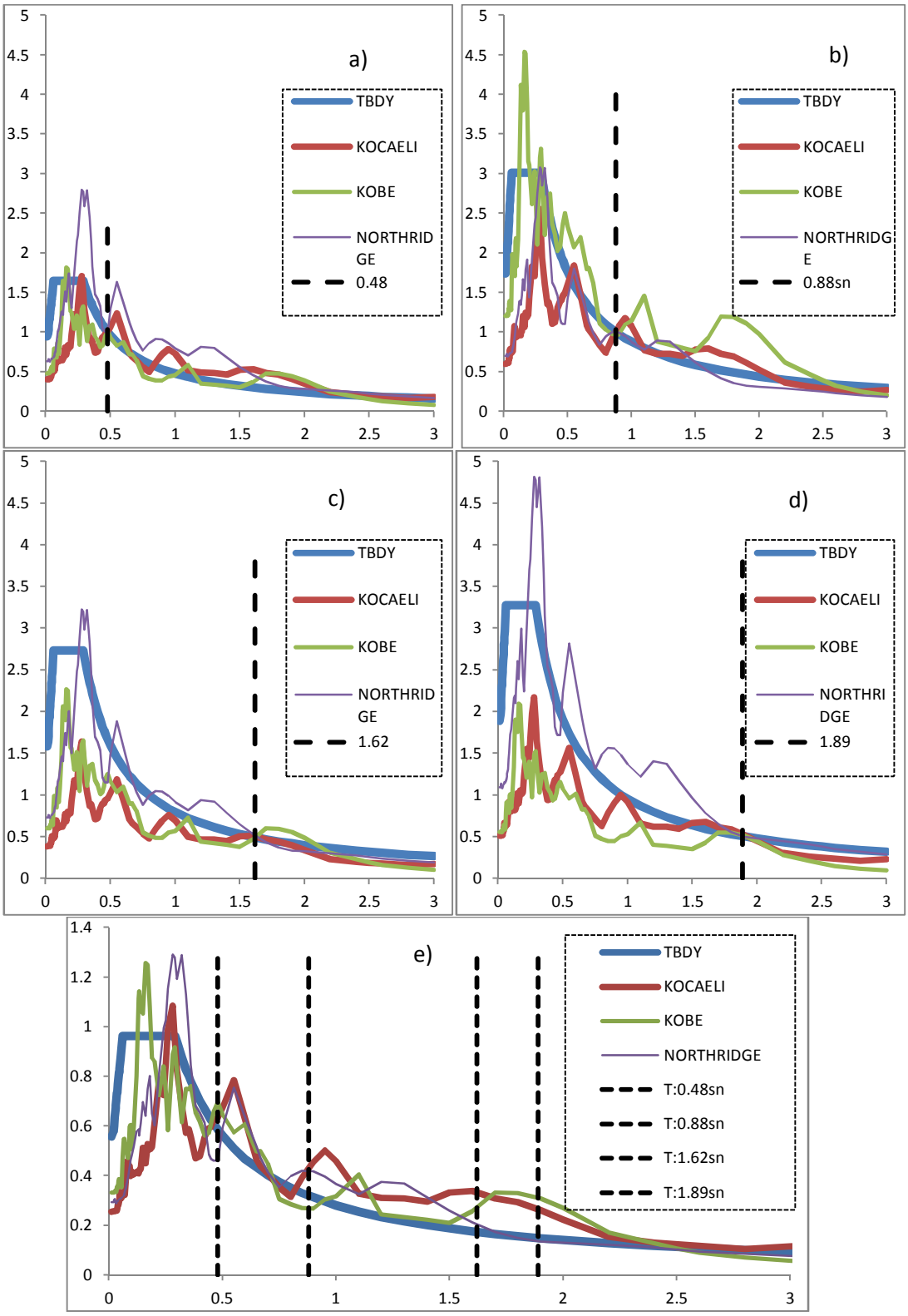
Tablo 4.42: 1.62sn periyotlu 9 katlı MÇÇÇ için deprem kayıtları ve ölçekleme katsayıları.

Kayıt	Deprem Büyüklüğü	Uzaklık(km)	Süre (sn)	Ölçekleme Katsayısı (0.5g)	Ölçekleme Katsayısı (0.75g)	Ölçekleme Katsayısı (1.g)
KOBE 1107	6.9	22.5	40.96	2.873	4.31	5.746
KOCAELİ 1165	7.51	3.62	30	2.50	3.75	5.00
NORTHRIDGE 1044	6.69	3.16	39	1.19	1.785	2.38

Tablo 4.43: 1.89sn periyotlu 9 Katlı BÖÇÇÇ için deprem kayıtları ve ölçekleme katsayıları.

Kayıt	Deprem Büyüklüğü	Uzaklık(km)	Süre (sn)	Ölçekleme Katsayısı (0.5g)	Ölçekleme Katsayısı (0.75g)	Ölçekleme Katsayısı (1g)
KOBE 1107	6.9	22.5	40.96	2.174	3.261	4.348
KOCAELİ 1165	7.51	3.62	30	2.976	4.464	5.952
NORTHRIDGE 1044	6.69	3.16	39	1.852	2.778	3.704

Seçilen deprem kayıtları yapıların İstanbul ili Pendik ilçesinde olduğu kabulü yapılarak TBDY şartnamesinde belirlenen koordinata göre ivme değerlerinden tasarım spektrumu oluşturulmuştur. Oluşturulan tasarım spektrumu ile söz konusu deprem kayıtlarından elde edilen spektrumlar aynı grafikte gösterilerek kayıtların uygunluğu kontrol edilmiştir. (S_S:1.07 S_1:0.3) Artımsal dinamik analizde kullanılan ölçeklendirilmiş tüm spektral ivme değerleri grafik halinde sunulmuştur.

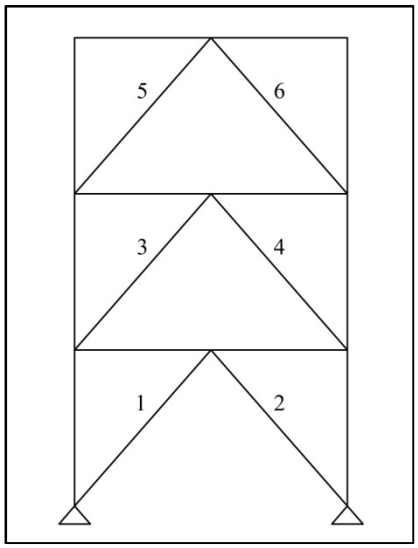


Şekil 4.21: a)0.48 sn periyodunda 1g, b)0.88sn periyodunda 1g, c)1.62sn periyodunda 0.5g, d)1.89sn periyodunda 0.5g spektral ivme değerlerine karşılık gelen, e) TBDY'e göre ölçeklendirilmiş depremlerin tepki spektrumları

4.7. Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması

3 ve 9 kattan oluşan MÇÇÇ'ler ve BÖÇÇÇ'ler tasarlanmış her çerçeve için 3 adet deprem kaydı hakim periyoda karşılık gelen spektral ivme değerleri 3 katlı yapılar için 0.5g,0.75g,1g 9 katlı yapılar için 1g,1.5g,2g gelecek şekilde ölçeklenerek zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler yapılmış ve söz konusu analizler neticesinde çaprazlarda oluşan eksenel kuvvet, şekil-değiştirme, plastik mafsal oluşumları ve yapıların tepe deplasmanları incelenmiştir.

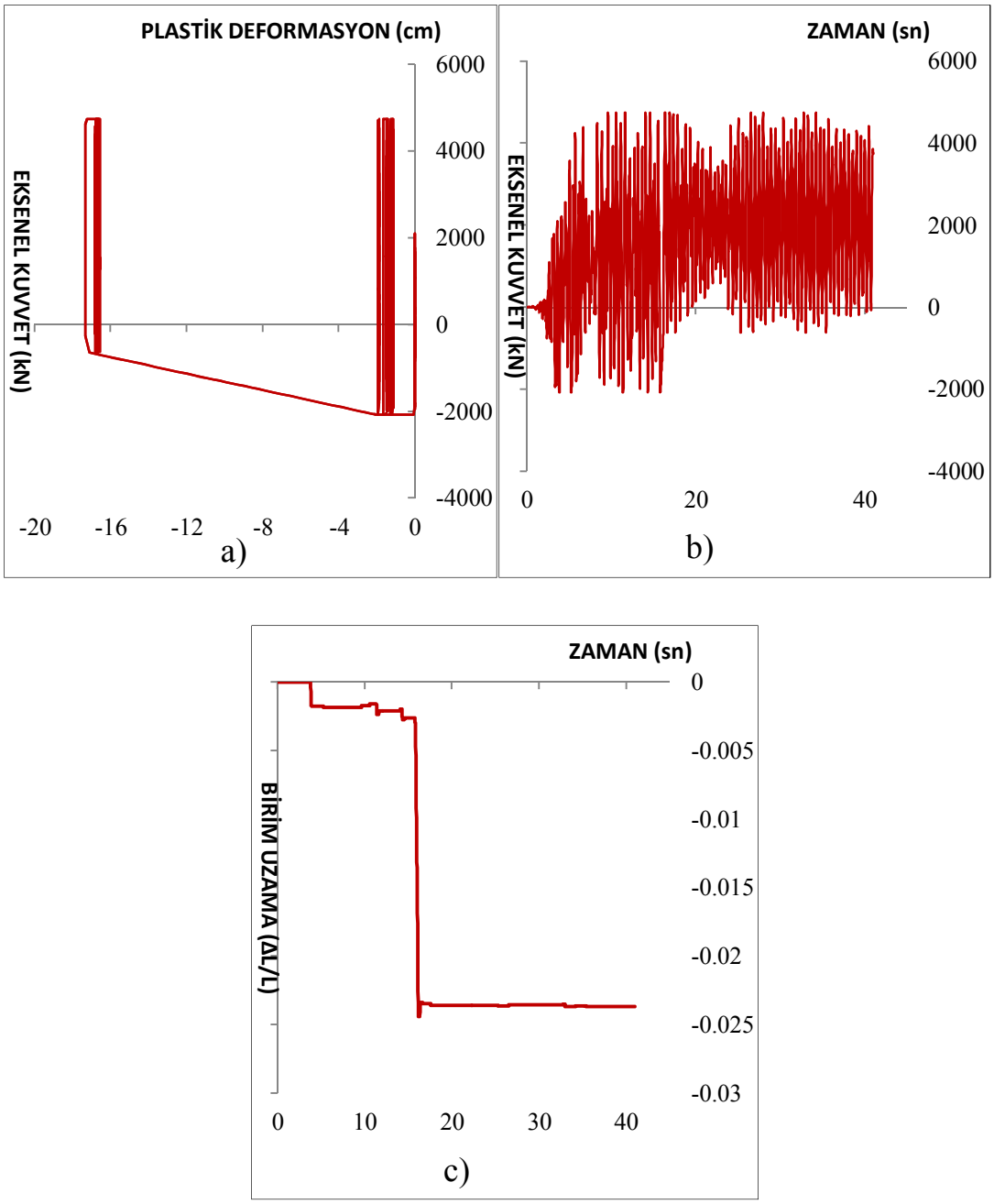
4.7.1. Üç Katlı Yapıların Analiz Sonuçları



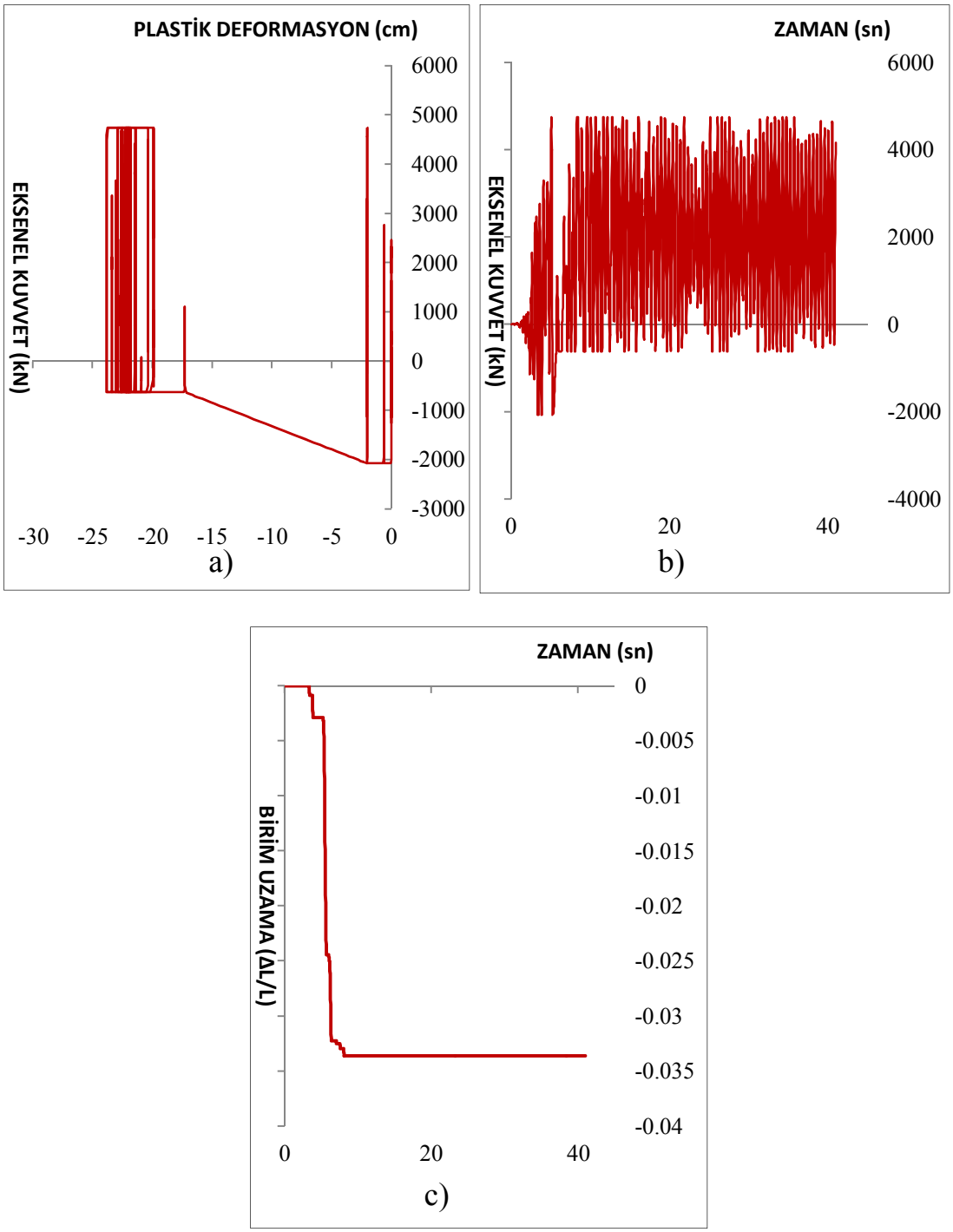
Şekil 4.22: 3 Katlı yapılar için eleman numaraları

4.7.1.1. Üç Katlı Yapılarda Çaprazlarda oluşan iç kuvvet ve şekil değiştirmeler

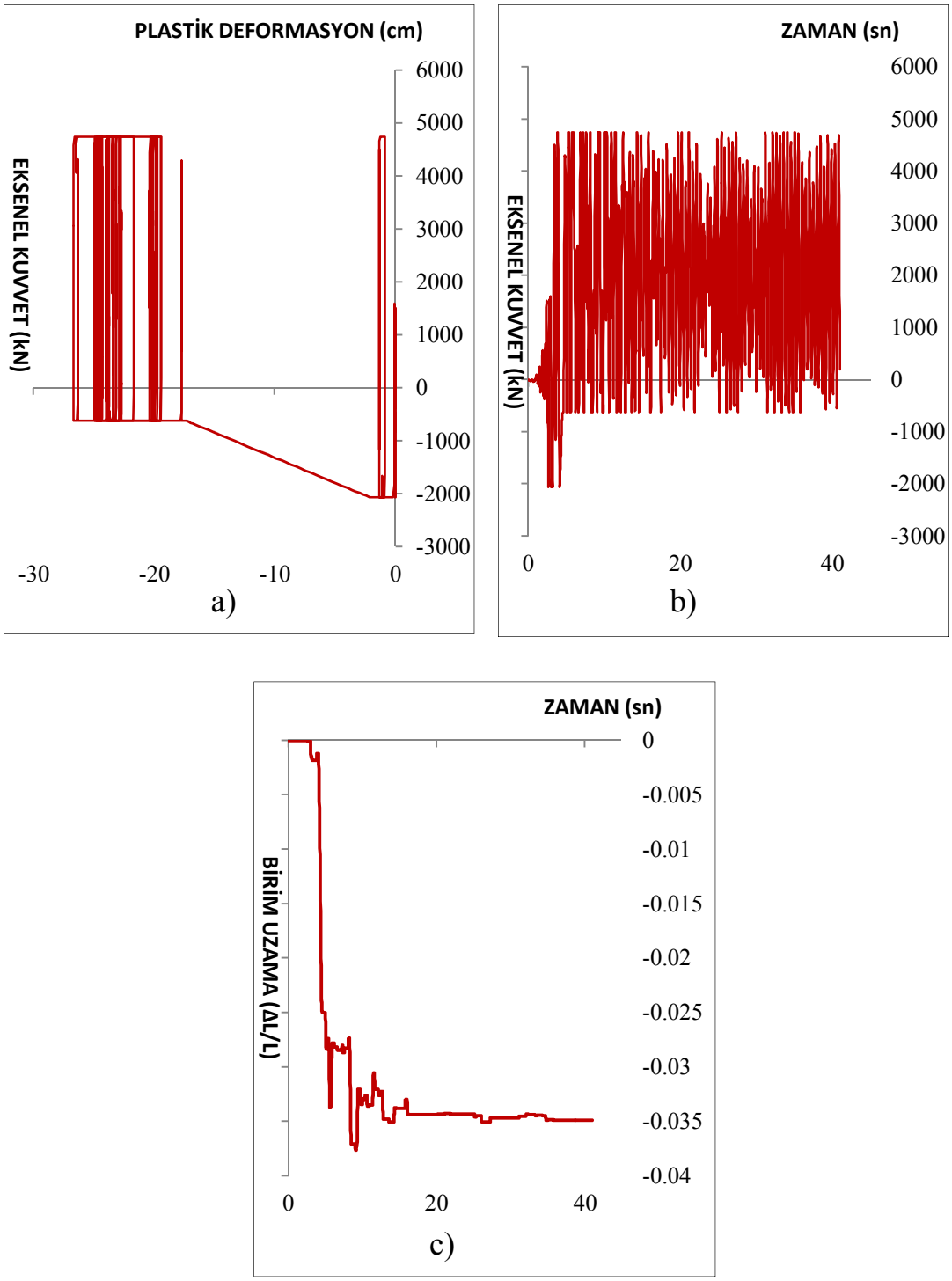
3 katlı yapılarda çaprazlara gelen iç kuvvetlerin karşılaştırılmasında her bir deprem ve her bir yapı için en fazla eksenel kuvvet alan ve plastik deformasyona maruz kalan çaprazların grafikleri verilmiştir.



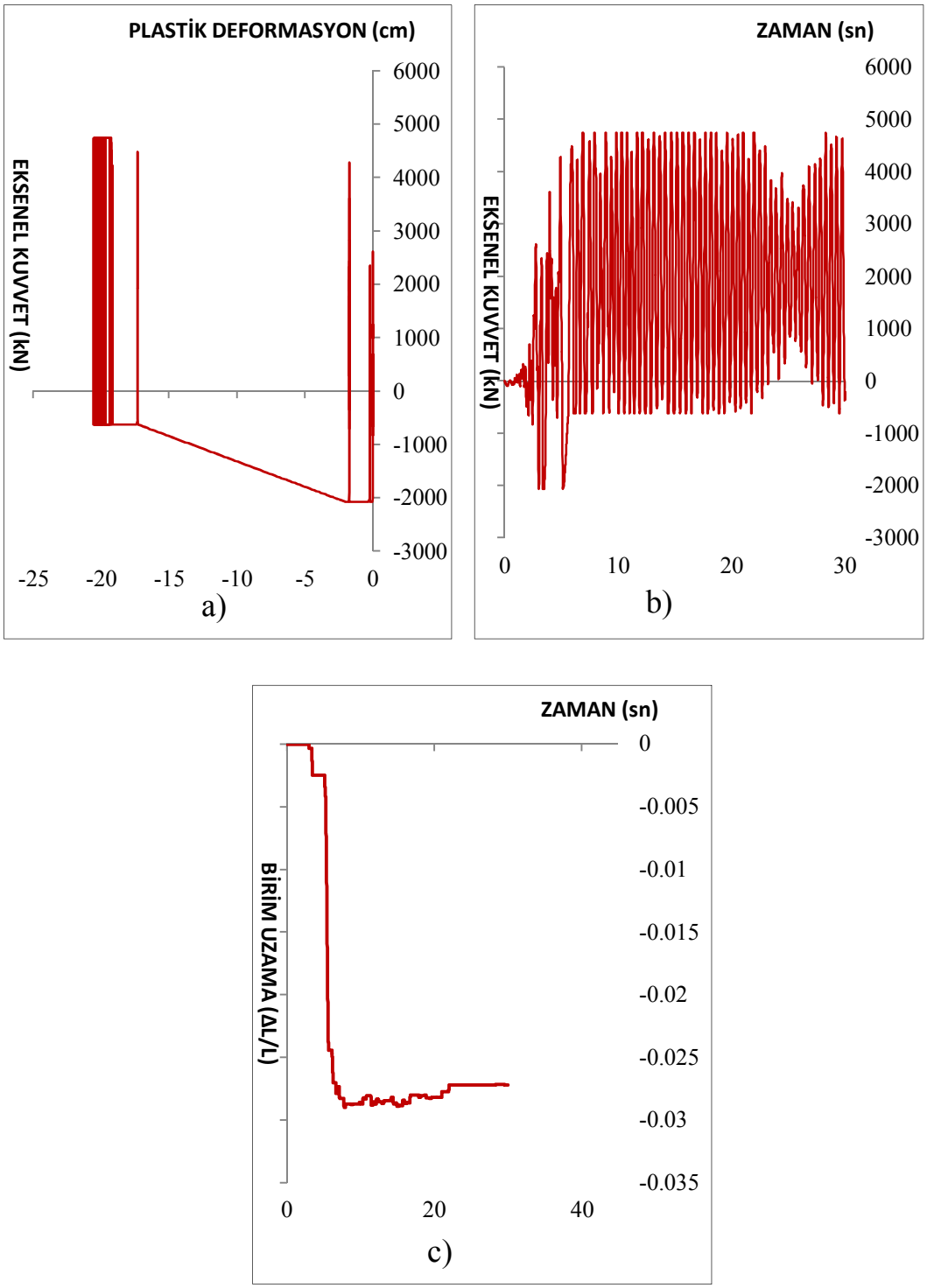
Şekil 4.23: 3 Katlı MÇÇÇ'de Kobe-1g depremi için 1 numaralı çaprazda oluşan a) Eksenel kuvvet-Plastik deformasyon, b) Eksenel kuvvet-Zaman grafiği, c) Birim şekildeğiştirme-zaman grafiği.



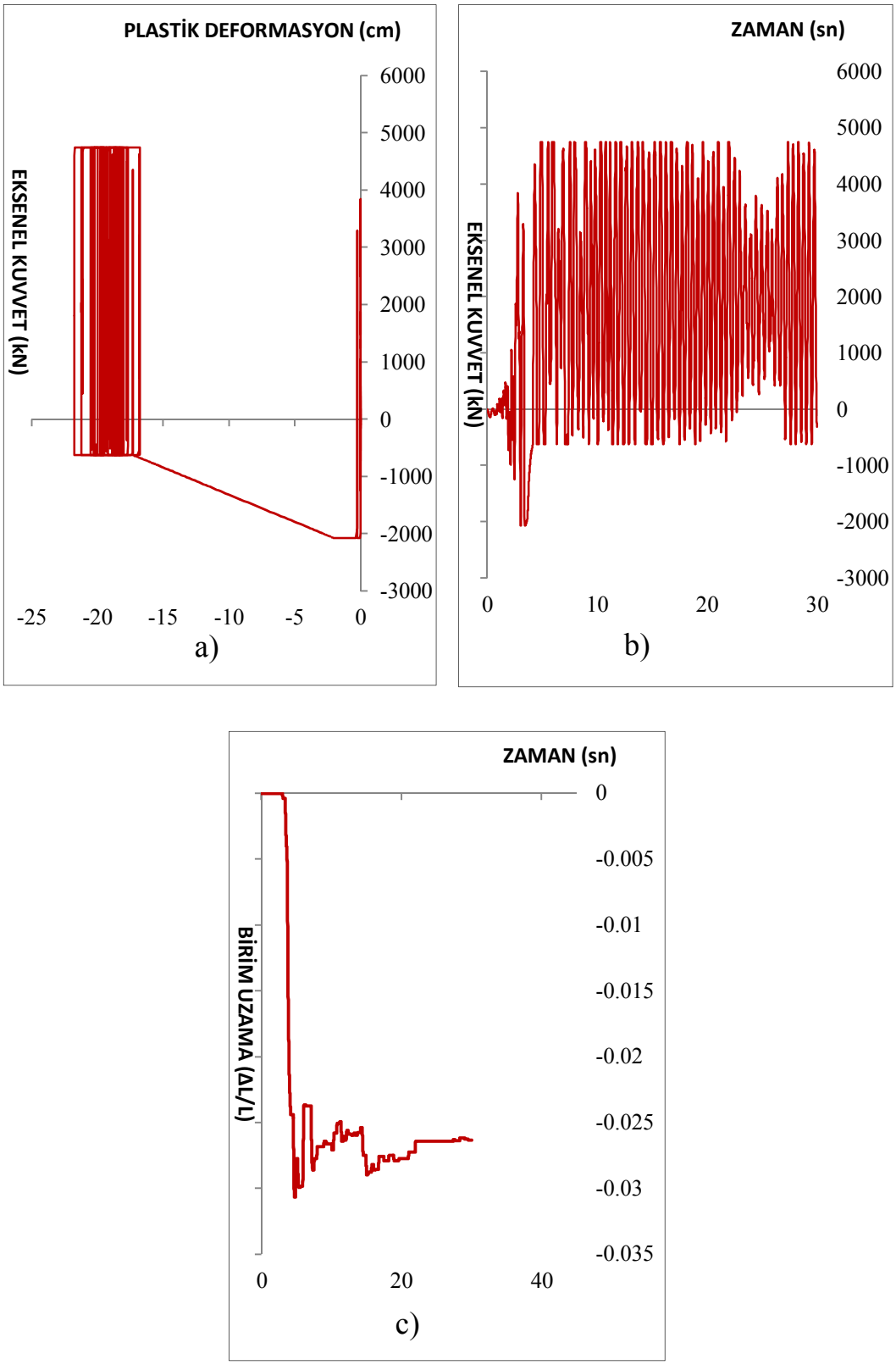
Şekil 4.24: 3 Katlı MÇÇÇ'de Kobe-1.5g depremi için 1 numaralı çaprazda oluşan a) Eksenel kuvvet-Plastik deformasyon, b) Eksenel kuvvet-Zaman grafiği, c) Birim şekildeğiştirme-zaman grafiği.



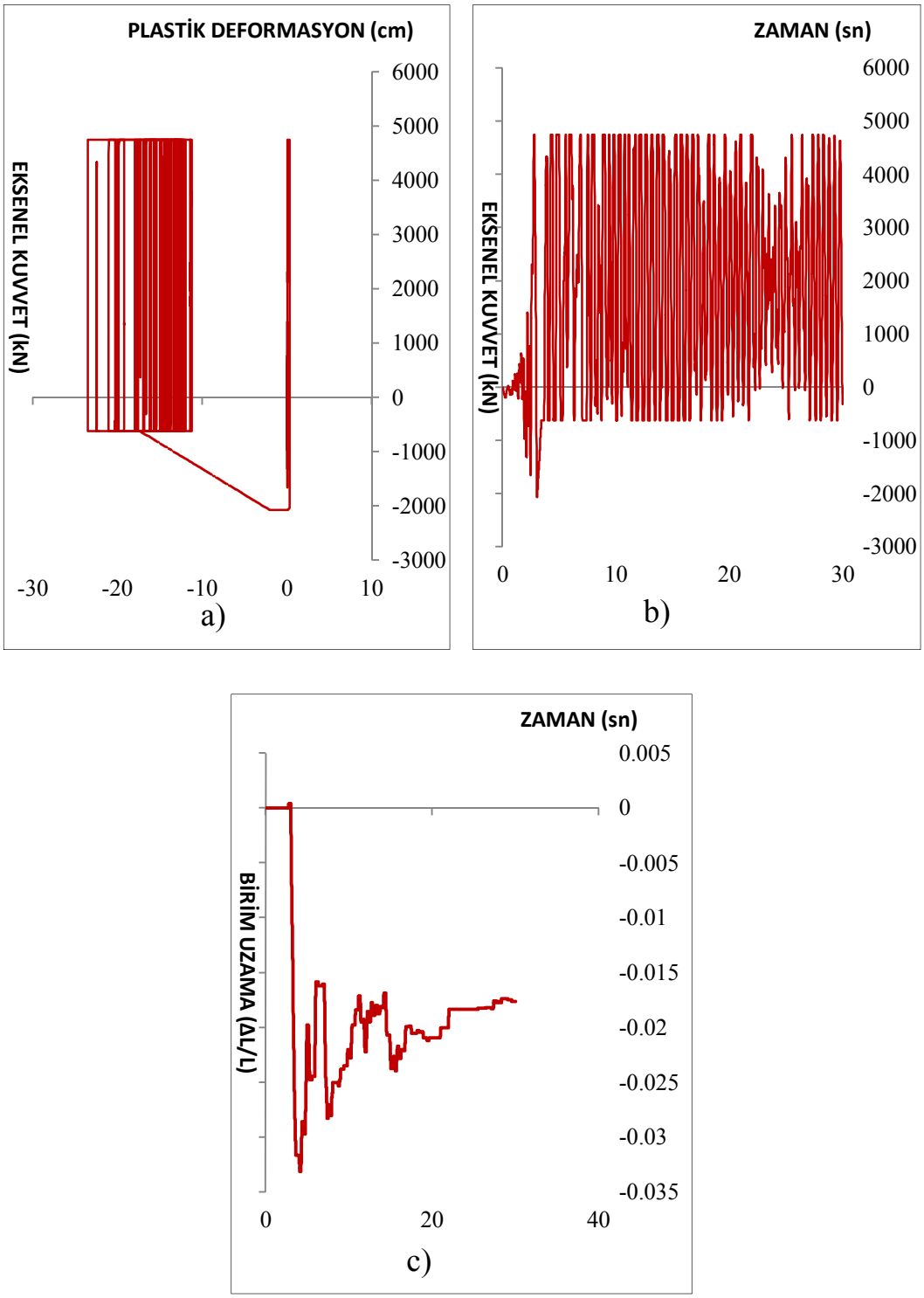
Şekil 4.25: 3 Katlı MÇÇÇ'de Kobe-2g depremi için 2 numaralı çaprazda oluşan a) Eksenel kuvvet-Plastik deformasyon, b) Eksenel kuvvet-Zaman grafiği, c) Birim şekildeğiştirme-zaman grafiği.



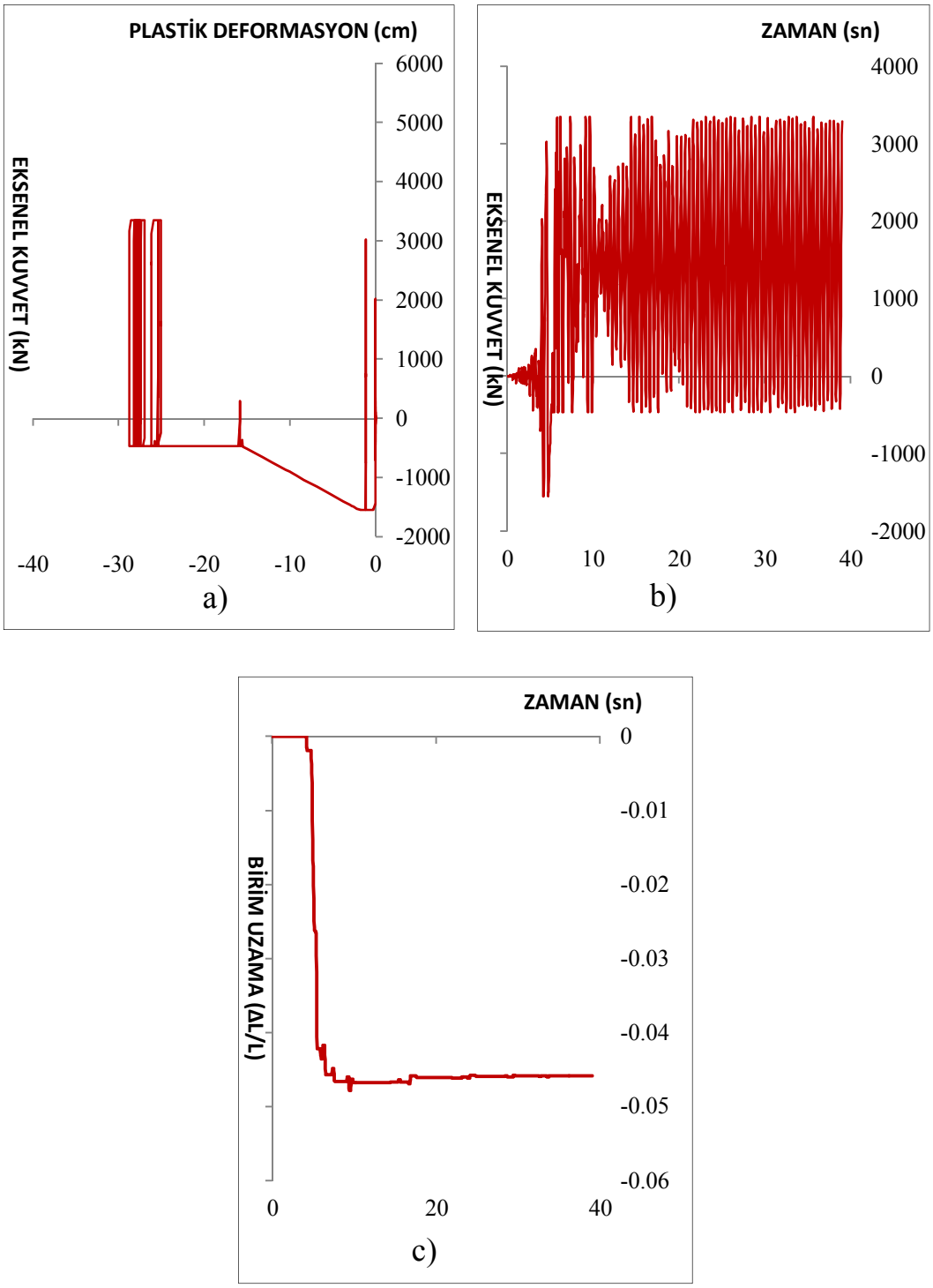
Şekil 4.26: 3 Katlı MÇÇÇ'de Kocaeli-1g depremi için 2 numaralı çaprazda oluşan a) Eksenel kuvvet-Plastik deformasyon, b) Eksenel kuvvet-Zaman grafiği, c) Birim şekildeğiştirme-zaman grafiği.



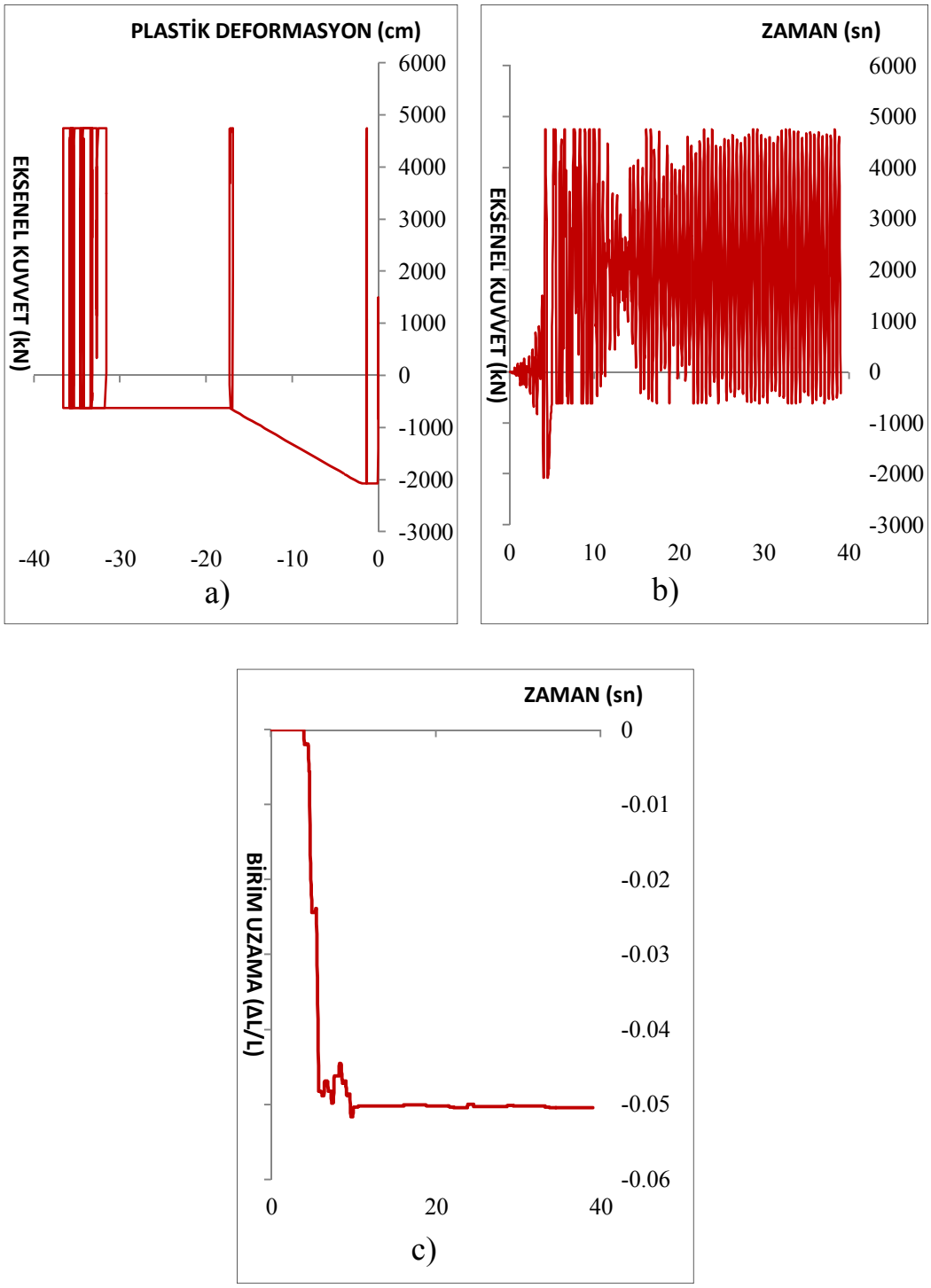
Şekil 4.27: 3 Katlı MÇÇÇ'de Kocaeli-1.5g depremi için 2 numaralı çaprazda oluşan a) Eksenel kuvvet-Plastik deformasyon, b) Eksenel kuvvet-Zaman grafiği, c) Birim şekildeğiştirme-zaman grafiği.



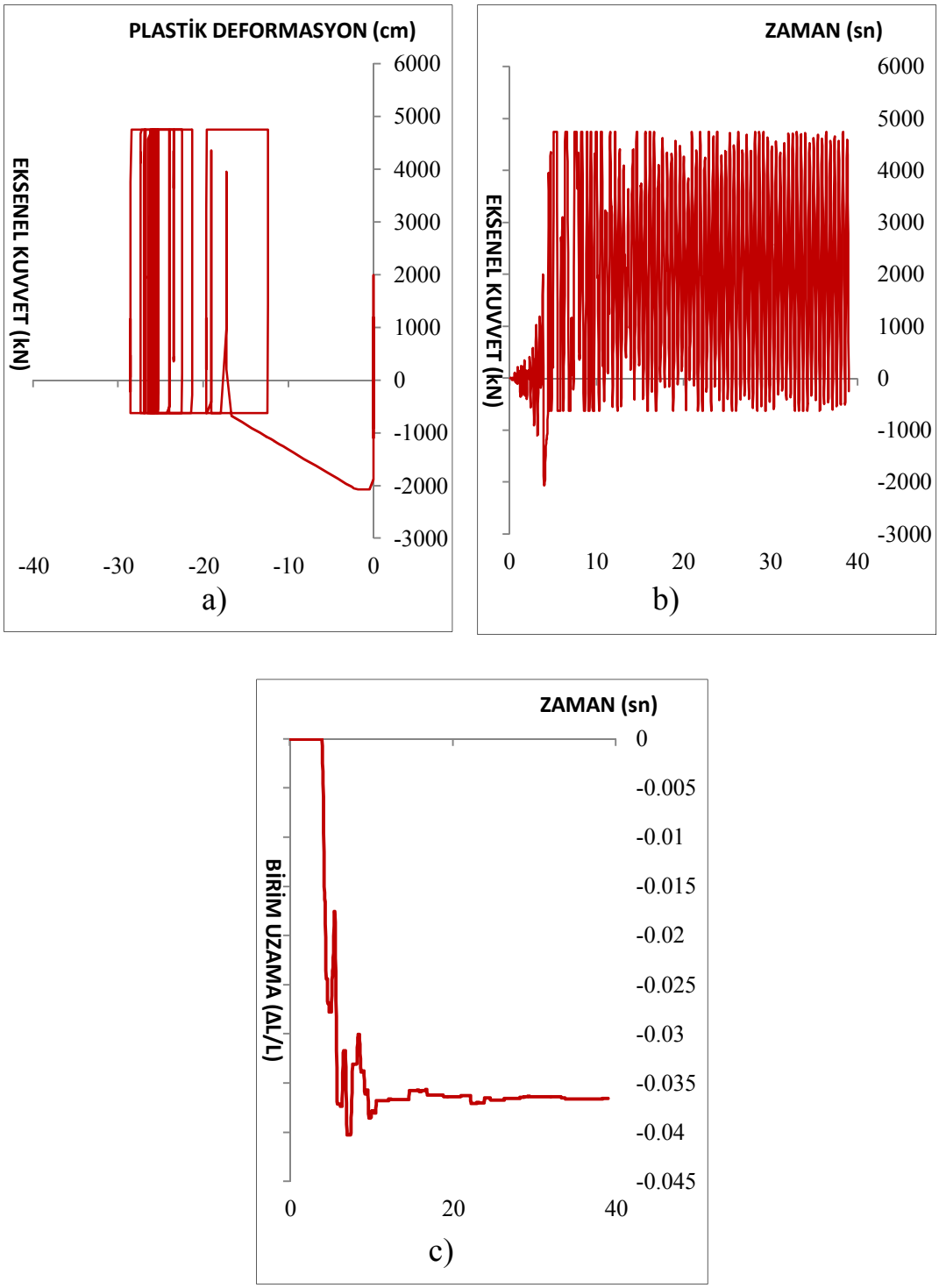
Şekil 4.28: 3 Katlı MÇÇÇ'de Kocaeli-2g depremi için 2 numaralı çaprazda oluşan a) Eksenel kuvvet-Plastik deformasyon, b) Eksenel kuvvet-Zaman grafiği, c) Birim şekildeğiştirme-zaman grafiği.



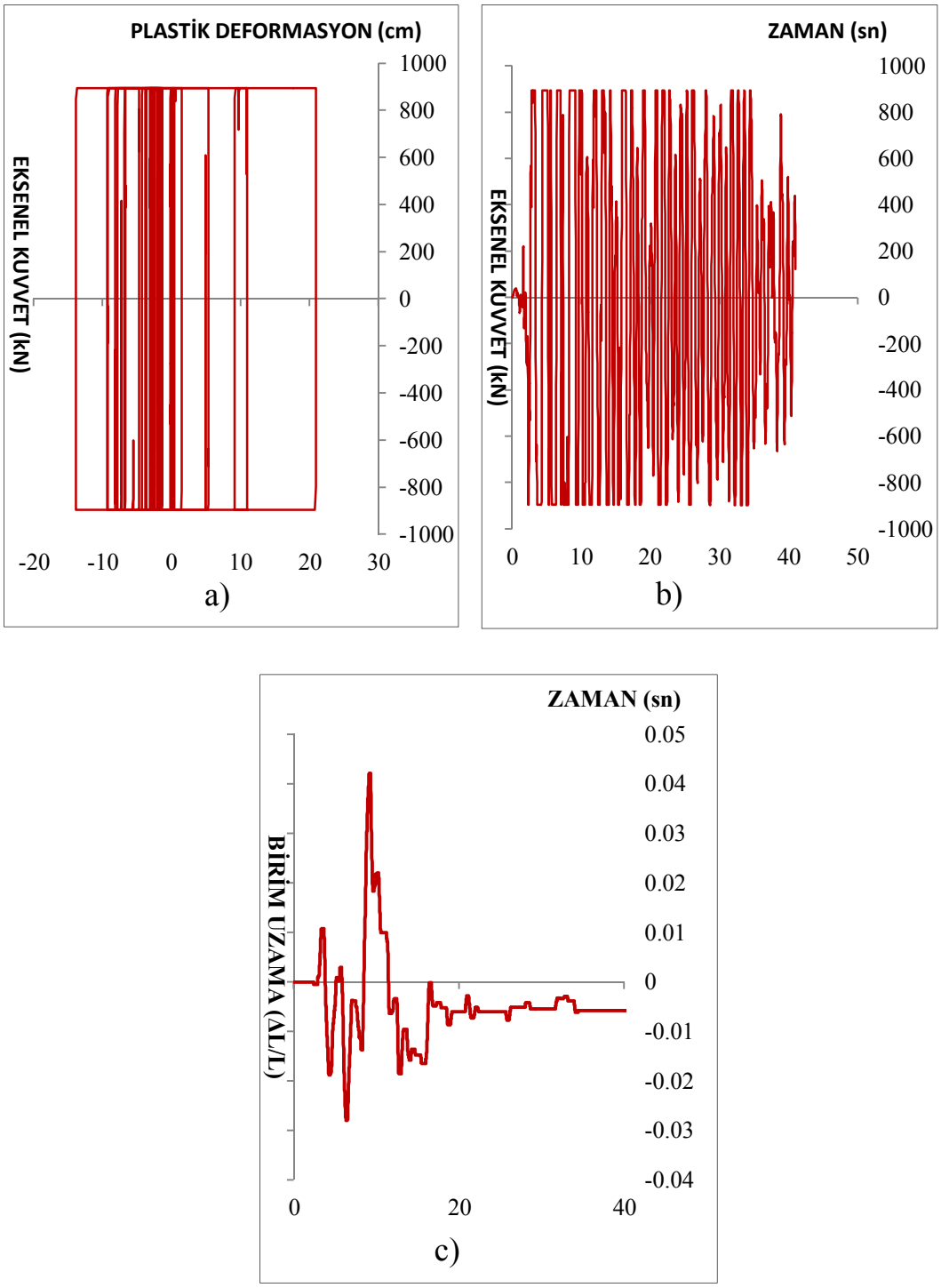
Şekil 4.29: 3 Katlı MÇÇÇ'de Northridge-1g depremi için 4 numaralı çaprazda oluşan a) Eksenel kuvvet-Plastik deformasyon, b) Eksenel kuvvet-Zaman grafiği, c) Birim şekildeğiştirme-zaman grafiği.



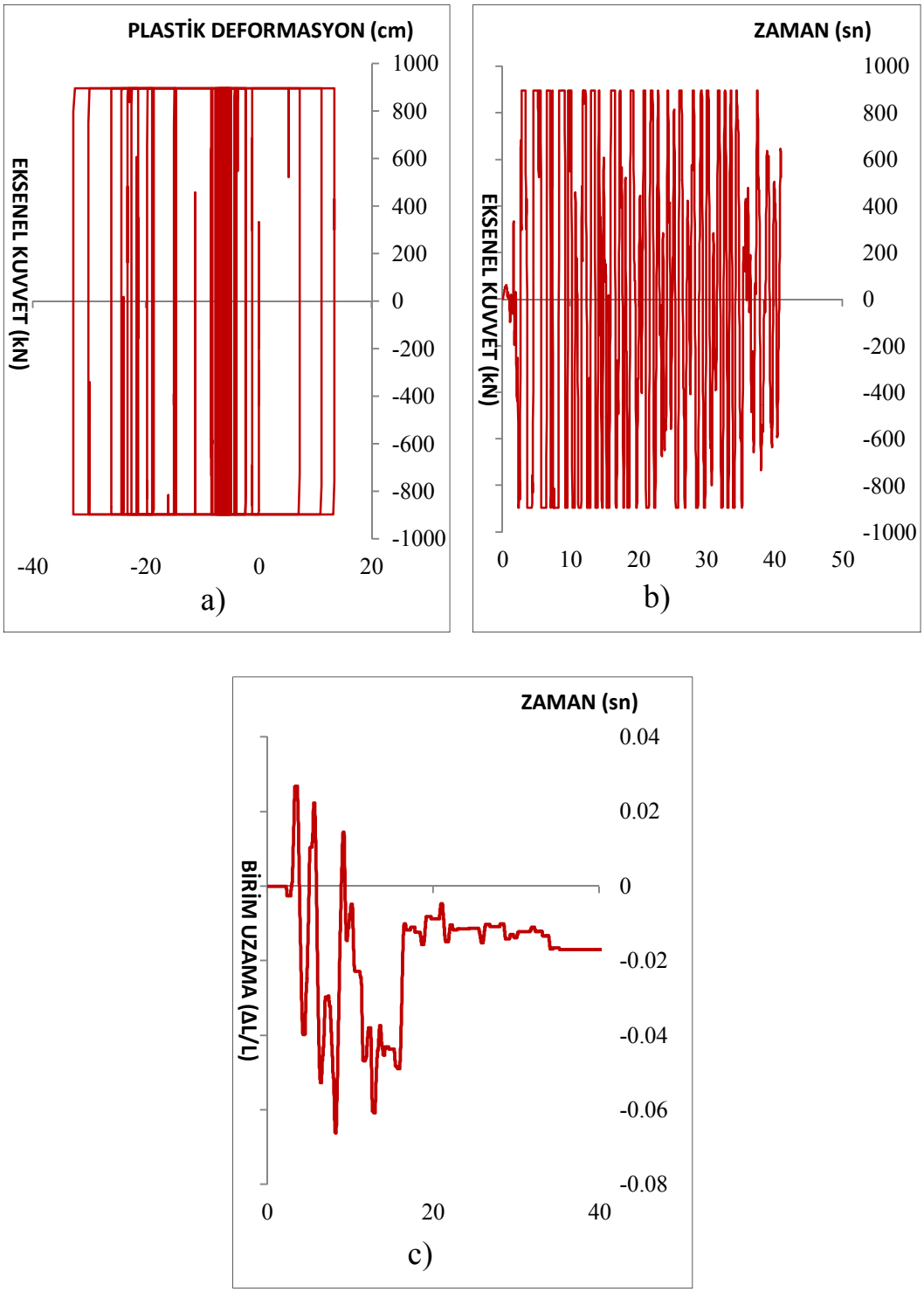
Şekil 4.30: 3 Katlı MÇÇÇ'de Northridge-1.5g depremi için 1 numaralı çaprazda oluşan a) Eksenel kuvvet-Plastik deformasyon, b) Eksenel kuvvet-Zaman grafiği, c) Birim şekildeğiştirme-zaman grafiği.



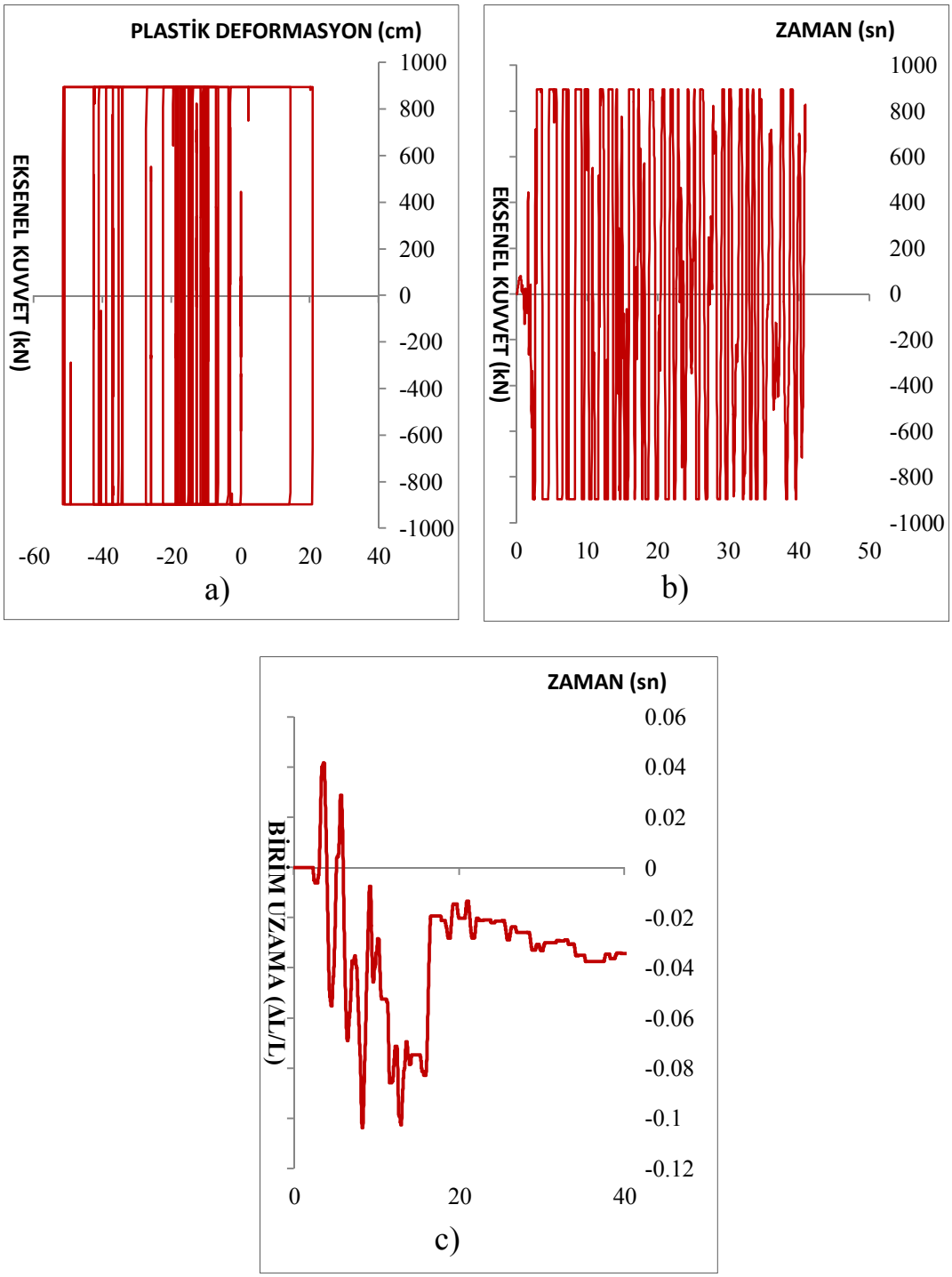
Şekil 4.31: 3 Katlı MÇÇÇ'de Northridge-2g depremi için 1 numaralı çaprazda oluşan a) Eksenel kuvvet-Plastik deformasyon, b) Eksenel kuvvet-Zaman grafiği, c) Birim şekildeğiştirme-zaman grafiği.



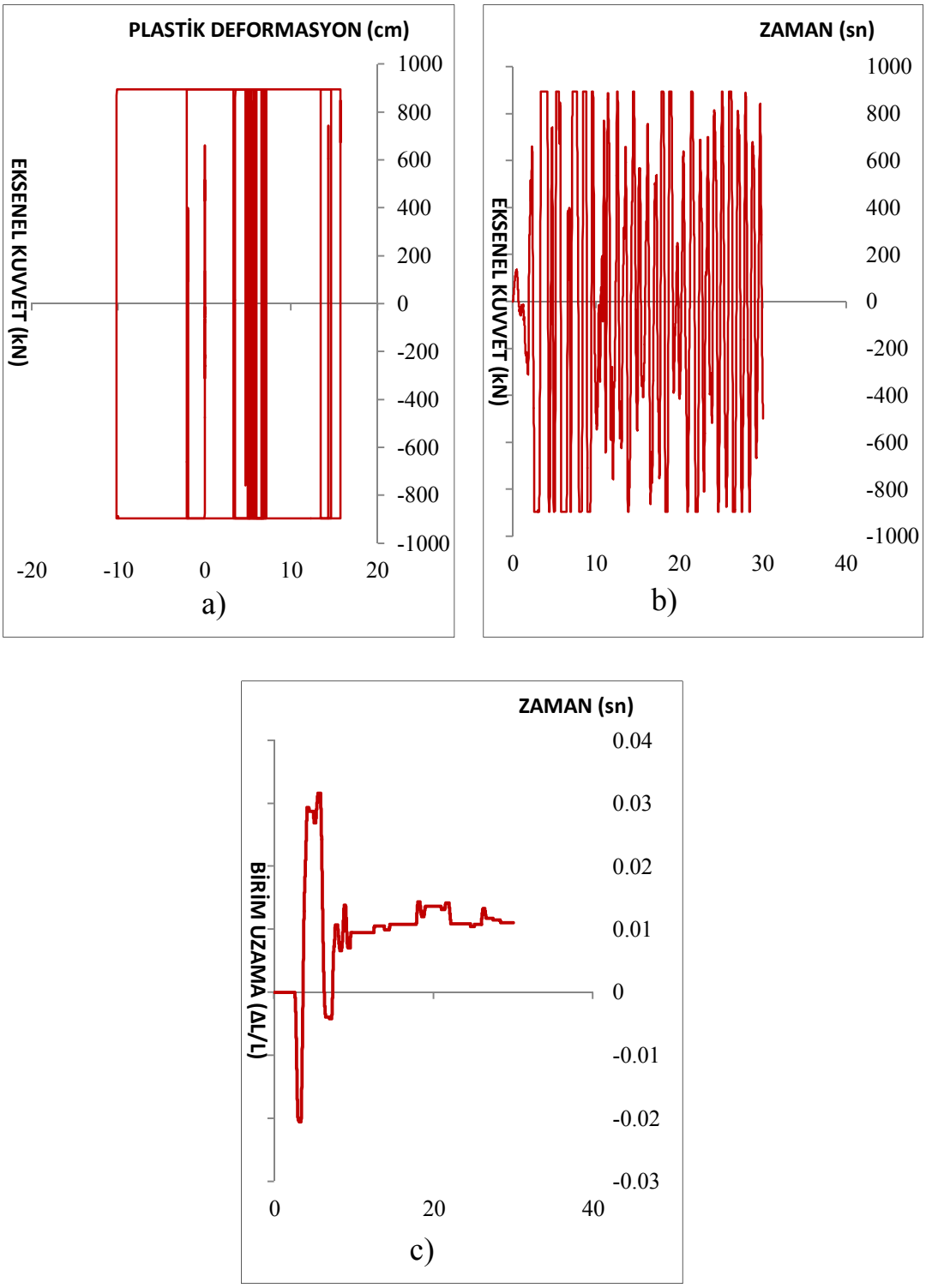
Şekil 4.32: 3 Katlı BÖÇÇÇ'de KOBE-1g depremi için 1 numaralı çaprazda oluşan a) Eksenel kuvvet-Plastik deformasyon, b) Eksenel kuvvet-Zaman grafiği, c) Birim şekildeğiştirme-zaman grafiği.



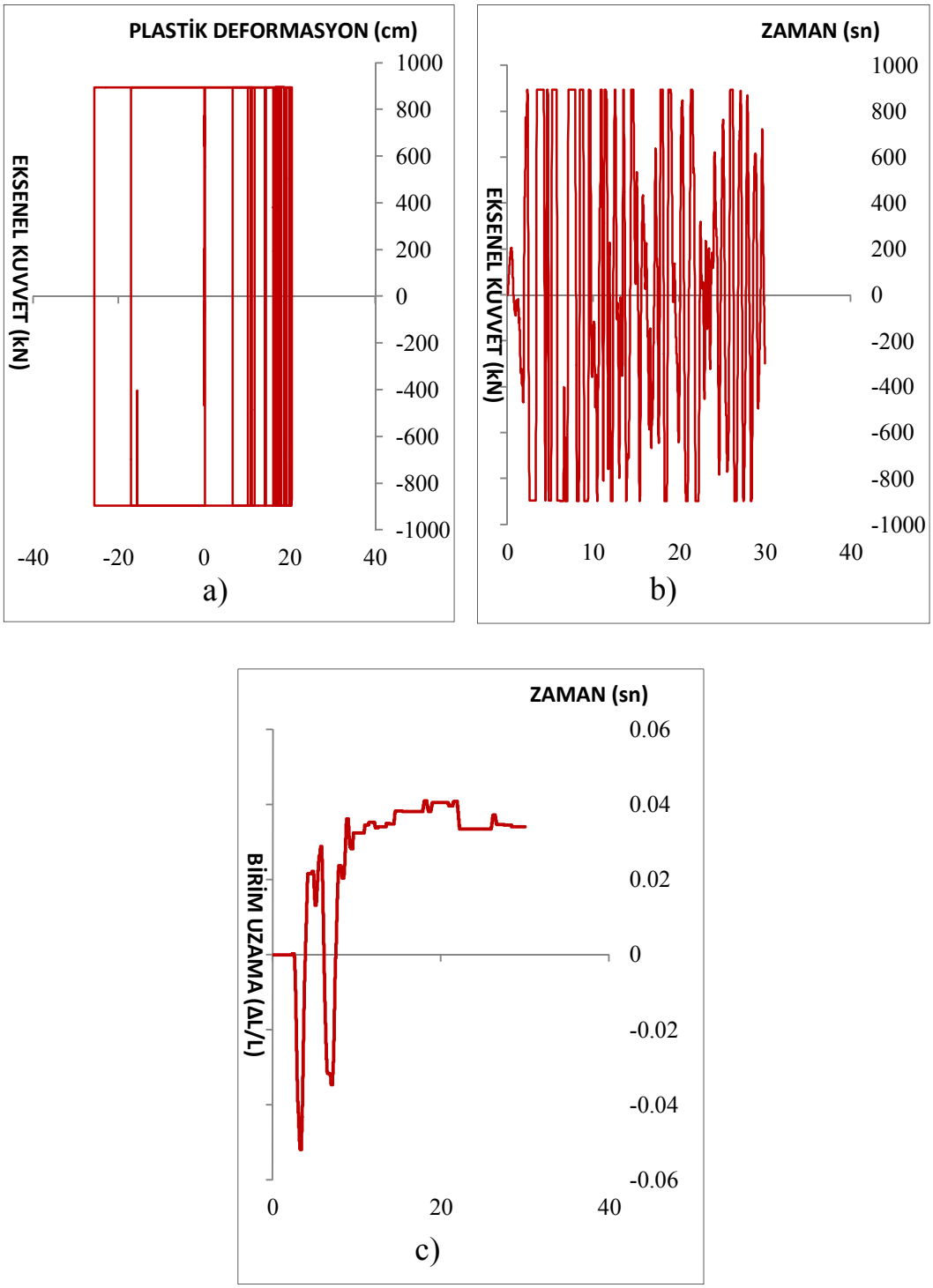
Şekil 4.33: 3 Katlı BÖÇÇÇ'de KOBE-1.5g depremi için 1 numaralı çaprazda oluşan a) Eksenel kuvvet-Plastik deformasyon, b) Eksenel kuvvet-Zaman grafiği, c) Birim şekildeğiştirme-zaman grafiği.



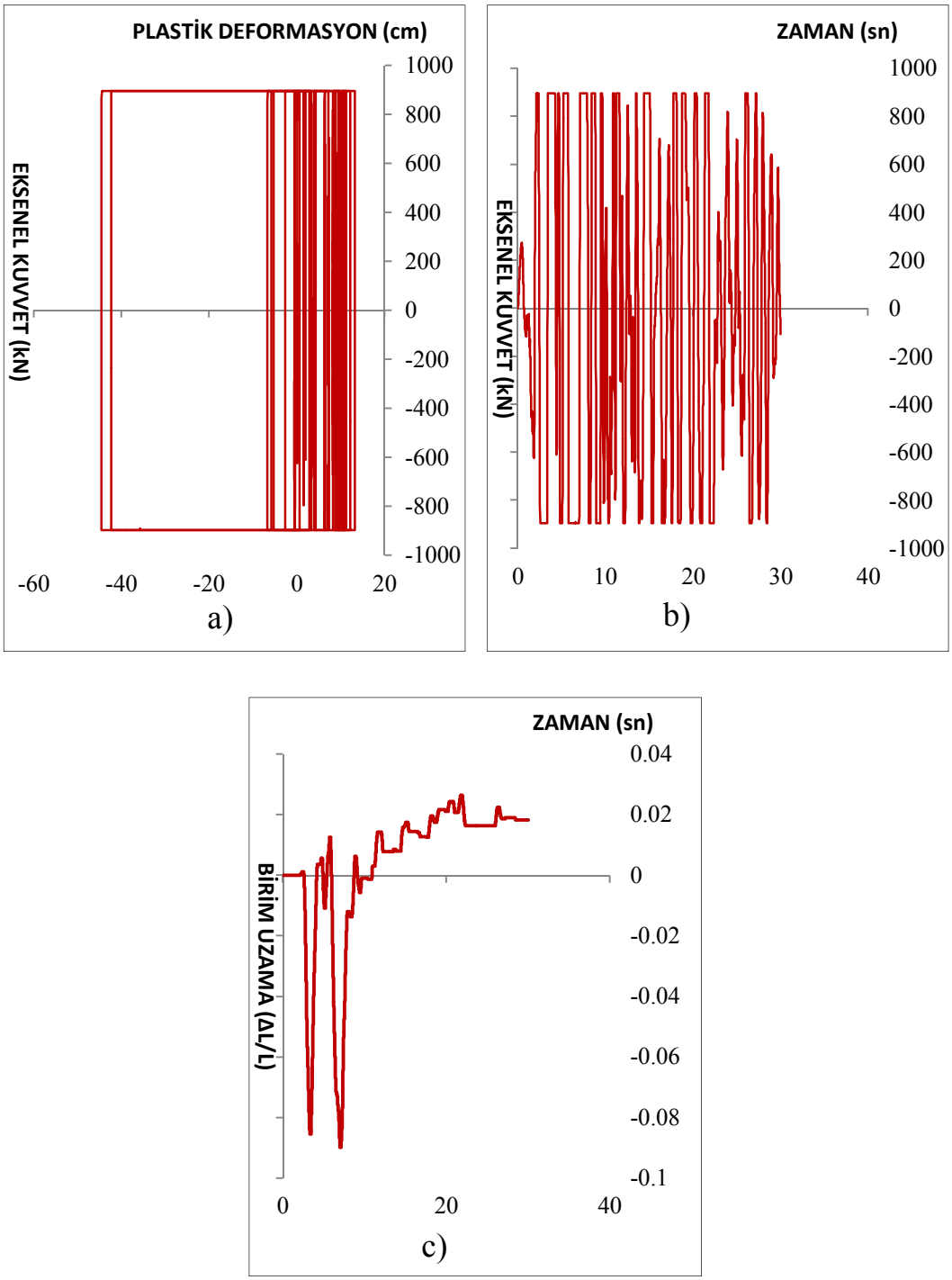
Şekil 4.34: 3 Katlı BÖÇÇÇ'de KOBE-2g depremi için 1 numaralı çaprazda oluşan a) Eksenel kuvvet-Plastik deformasyon, b) Eksenel kuvvet-Zaman grafiği, c) Birim şekildeğiştirme-zaman grafiği.



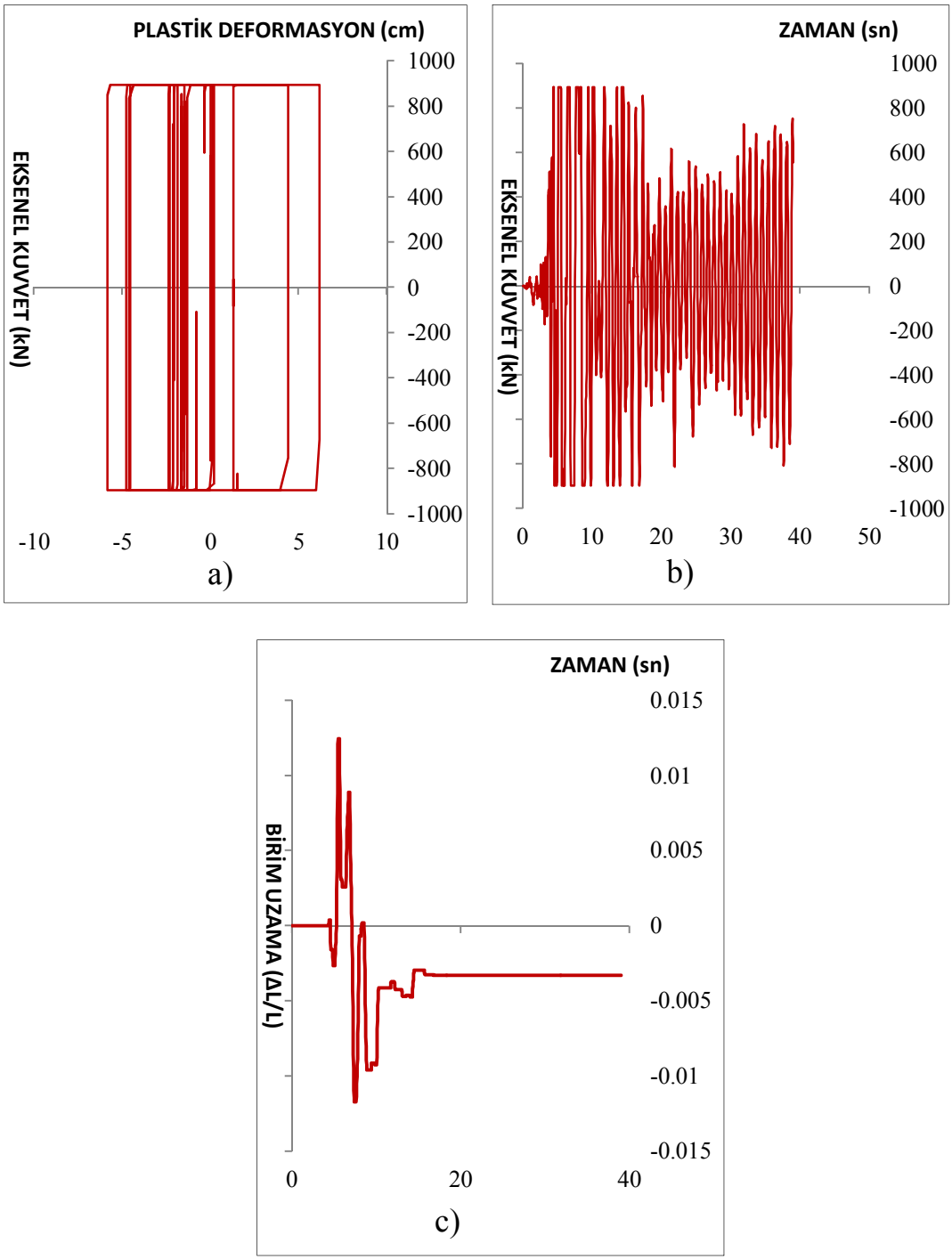
Şekil 4.35: 3 Katlı BÖÇÇÇ'de KOCAELİ-1g depremi için 1 numaralı çaprazda oluşan a) Eksenel kuvvet-Plastik deformasyon, b) Eksenel kuvvet-Zaman grafiği, c) Birim şekildeğiştirme-zaman grafiği.



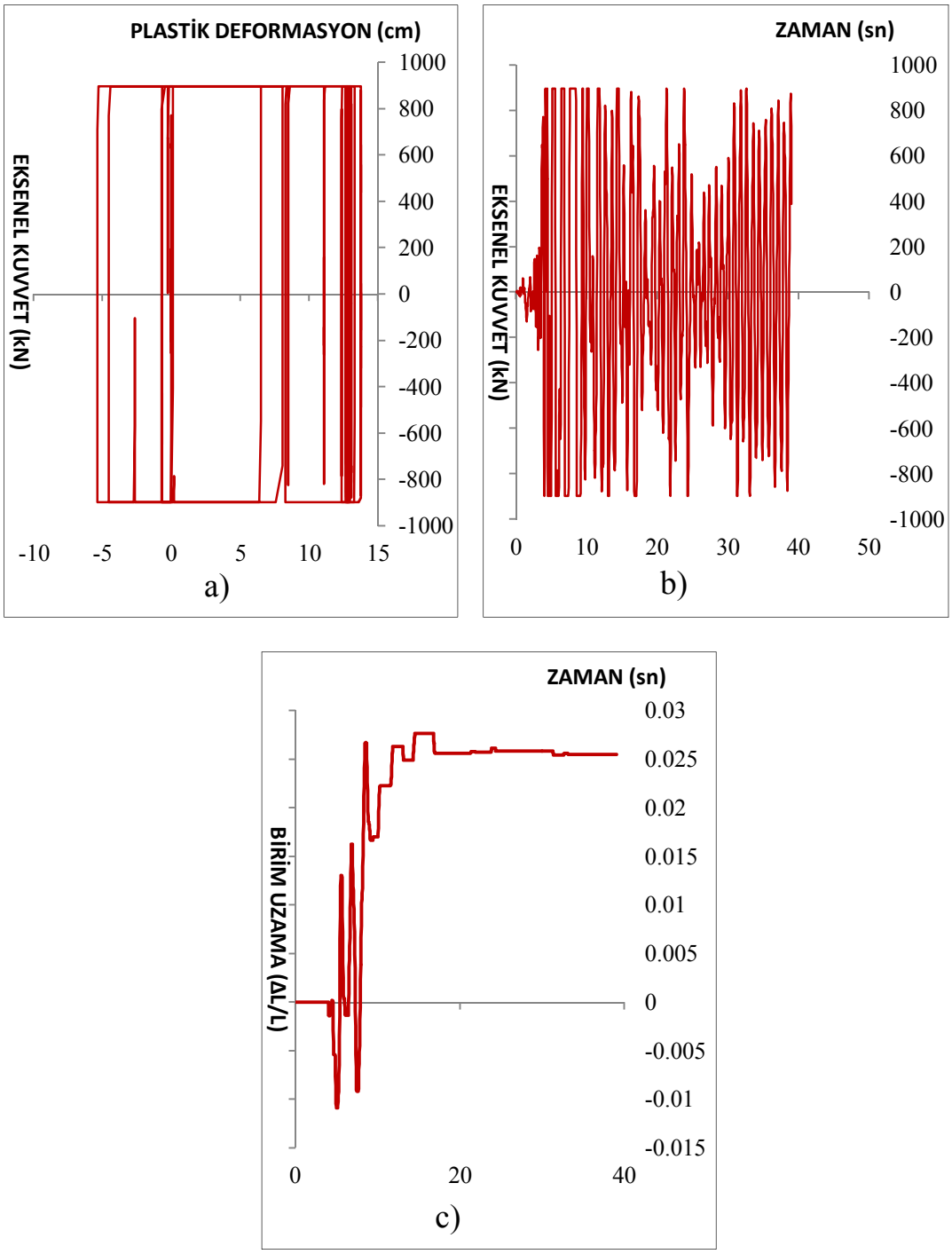
Şekil 4.36: 3 Katlı BÖÇÇÇ'de KOCAELİ-1.5g depremi için 1 numaralı çaprazda oluşan a) Eksenel kuvvet-Plastik deformasyon, b) Eksenel kuvvet-Zaman grafiği, c) Birim şekildeğiştirme-zaman grafiği.



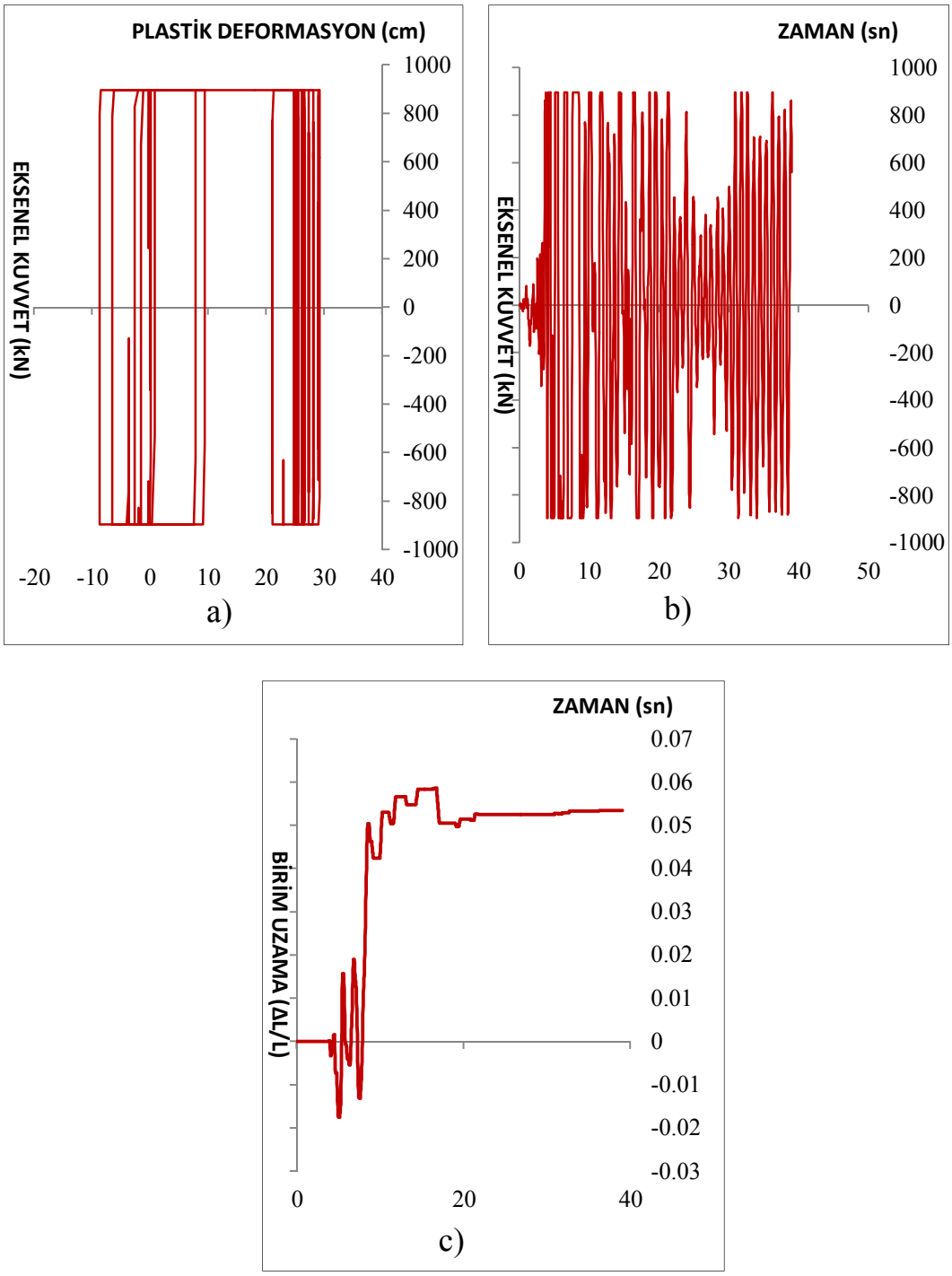
Şekil 4.37: 3 Katlı BÖÇÇÇ'de KOCAELİ-2g depremi için 1 numaralı çaprazda oluşan a) Eksenel kuvvet-Plastik deformasyon, b) Eksenel kuvvet-Zaman grafiği, c) Birim şekildeğiştirme-zaman grafiği.



Şekil 4.38: 3 Katlı BÖÇÇÇ'de NORTHRIDGE-1g depremi için 1 numaralı çaprazda oluşan a) Eksenel kuvvet-Plastik deformasyon, b) Eksenel kuvvet-Zaman grafiği, c) Birim şekildeğiştirme-zaman grafiği.



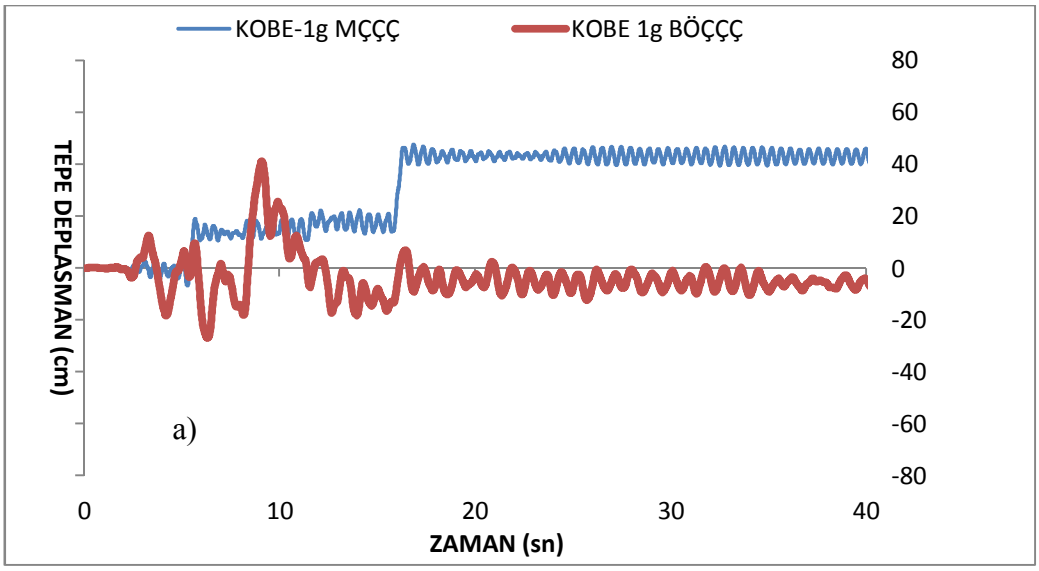
Şekil 4.39: 3 Katlı BÖÇÇÇ'de NORTHRIDGE-1.5g depremi için 1 numaralı çaprazda oluşan a) Eksenel kuvvet-Plastik deformasyon, b) Eksenel kuvvet-Zaman grafiği, c) Birim şekildeğiştirme-zaman grafiği.

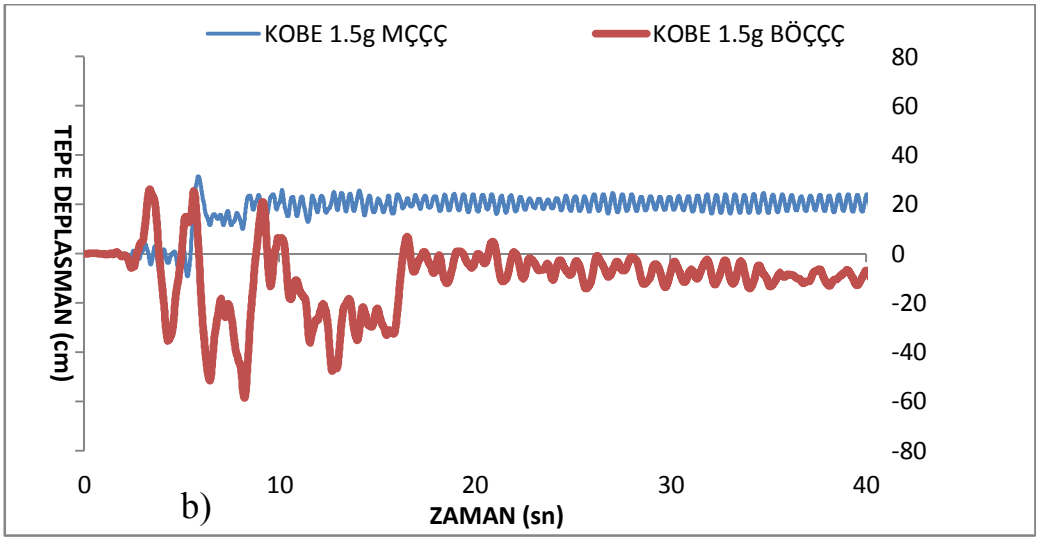


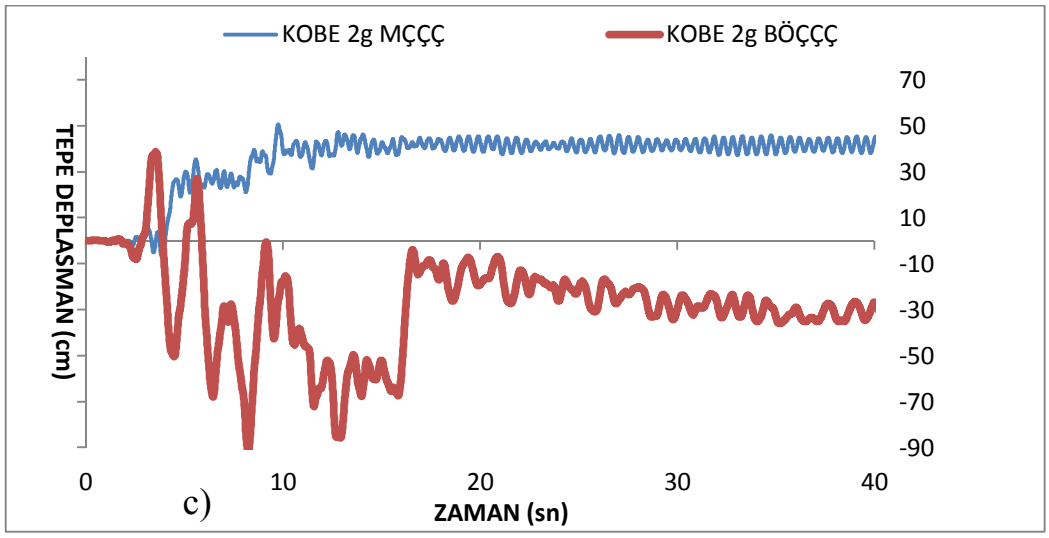
Şekil 4.40: 3 Katlı BÖÇÇÇ'de NORTHRIDGE-2g depremi için 1 numaralı çaprazda oluşan a) Eksenel kuvvet-Plastik deformasyon, b) Eksenel kuvvet-Zaman grafiği, c) Birim şekildeğiştirme-zaman grafiği.

4.7.1.2. Üç Katlı Yapılarda Tepe Deplasmanları

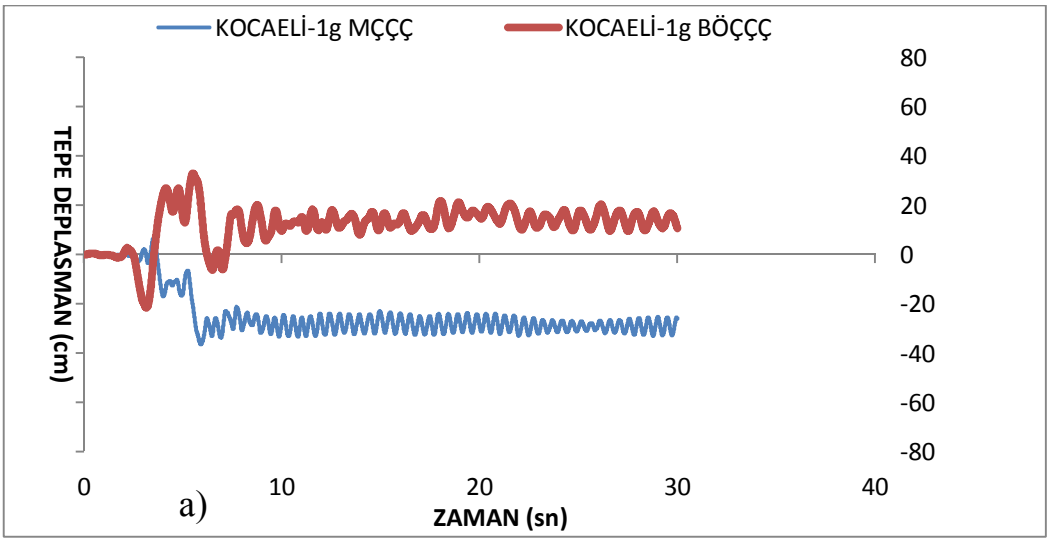
3 katlı MÇÇÇ ve BÖÇÇÇ taşıyıcı sistemlerinden oluşan binalar için karşılaştırmalı tepe deplasman grafikleri çizilmiştir.

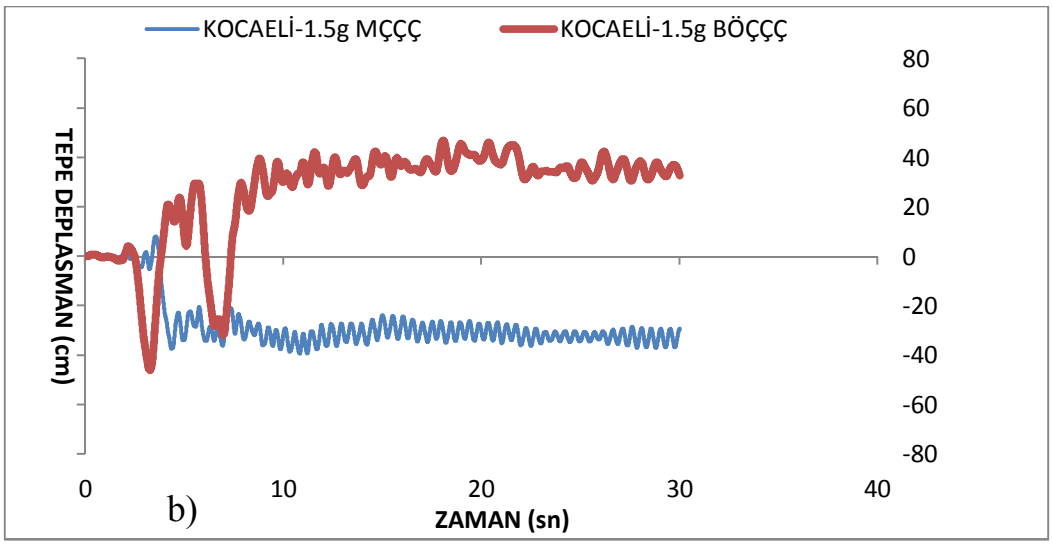


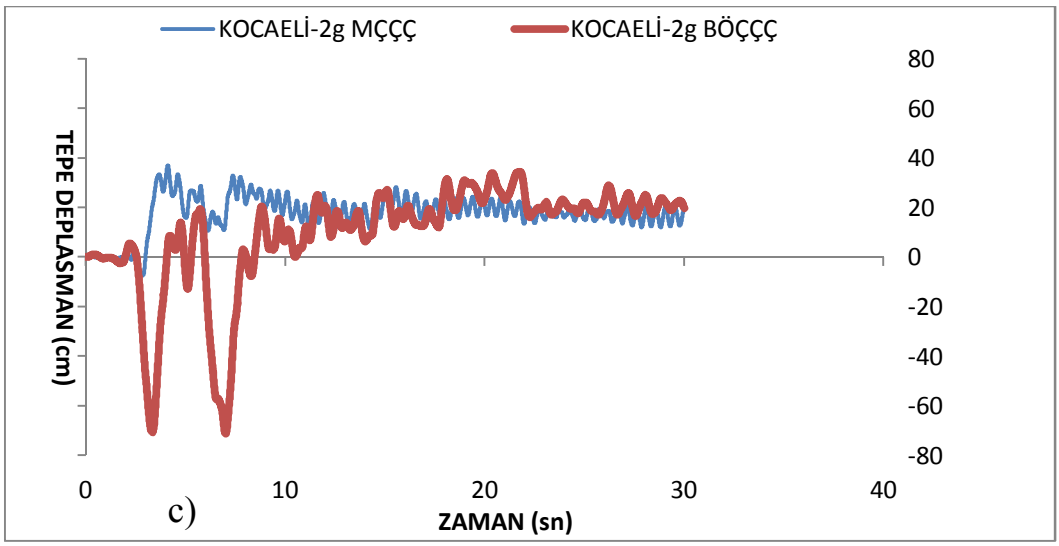




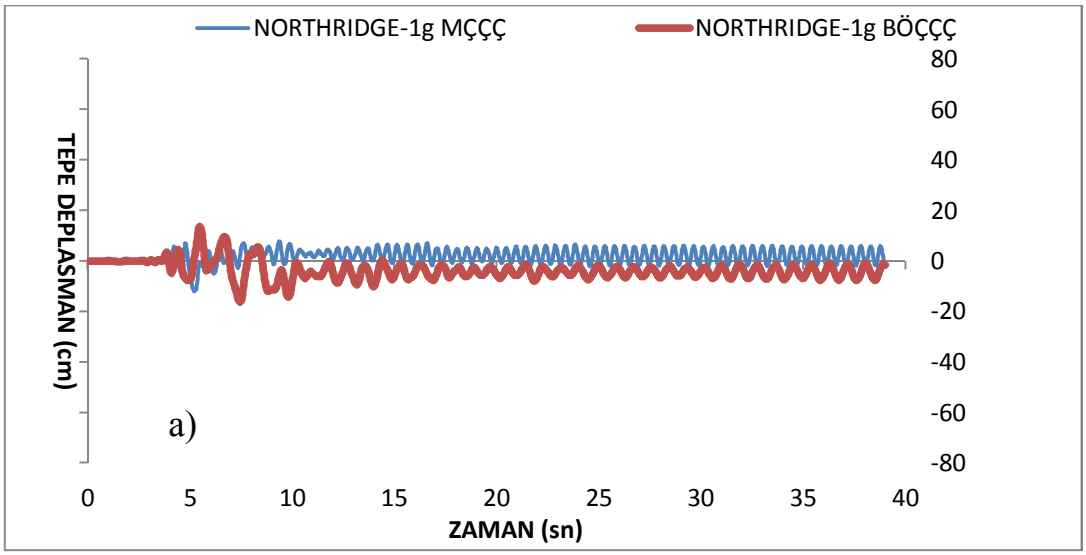
Şekil 4.41: 3 Katlı MÇÇÇ ve BÖÇÇÇ'li yapıların Kobe Depremi için a)1g Spektral ivme, b)1.5g Spektral ivme, c)2g spektral ivme değerlerine göre ölçeklenmiş deprem kayıtları etkisinde bina tepe deplasmanları karşılaştırılması.

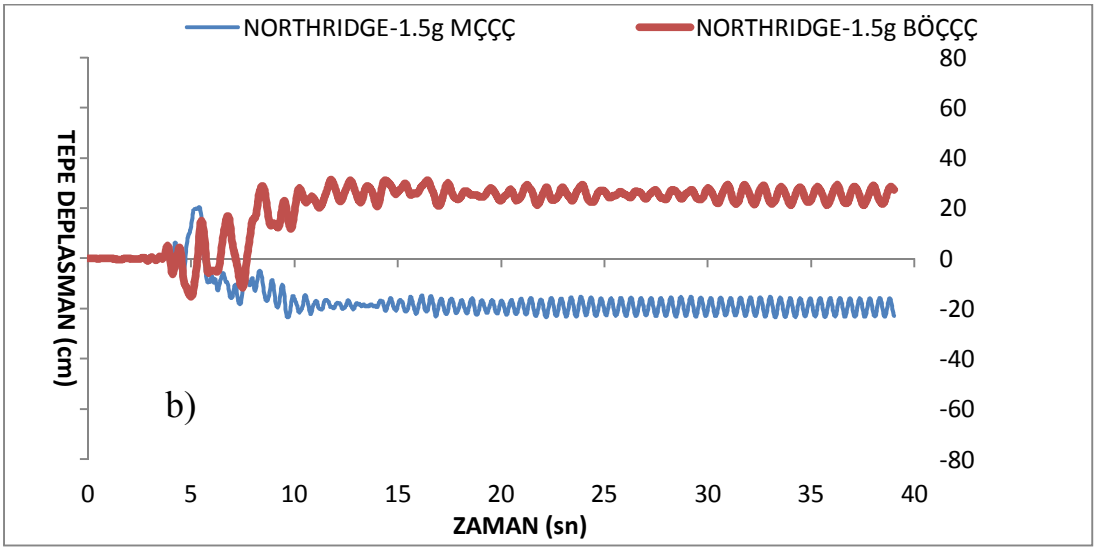


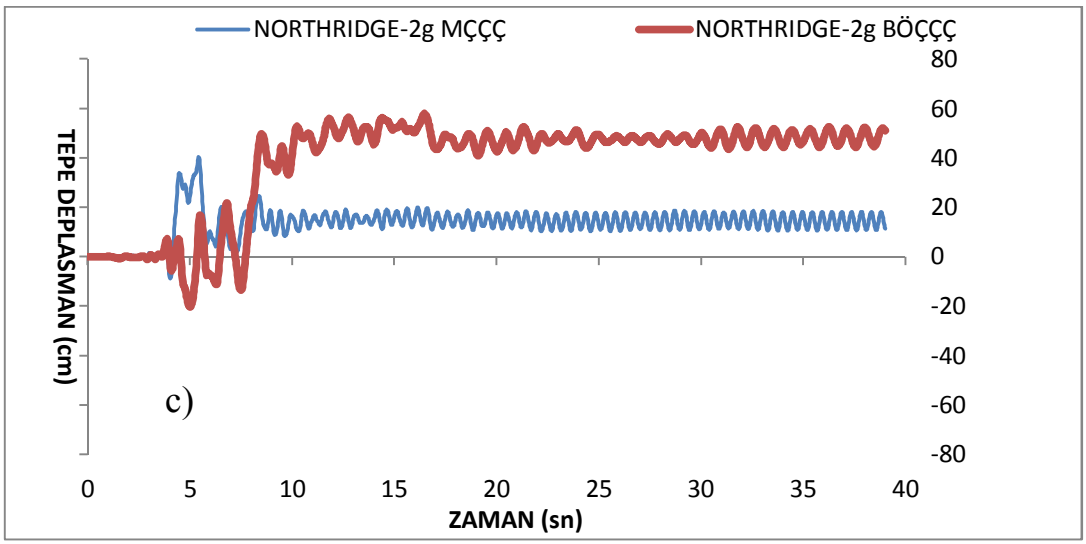




Şekil 4.42: 3 Katlı MÇÇÇ ve BÖÇÇÇ'li yapıların Kocaeli Depremi için a)1g Spektral ivme, b)1.5g Spektral ivme, c)2g spektral ivme değerlerine göre ölçeklenmiş deprem kayıtları etkisinde bina tepe deplasmanları karşılaştırılması.

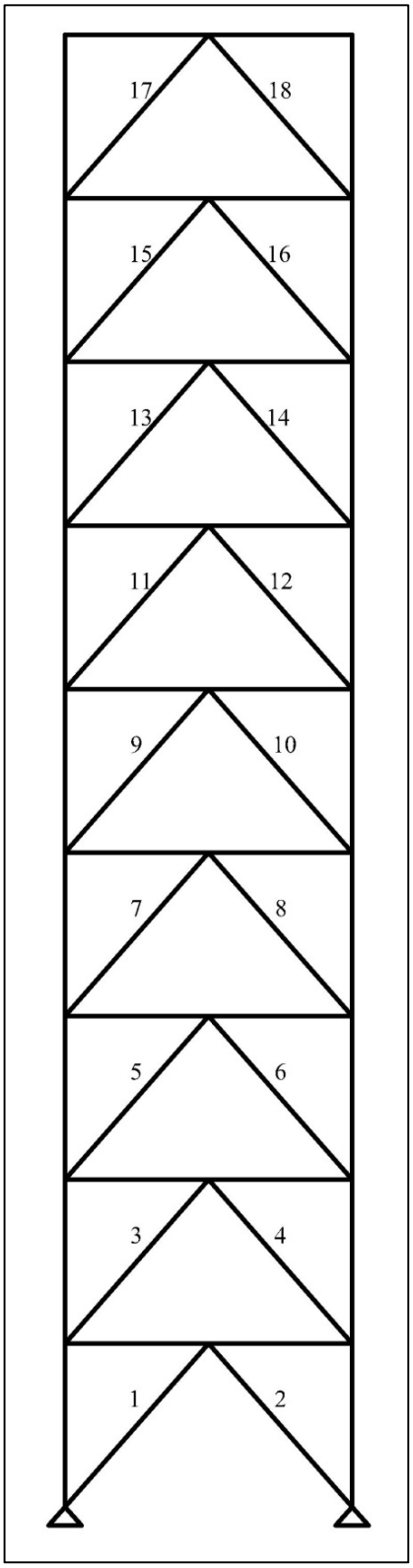






Şekil 4.43: 3 Katlı MÇÇÇ ve BÖÇÇÇ'li yapıların Northridge Depremi için a)1g Spektral ivme, b)1.5g Spektral ivme, c)2g spektral ivme değerlerine göre ölçeklenmiş deprem kayıtları etkisinde bina tepe deplasmanları karşılaştırılması.

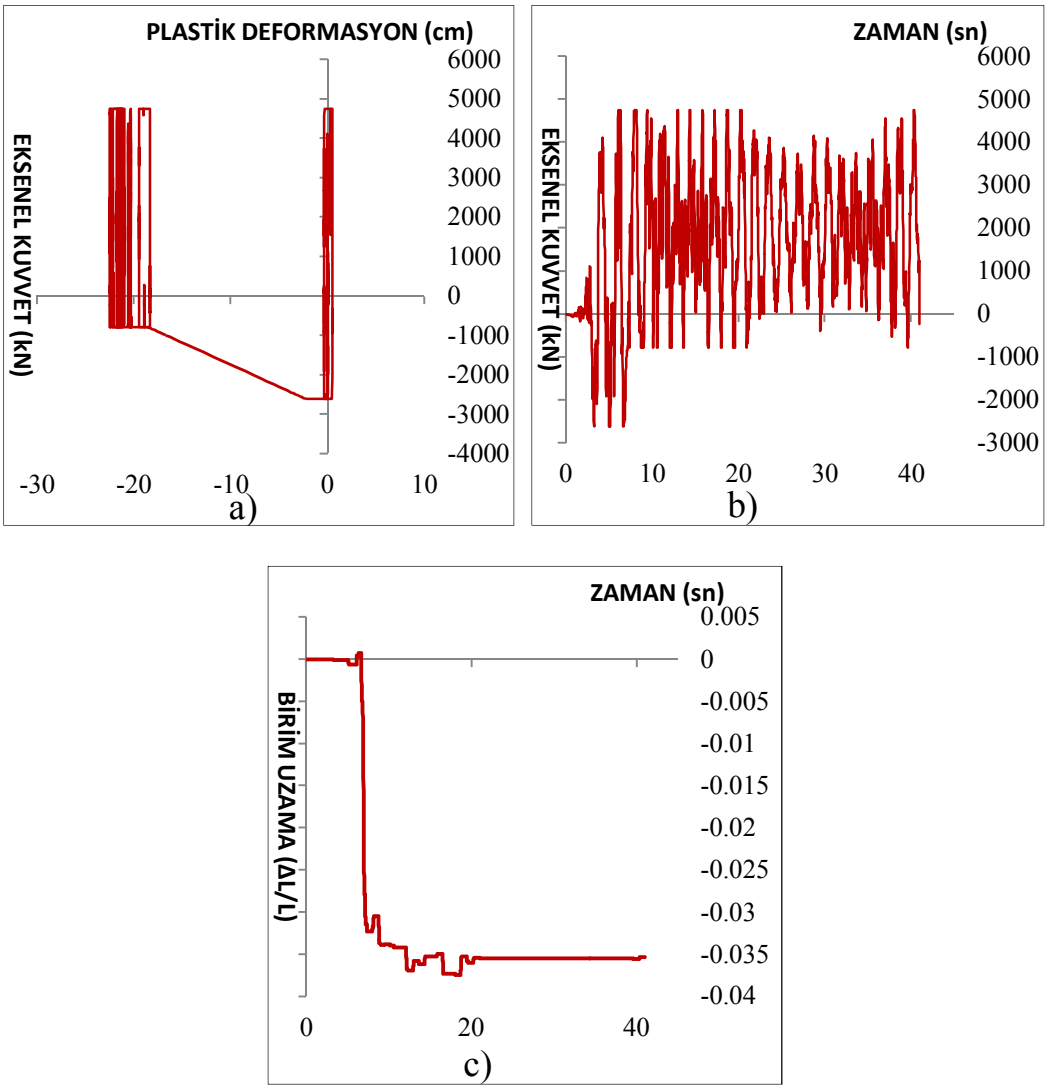
4.7.2. Dokuz Katlı Yapıların Analiz Sonuçları



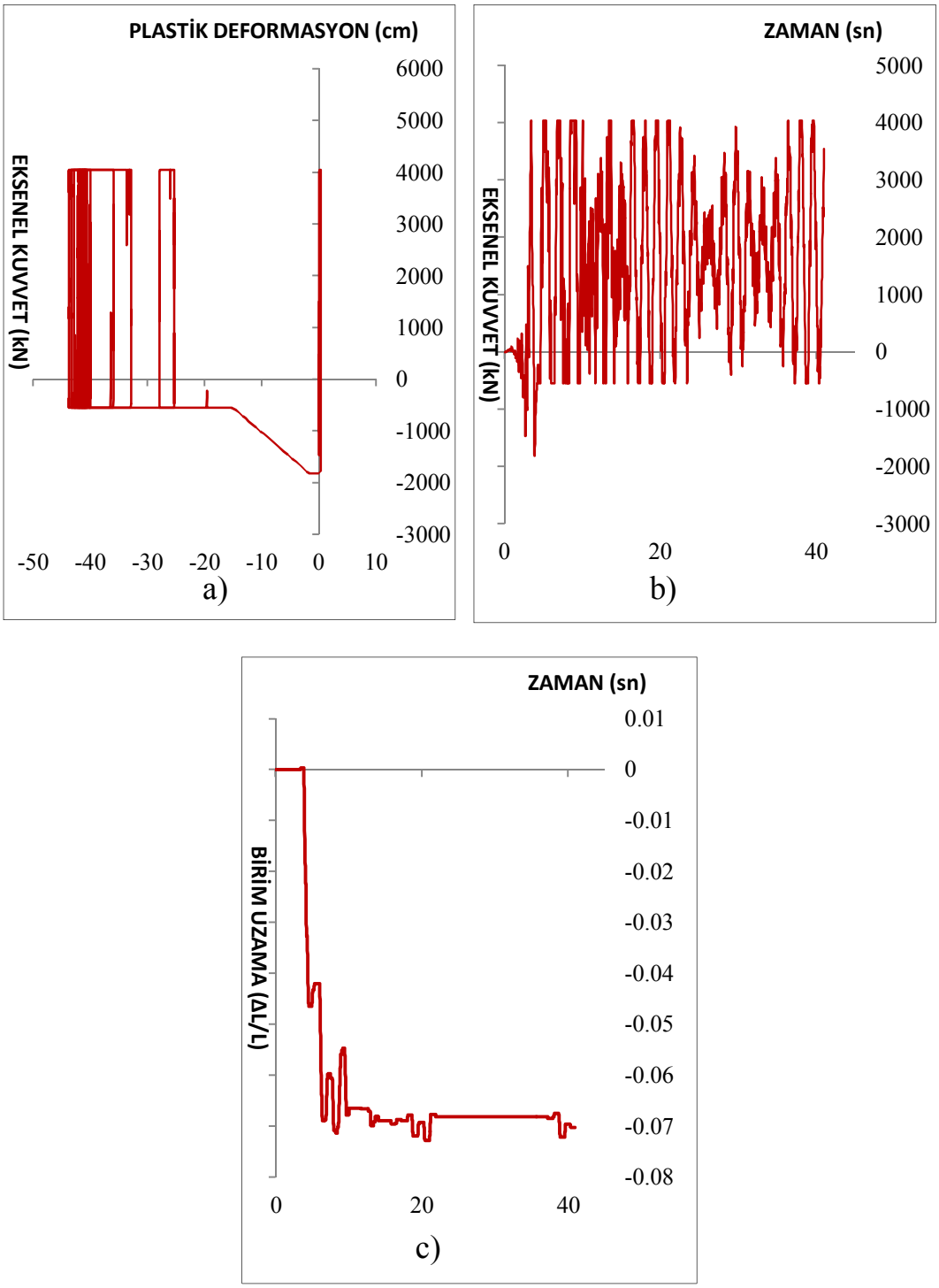
Şekil 4.44: 9 Katlı yapılar için eleman numaraları.

4.7.2.1. Dokuz Katlı Yapılarda Çaprazlarda oluşan iç kuvvet ve şekil değiştirmeler

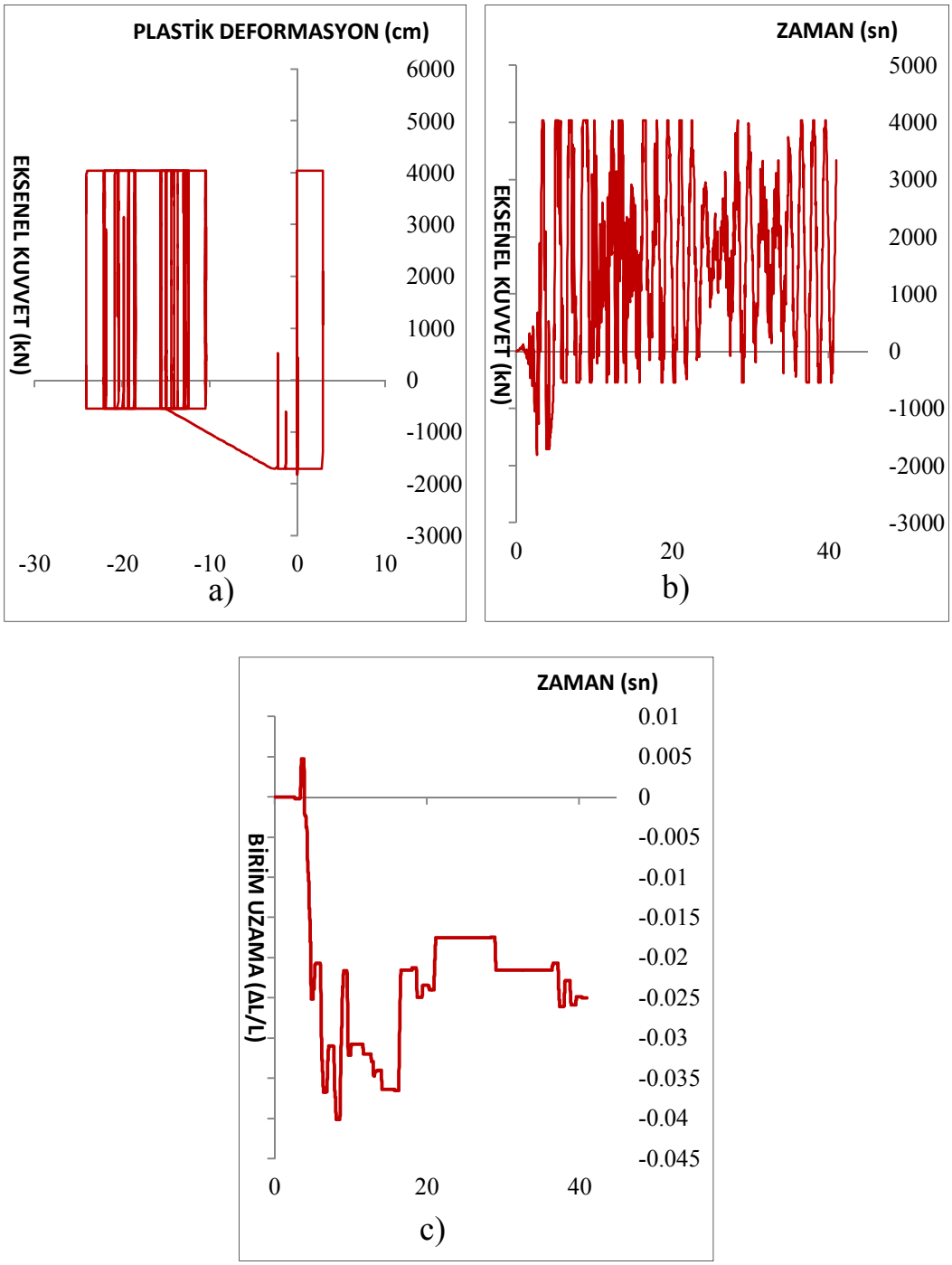
9 katlı yapılarda çaprazlara gelen iç kuvvetlerin karşılaştırılmasında her bir deprem ve her bir yapı için en fazla eksenel kuvvet alan ve plastik deformasyona maruz kalan çaprazların grafikleri verilmiştir.



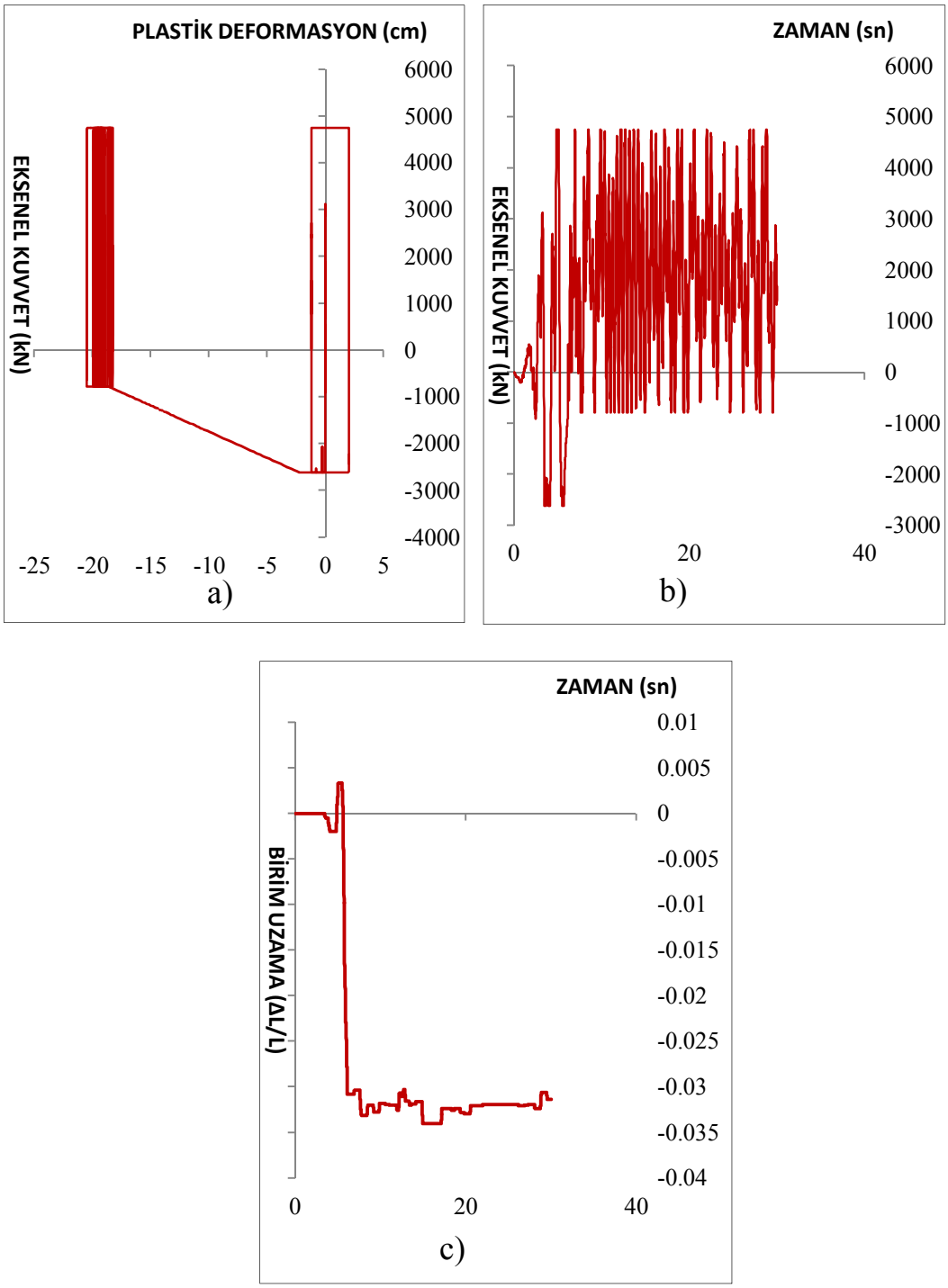
Şekil 4.45: 9 Katlı MÇÇÇ'de KOBE-0.5g depremi için 6 numaralı çaprazda oluşan a) Eksenel kuvvet-Plastik deformasyon, b) Eksenel kuvvet-Zaman grafiği, c) Birim şekildeğiştirme-zaman grafiği.



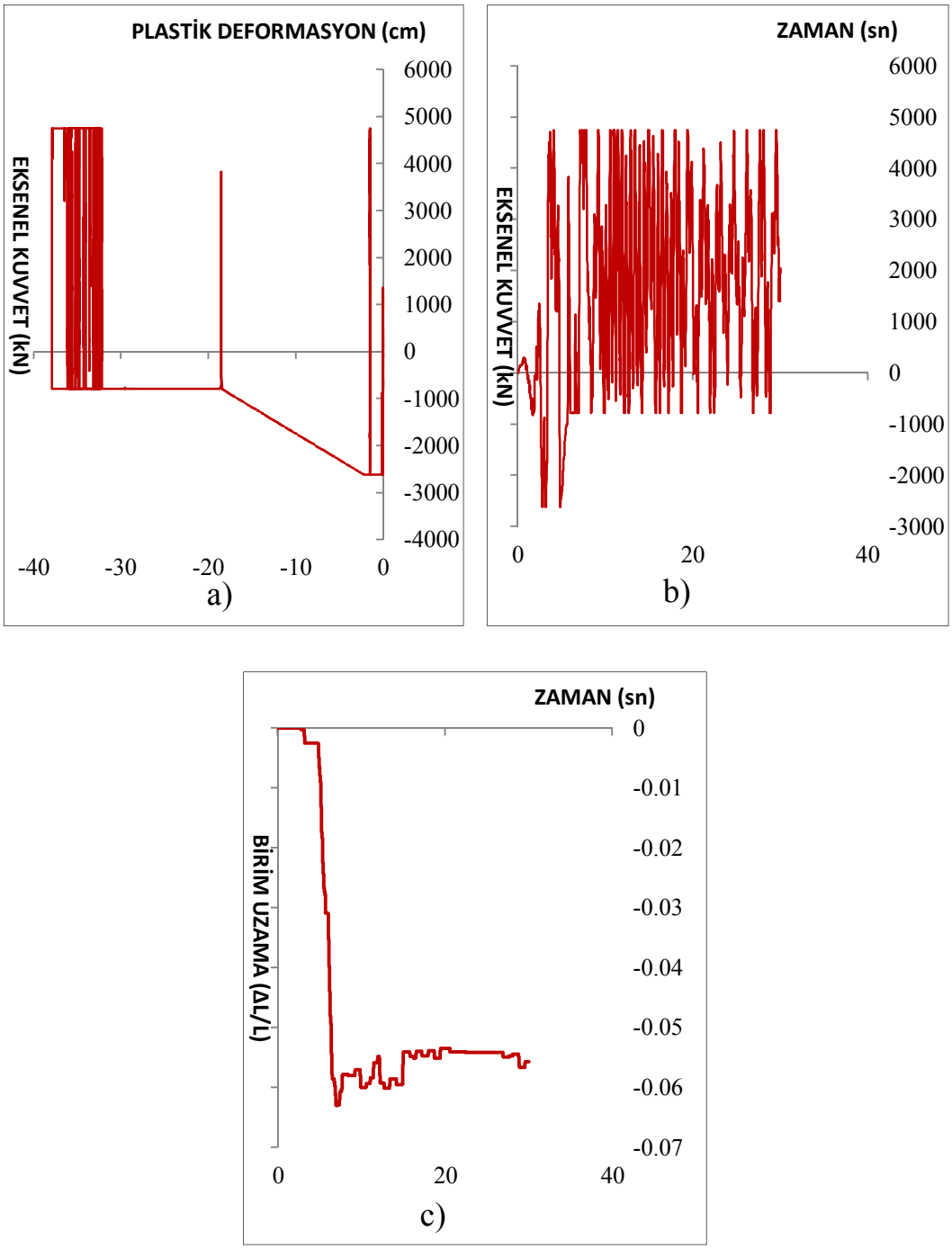
Şekil 4.46: 9 Katlı MÇÇÇ'de KOBE-0.75g depremi için 9 numaralı çaprazda oluşan a) Eksenel kuvvet-Plastik deformasyon, b) Eksenel kuvvet-Zaman grafiği, c) Birim şekildeğiştirme-zaman grafiği.



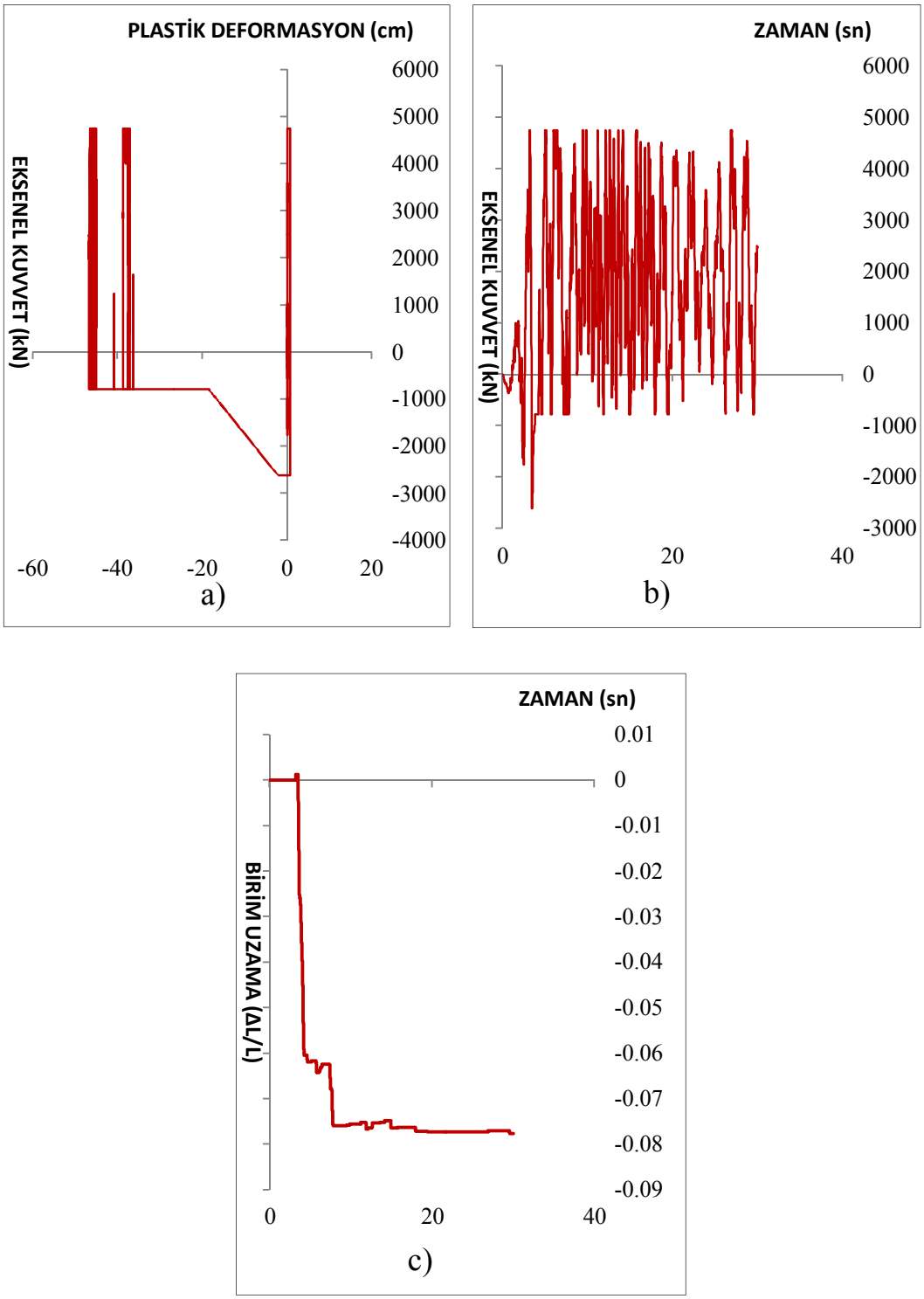
Şekil 4.47: 9 Katlı MÇÇÇ'de KOBE-1g depremi için 9 numaralı çaprazda oluşan a) Eksenel kuvvet-Plastik deformasyon, b) Eksenel kuvvet-Zaman grafiği, c) Birim şekildeğiştirme-zaman grafiği.



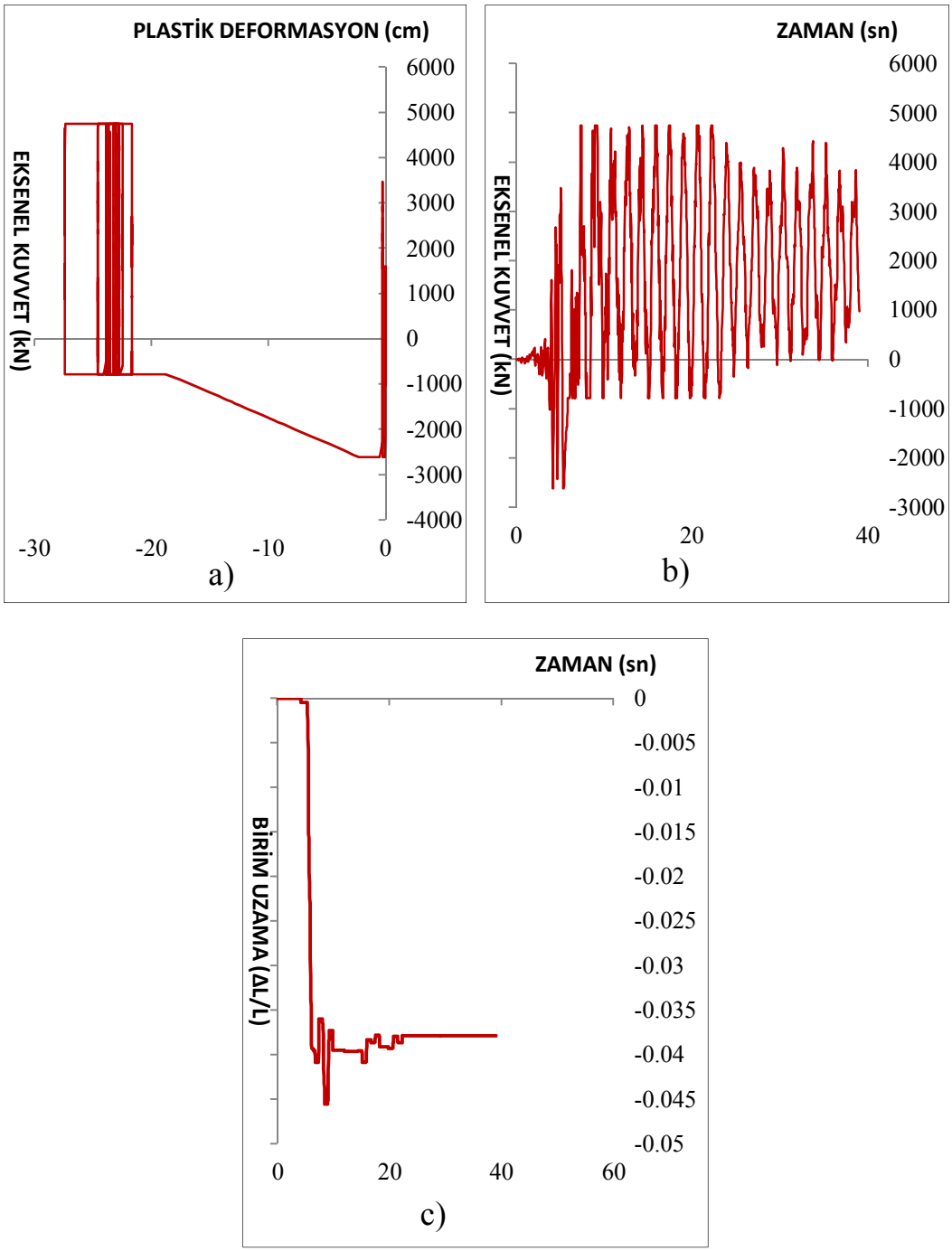
Şekil 4.48: 9 Katlı MÇÇÇ'de KOCAELİ-0.5g depremi için 4 numaralı çaprazda oluşan a) Eksenel kuvvet-Plastik deformasyon, b) Eksenel kuvvet-Zaman grafiği, c) Birim şekildeğiştirme-zaman grafiği.



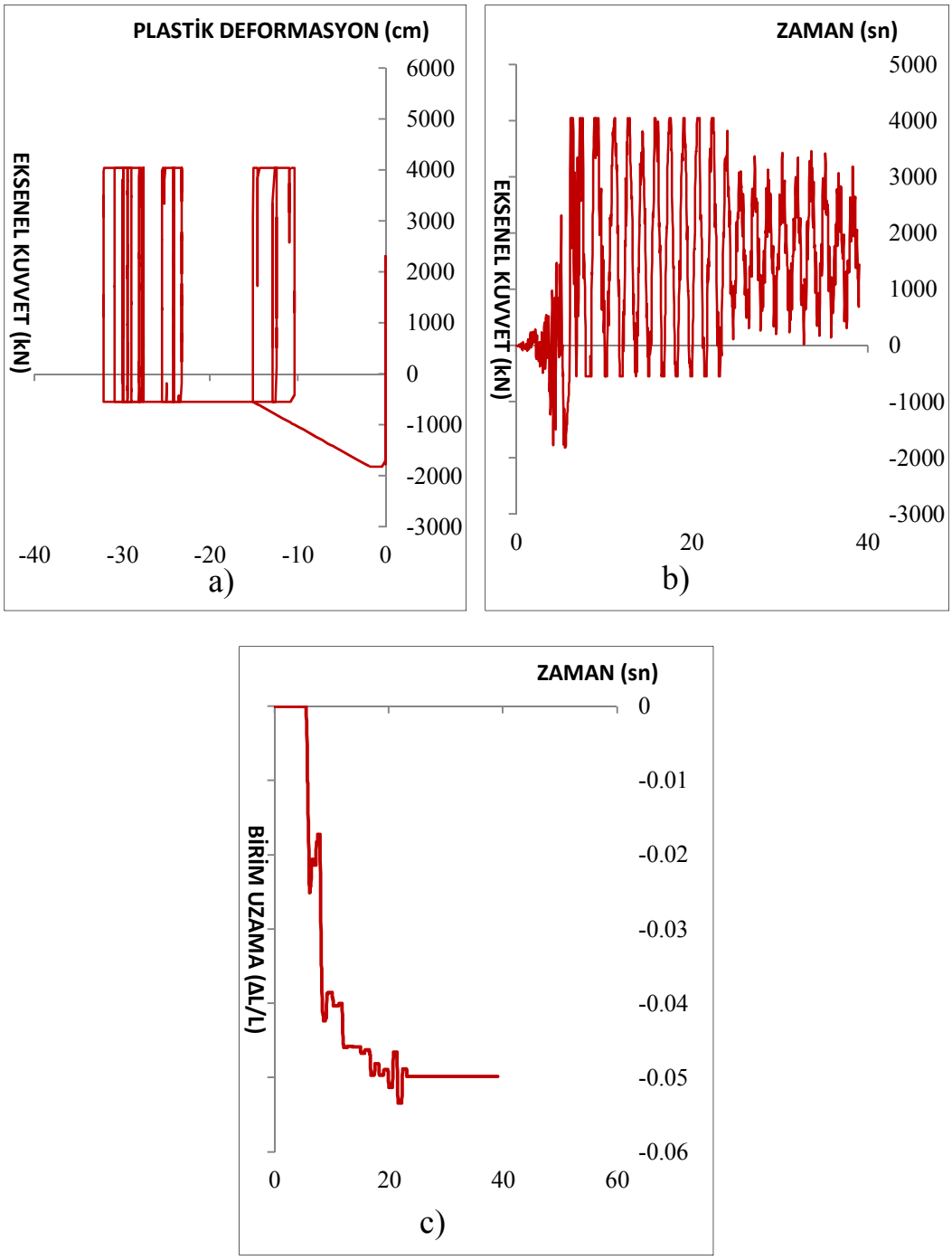
Şekil 4.49: 9 Katlı MÇÇÇ'de KOCAELİ-0.75g depremi için 3 numaralı çaprazda oluşan a) Eksenel kuvvet-Plastik deformasyon, b) Eksenel kuvvet-Zaman grafiği, c) Birim şekildeğiştirme-zaman grafiği.



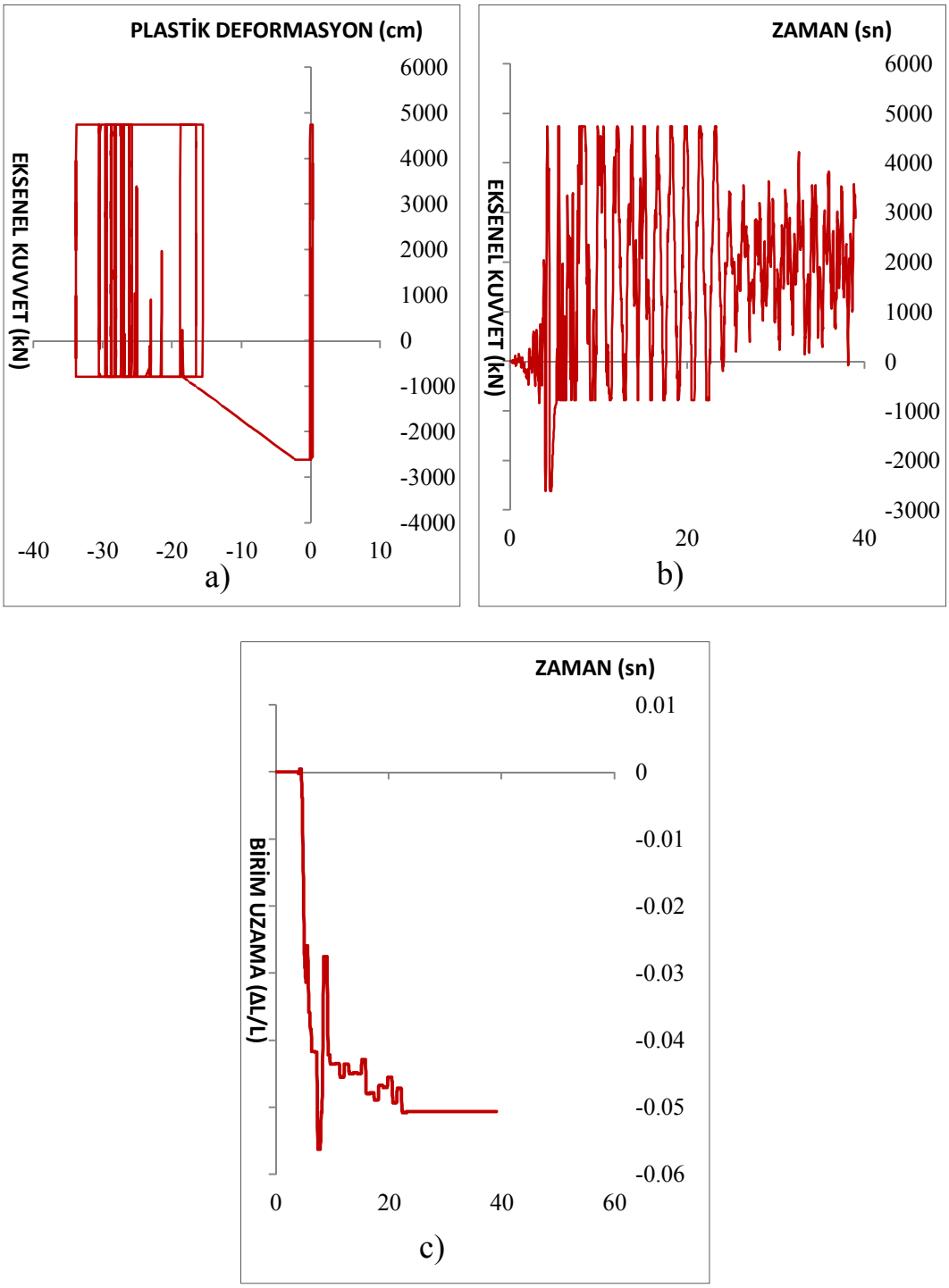
Şekil 4.50: 9 Katlı MÇÇÇ'de KOCAELİ-1g depremi için 3 numaralı çaprazda oluşan a) Eksenel kuvvet-Plastik deformasyon, b) Eksenel kuvvet-Zaman grafiği, c) Birim şekildeğiştirme-zaman grafiği.



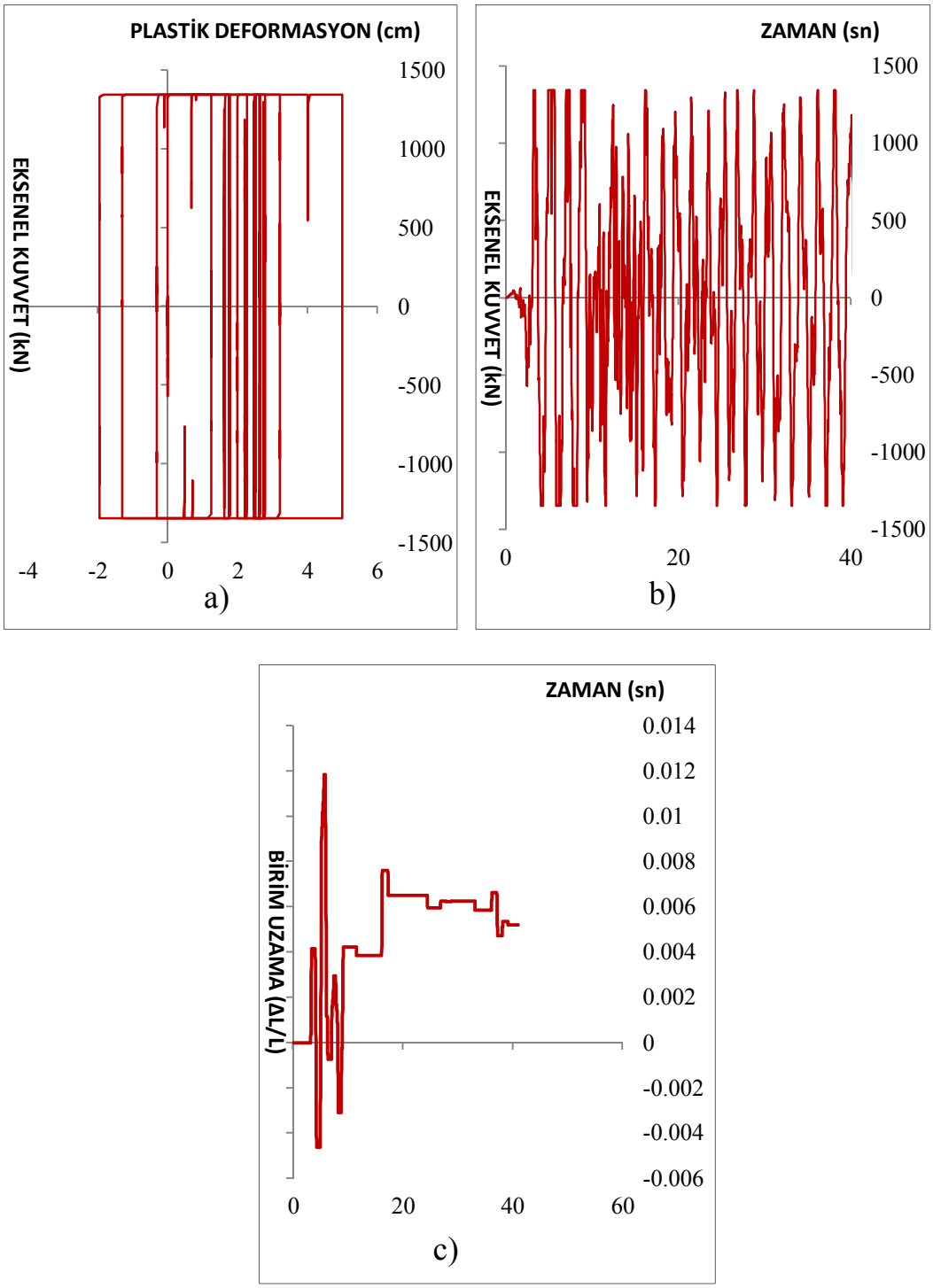
Şekil 4.51: 9 Katlı MÇÇÇ'de NORTHRIDGE-0.5g depremi için 4 numaralı çaprazda oluşan a) Eksenel kuvvet-Plastik deformasyon, b) Eksenel kuvvet-Zaman grafiği, c) Birim şekildeğiştirme-zaman grafiği.



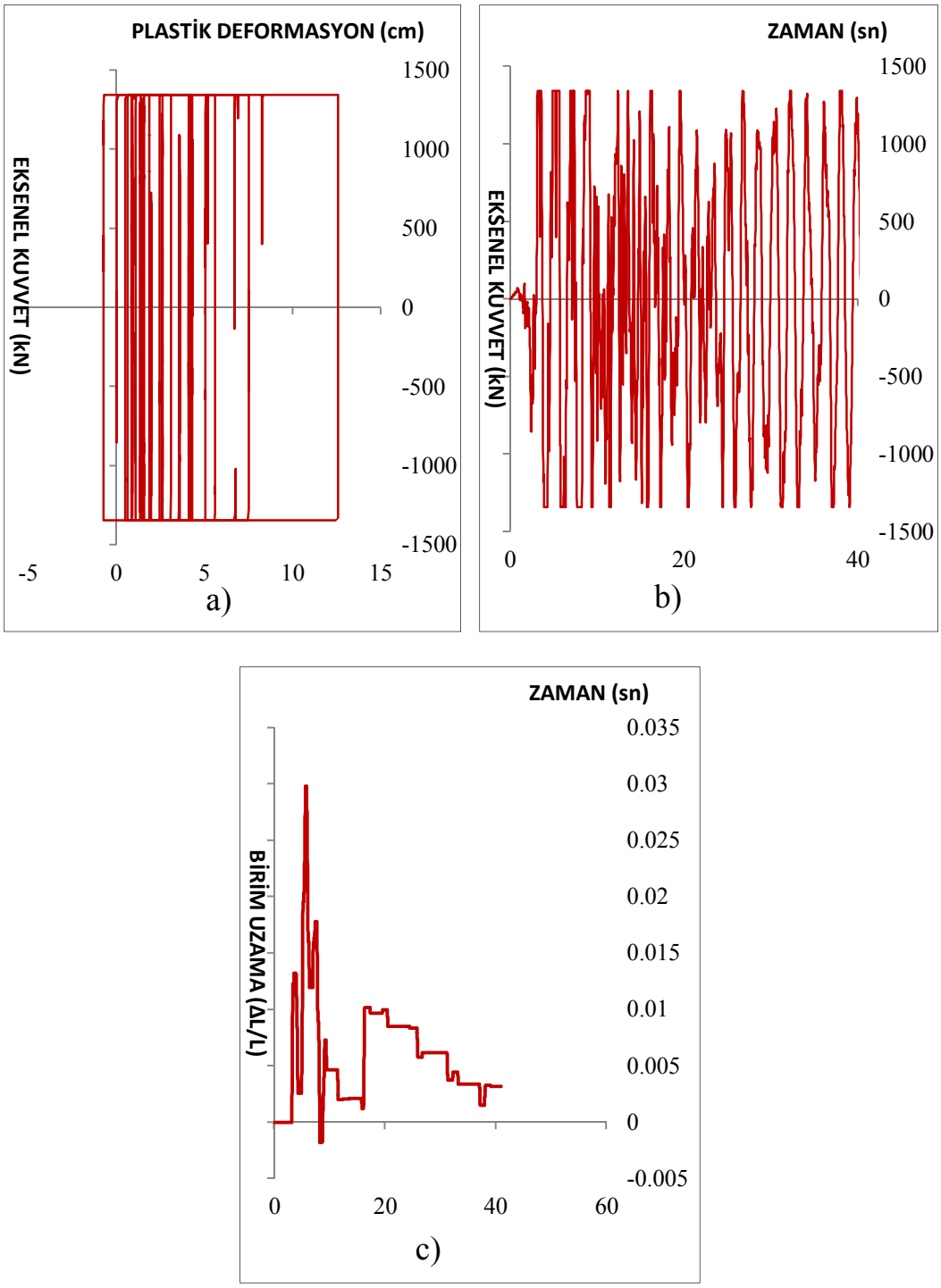
Şekil 4.52: 9 Katlı MÇÇÇ'de NORTHRIDGE-0.75g depremi için 10 numaralı çaprazda oluşan a) Eksenel kuvvet-Plastik deformasyon, b) Eksenel kuvvet-Zaman grafiği, c) Birim şekildeğiştirme-zaman grafiği.



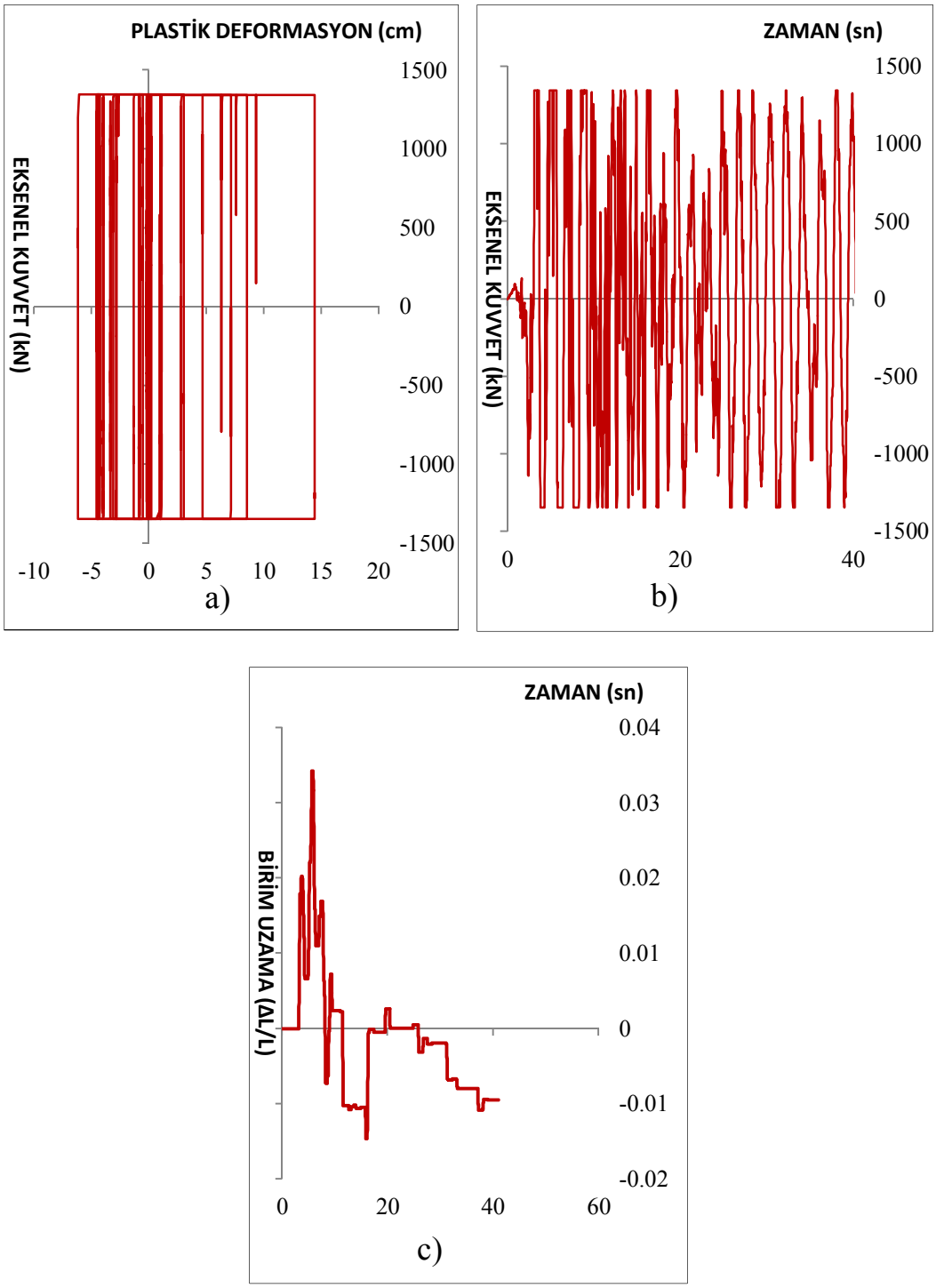
Şekil 4.53: 9 Katlı MÇÇÇ'de NORTHRIDGE-1g depremi için 10 numaralı çaprazda oluşan a) Eksenel kuvvet-Plastik deformasyon, b) Eksenel kuvvet-Zaman grafiği, c) Birim şekildeğiştirme-zaman grafiği.



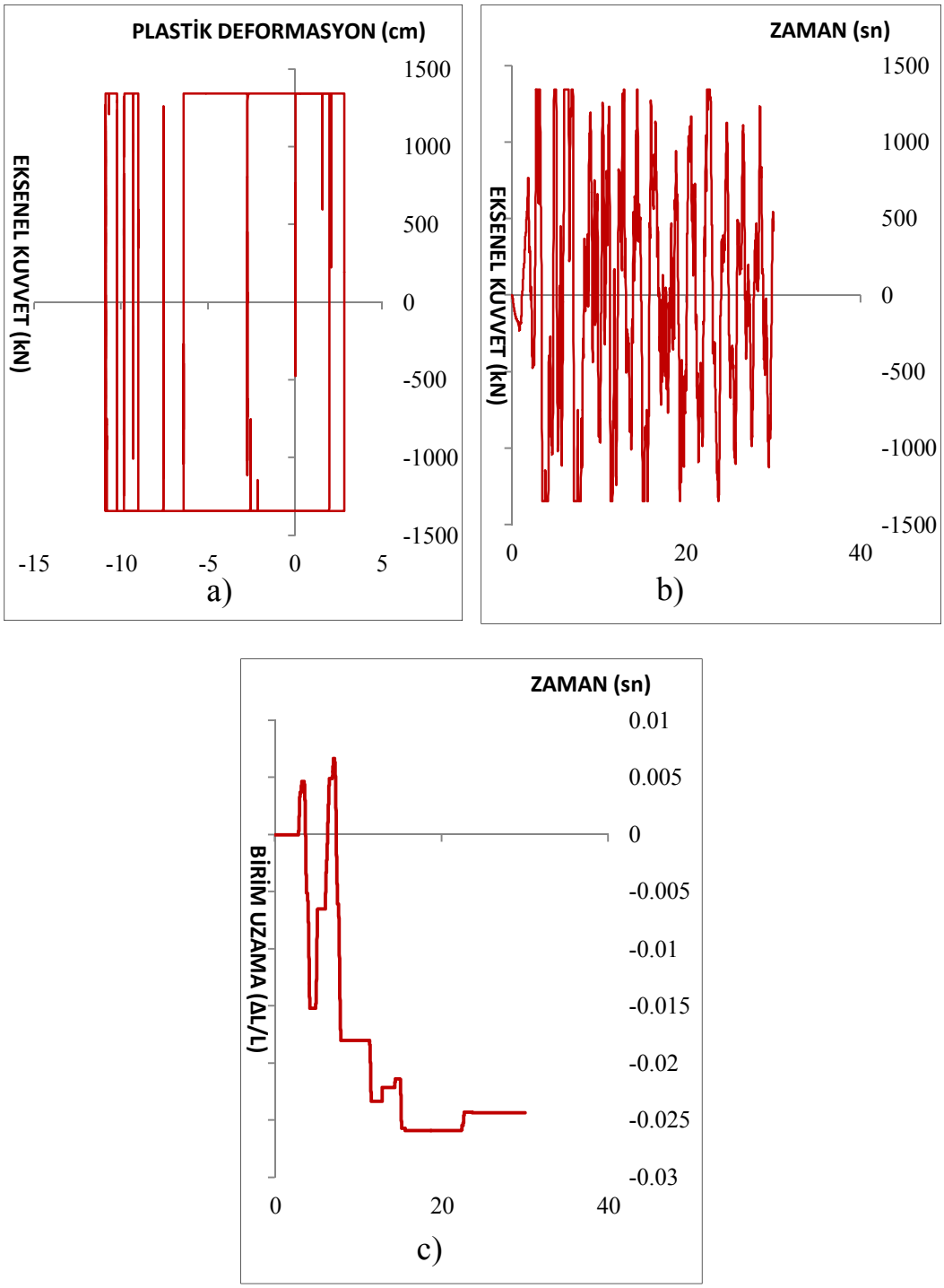
Şekil 4.54: 9 Katlı BÖÇÇÇ'de KOBE-0.5g depremi için 3 numaralı çaprazda oluşan a) Eksenel kuvvet-Plastik deformasyon, b) Eksenel kuvvet-Zaman grafiği, c) Birim şekildeğiştirme-zaman grafiği.



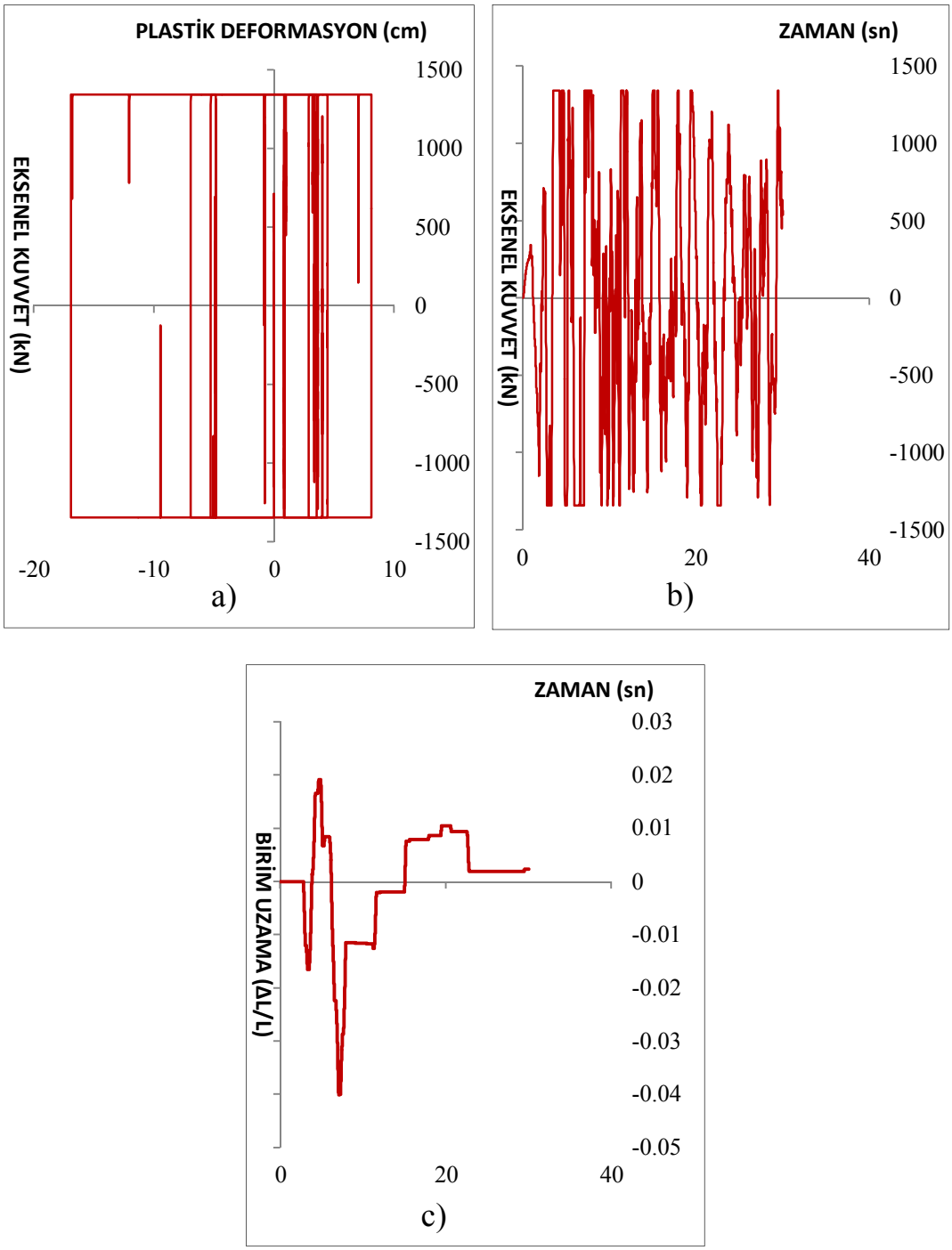
Şekil 4.55: 9 Katlı BÖÇÇÇ'de KOBE-0.75g depremi için 3 numaralı çaprazda oluşan a) Eksenel kuvvet-Plastik deformasyon, b) Eksenel kuvvet-Zaman grafiği, c) Birim şekildeğiştirme-zaman grafiği.



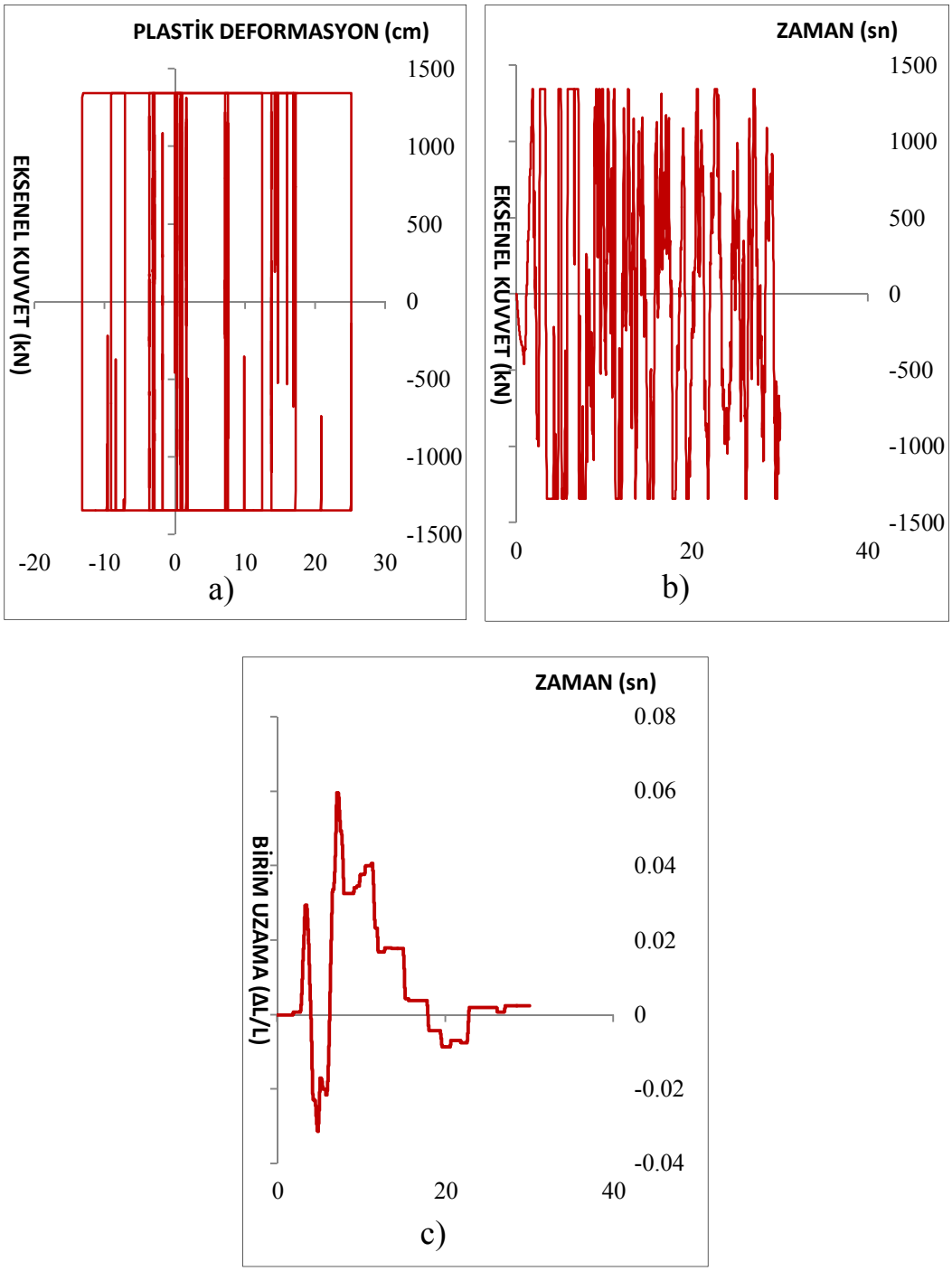
Şekil 4.56: 9 Katlı BÖÇÇÇ'de KOBE-1 g depremi için 3 numaralı çaprazda oluşan a) Eksenel kuvvet-Plastik deformasyon, b) Eksenel kuvvet-Zaman grafiği, c) Birim şekildeğiştirme-zaman grafiği.



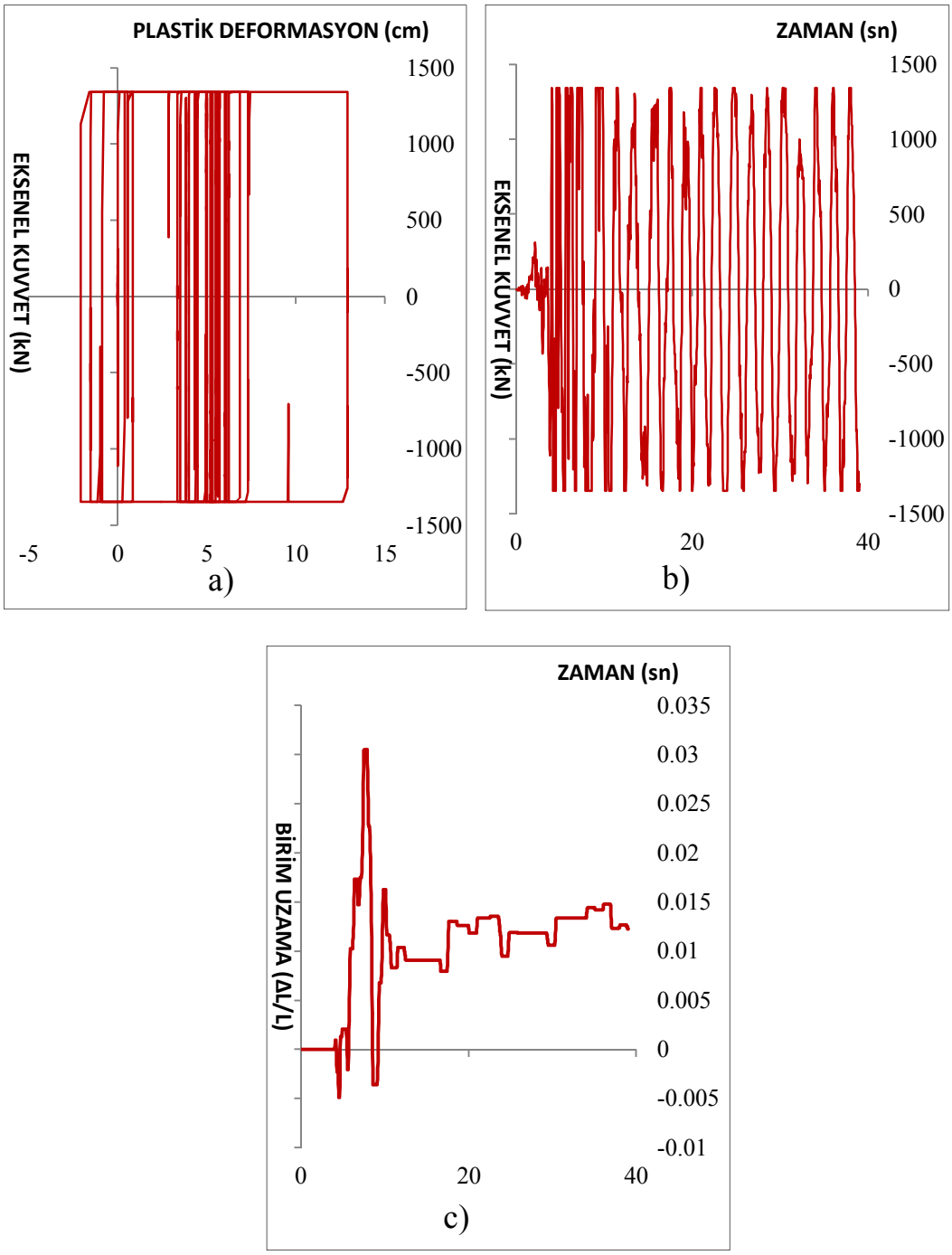
Şekil 4.57: 9 Katlı BÖÇÇÇ'de KOCAELİ-0.5 g depremi için 4 numaralı çaprazda oluşan a) Eksenel kuvvet-Plastik deformasyon, b) Eksenel kuvvet-Zaman grafiği, c) Birim şekildeğiştirme-zaman grafiği.



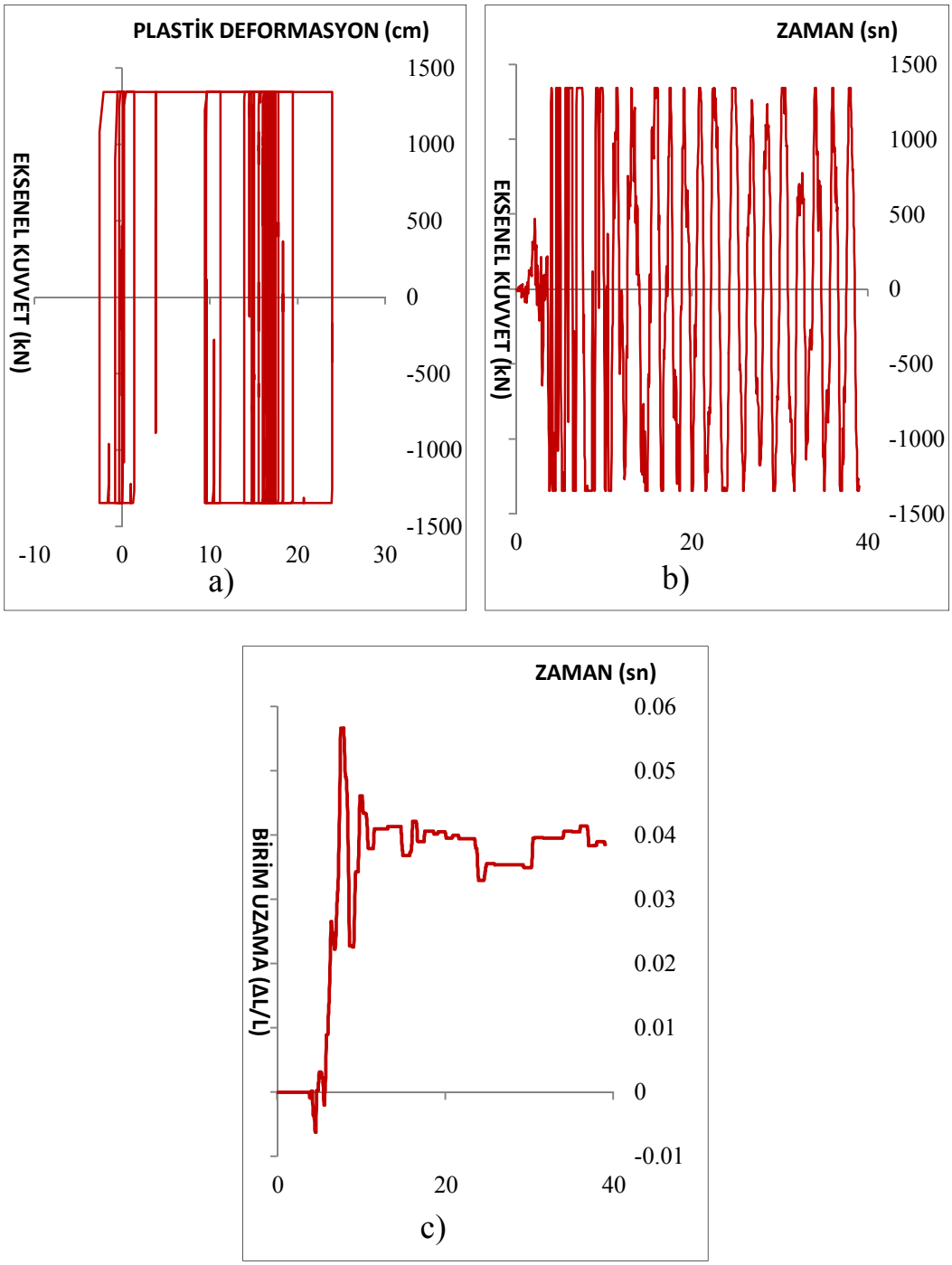
Şekil 4.58: 9 Katlı BÖÇÇÇ'de KOCAELİ-0.75 g depremi için 3 numaralı çaprazda oluşan a) Eksenel kuvvet-Plastik deformasyon, b) Eksenel kuvvet-Zaman grafiği, c) Birim şekildeğiştirme-zaman grafiği.



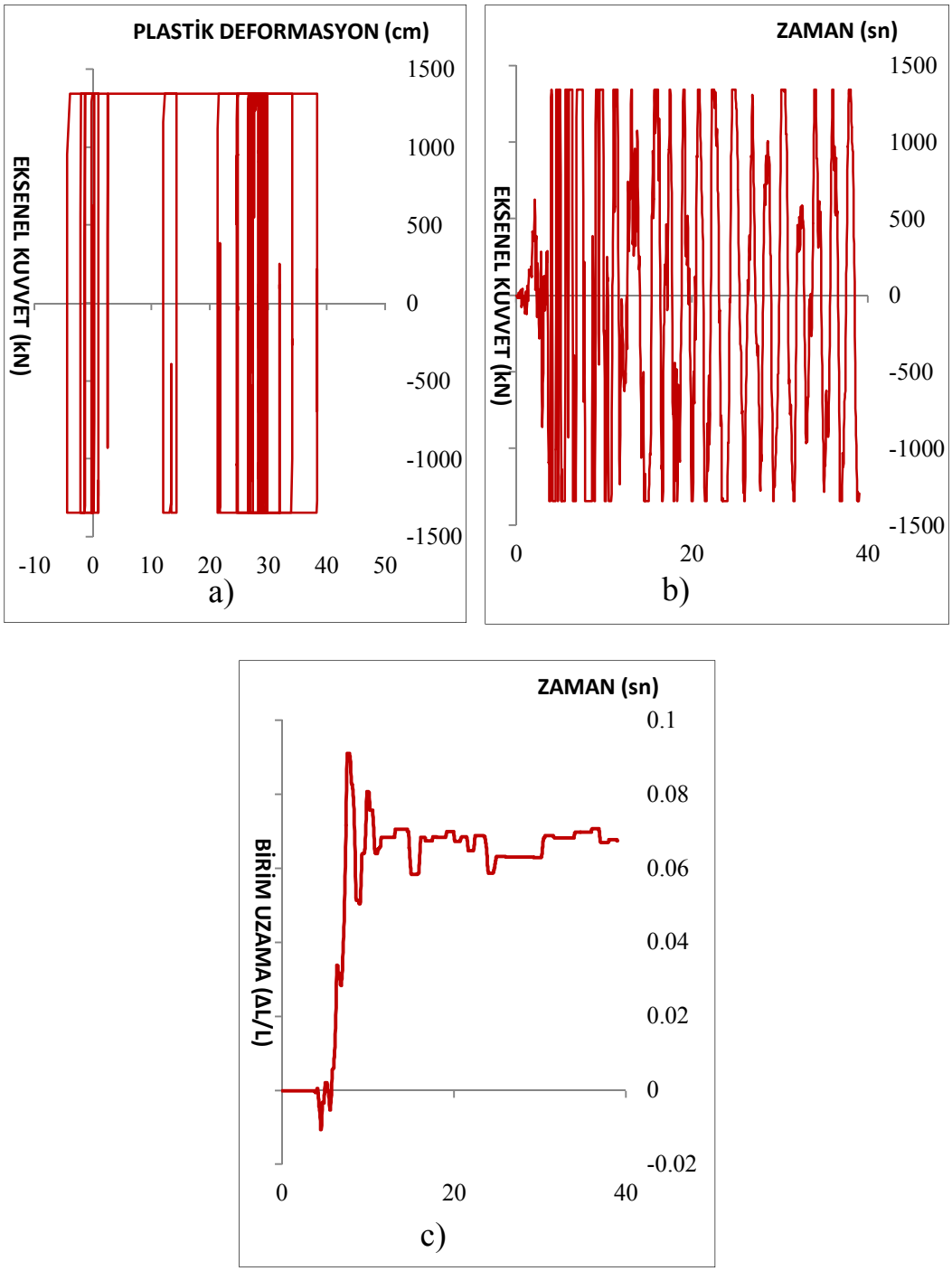
Şekil 4.59: 9 Katlı BÖÇÇÇ'de KOCAELİ-1g depremi için 4 numaralı çaprazda oluşan a) Eksenel kuvvet-Plastik deformasyon, b) Eksenel kuvvet-Zaman grafiği, c) Birim şekildeğiştirme-zaman grafiği.



Şekil 4.60: 9 Katlı BÖÇÇÇ'de NORTHRIDGE-0.5g depremi için 4 numaralı çaprazda oluşan a) Eksenel kuvvet-Plastik deformasyon, b) Eksenel kuvvet-Zaman grafiği, c) Birim şekildeğiştirme-zaman grafiği.



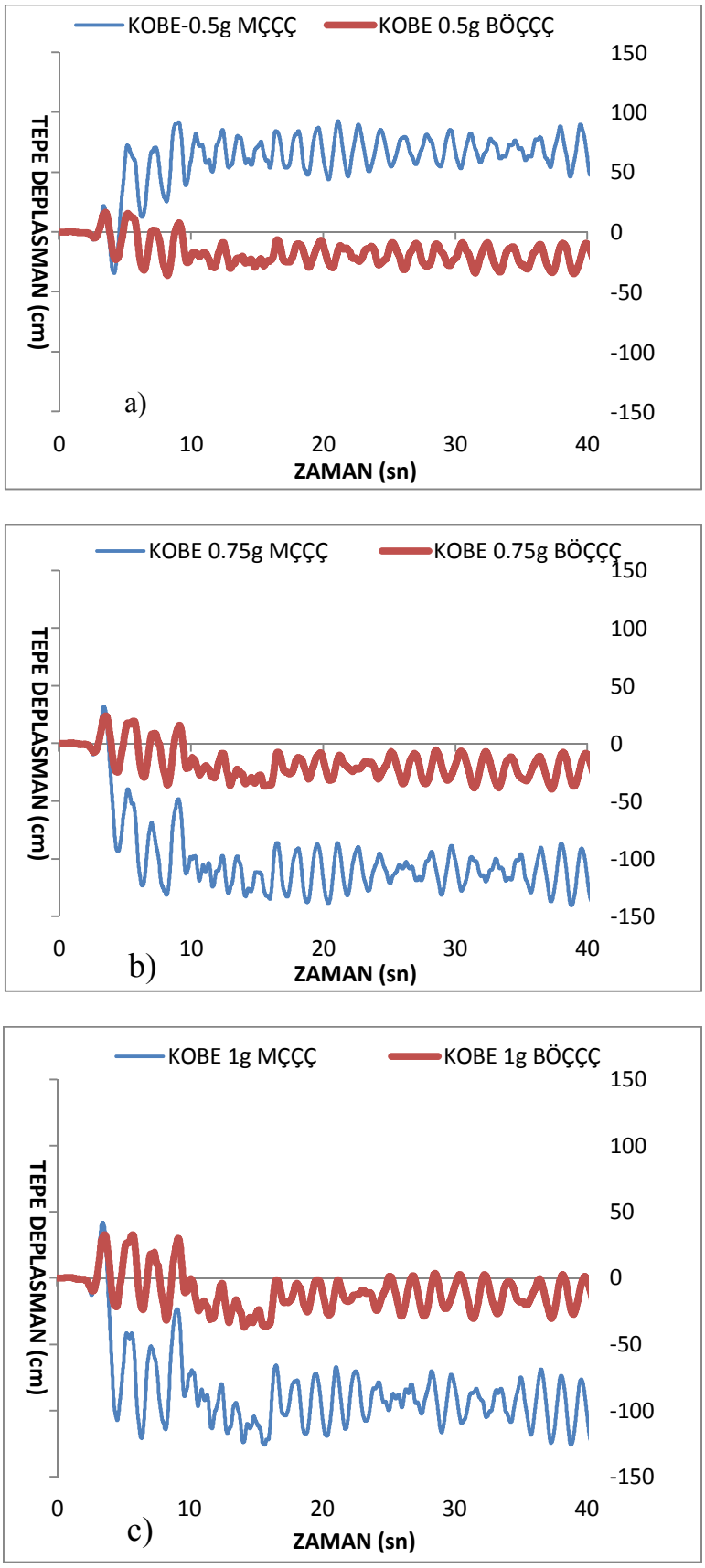
Şekil 4.61: 9 Katlı BÖÇÇÇ'de NORTHRIDGE-0.75g depremi için 4 numaralı çaprazda oluşan a) Eksenel kuvvet-Plastik deformasyon, b) Eksenel kuvvet-Zaman grafiği, c) Birim şekildeğiştirme-zaman grafiği.



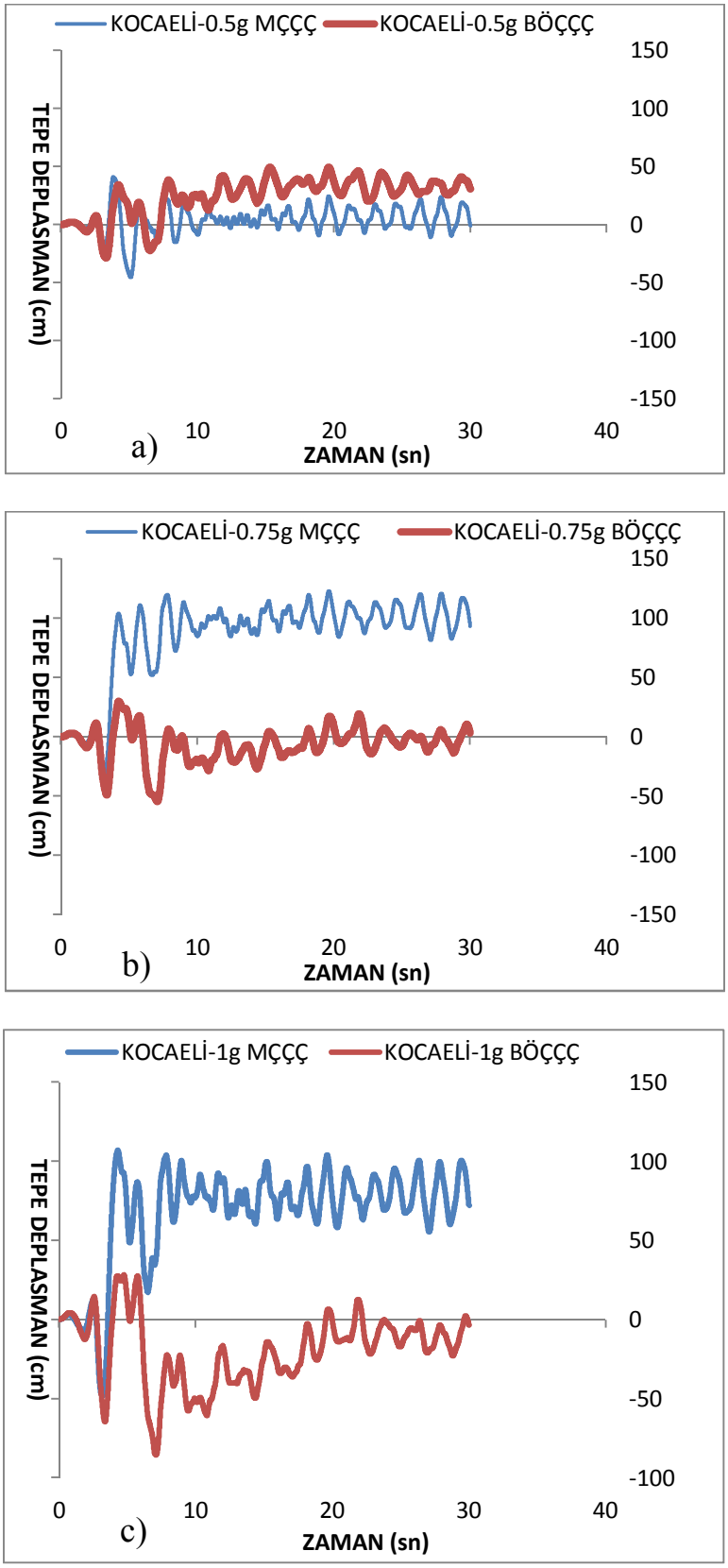
Şekil 4.62: 9 Katlı BÖÇÇÇ'de NORTHRIDGE-1g depremi için 4 numaralı çaprazda oluşan a) Eksenel kuvvet-Plastik deformasyon, b) Eksenel kuvvet-Zaman grafiği, c) Birim şekildeğiştirme-zaman grafiği.

4.7.2.2. Dokuz Katlı Yapılarda Tepe Deplasmanları

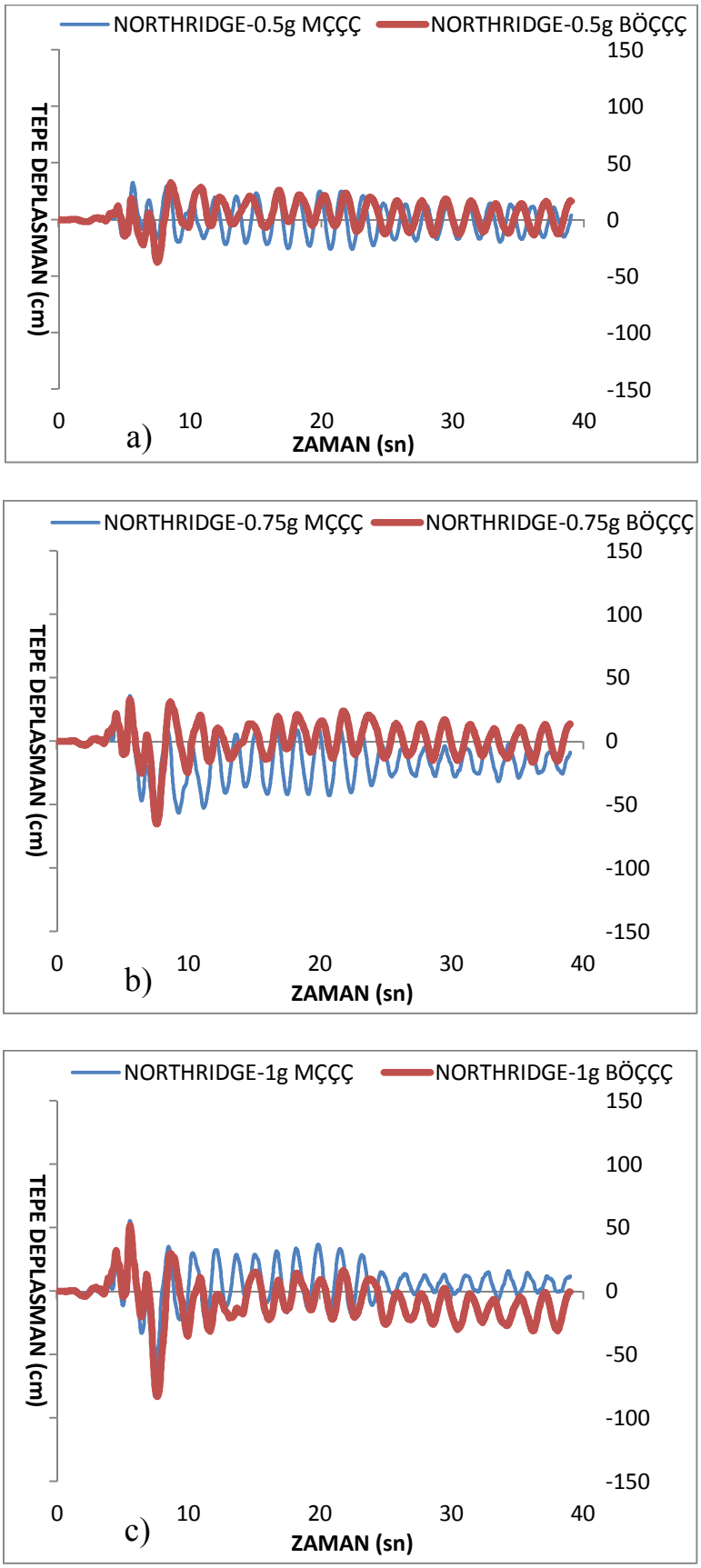
9 katlı MÇÇÇ ve BÖÇÇÇ taşıyıcı sistemlerinden oluşan binalar için karşılaştırmalı tepe deplasman grafikleri çizilmiştir.



Şekil 4.63: 9 Katlı MÇÇÇ ve BÖÇÇÇ'li yapıların Kobe Depremi için a)0.5g Spektral ivme, b)0.75g Spektral ivme, c)1g spektral ivme değerlerine göre ölçeklenmiş deprem kayıtları etkisinde bina tepe deplasmanları karşılaştırılması.



Şekil 4.64: 9 Katlı MÇÇÇ ve BÖÇÇÇ'li yapıların Kocaeli Depremi için a)0.5g Spektral ivme, b)0.75g Spektral ivme, c)1g spektral ivme değerlerine göre ölçeklenmiş deprem kayıtları etkisinde bina tepe deplasmanları karşılaştırılması.



Şekil 4.65: 9 Katlı MÇÇÇ ve BÖÇÇÇ'li yapıların Northridge Depremi için a)0.5g Spektral ivme, b)0.75g Spektral ivme, c)1g spektral ivme değerlerine göre ölçeklenmiş deprem kayıtları etkisinde bina tepe deplasmanları karşılaştırılması.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada geleneksel çaprazlar ve BÖÇ'lerden oluşan MÇÇÇ'lerin deprem etkileri altındaki davranışları incelenmiştir. Bu kapsamda BÖÇ'lü ve geleneksel çaprazlardan oluşan 3 ve 9 katlı dört yapı tasarlanmıştır. Tasarlanan yapılar için zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler yapılmıştır. Söz konusu analizlerde Kobe, Kocaeli ve Northridge depremlerinden elde edilen yer hareketi kayıtları kullanılmıştır. Yer hareketi kayıtları hakim periyottaki spektral ivme değerleri 3 katlı yapılarda sırasıyla 1.0g, 1.5g ve 2.0g, 9 katlı yapılarda sırasıyla 0.5g, 0.75g ve 1.0g'ye karşılık gelecek şekilde ölçeklenmiştir.

Yapılan analizler neticesinde çapraz elemanlarda oluşan eksenel-kuvvet plastik deformasyon, eksenel kuvvet-zaman, birim şekildeğiştirme-zaman ve tepe deplasman-zaman grafikleri çizilmiştir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Geleneksel çaprazlı yapılarda deprem etkisinde çaprazlarda çekme kuvveti etkisinde akmadan önce genellikle basınç kuvveti etkisinde burkulma gözlenmiştir. Aynı çapraz elemanda çekme etkisinde akma görülse bile çaprazlarda burkulmadan dolayı birim şekil değiştirmelerin kalıcı olduğu ve sıfırlanmadığı gözlenmiştir.
- BÖÇ kullanılan yapılarda ise çekme veya basınç kuvveti etkisinde akma görülebilmekte ve birim şekil değiştirmeler hem pozitif hem de negatif olabilmektedir. Böylece her iki yönde görece daha simetrik ve kararlı eksenel kuvvet-plastik deformasyon grafikleri oluşmaktadır.
- 9 katlı yapılarda Kobe Depremi etkisinde geleneksel çapraz kullanılan yapılarda çaprazlardaki burkulmalardan ötürü BÖÇ kullanılan yapılara göre tepe deplasmanlarında ani artışlar gözlenmiştir.
- Deprem etkileri altında geleneksel çaprazlara göre BÖÇ'lerde birim şekil değiştirmeler daha kararlı davranış göstermiştir.
- Geleneksel çaprazların akma dayanımları BÖÇ'lere kıyasla daha fazladır. Diğer bir deyişle BÖÇ'ler daha erken akmaktadırlar. Bu durum BÖÇ'lerin kararlı kuvvet-deformasyon ilişkisinden ve ekonomik tasarım gereği ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışmada 3 ve 9 katlı iki adet ters V tipi merkezi çaprazlı çerçeve kullanılmıştır. Aynı çalışma farklı kat adedi ve farklı çapraz tipleri için yapılabilir.

Bu çalışmada 3 adet deprem kaydı her bir yapı için artımsal olarak ölçeklenerek toplam 36 adet deprem kaydı oluşturulmuştur. Daha fazla deprem kaydı kullanılarak analizler tekrarlanabilir.

KAYNAKLAR

Akbaş B., (2016), "İleri Çelik Yapılar Ders Notları", Gebze Teknik Üniversitesi.

Aksar B., Dogru S., Akbas B., Shen J., Doran B., (2015), "Merkezi Çaprazlı Çerçevelerde Arttırılmış Deprem Etkileri", 6ncı Çelik Yapılar Sempozyumu, 177-185, Eskişehir, Türkiye, 9 Aralık.

Astaneh-Asl A., Goel S., Hanson R. D., (1985), "Cyclic out-of-plane buckling of double angle bracing", ASCE Journal of Structural Engineering, 111(5), 1135–1153.

AISC, (2010), Specification for Structural Steel Buildings, Chicago, IL, American Institute of Steel Construction 360-10.

ASCE, (2010), Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, American Society of Civil Engineering 7-10.

AISC, (2010), Seismic Provisions for Structural Steel Buildings, Chicago, IL, American Institute of Steel Construction 341-10.

Black C., Makris N., Aiken I., (2002), "Component testing, stability analysis and characterization of buckling-restrained Unbonded Braces", Tecnical Report No: 2002/08, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, California, USA.

Celep Z., Kumbasar N., (2004), "Deprem Mühendisliğine Giris ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı", 5. baskı, Beta yayıncılık.

Clark P., Aiken I., Kasai K., Ko E., Kimura I., (1999), "Design Procedures for Buildings Incorporating Hysteretic Damping Devices", Proceedings of the 68th Annual Convention, 355–371, Structural Engineers Association of California, Sacramento, USA, 3 October.

Dicleli M., Mehta A., (2007), "Simulation of inelastik cyclic buckling behavior of steel boxsections", Computers&Structures, 85(7), 331-486.

Kersting R. A., Fahnestock L. A., López W. A., (2015), "Seismic Design of Steel Buckling-Restrained Braced Frames", Technical Report No: NIST GCR 15-917-34, National Institute of Standards and Technology U.S. Department of Commerce, USA.

Lee K., Bruneau M., (2005), "Energy Dissipation of Compression Members in Concentrically Braced Frames Review of Experimental Data", ASCE Journal of Structural Engineering, 131(4), 552-559.

López W. A., Sabelli R., (2004), "Seismic Design of Buckling-Restrained Braced Frames", Tecnical Report No: 2004/07, Structural Steel Educational Council Technical Information And Product Service, USA.

Merrit S., Benzani G., Uang C., (2003), “Subassemblage Testıng of Star Seismic Bucklıng-Restraıned Braces”, Technical Report No: TR-2003/04, Department of Structural Engineering, University of California, USA.

Shen J., Wen R., Akbaş B., (2015), “Mechanisms In Two-Story X-Braced Frames”, Journal of Constructional Steel Research, 106, 258–277.

Shen J., Seker O., Sutchiewcharn N., Akbas B., (2016), “Cyclic Behavior of Buckling-Controlled Braces”, Journal of Constructional Steel Research, 121, 110-125.

Sutcu F., Takeuchi T., Matsui R., (2014), “Seismic retrofit design method for RC buildings using buckling-restrained braces and steel frames”, Journal of Constructional Steel Research, 101, 304-313.

TBDY, (2016), Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği Taslağı.

Tremblay R. (2002), “Inelastic seismic response of steel bracing members.” Journal of Constructional Steel Research, 58, 665–701.

TSE, (1997), Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Türk Standartları Enstitüsü 498.

Uriz P., Mahin S. A., (2008), “Toward Earthquake-Resistant Design of Concentrically Braced Steel-Frame Structures”, Tecnical Report No: 2008/08 Pacific Earthquake Engineering Research Center College of Engineering, University of California, USA.

Uang C. M., Nakashima M., (2003), “Earthquake Engineering Recent Advances and Application”, 1st Edition, CRC Press.

ÖZGEÇMİŞ

Yahya GENÇ 1986 yılında Bayburt'ta doğdu. 2004 yılında başladığı Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünü 2008 yılında tamamlayarak aynı yıl yüksek lisans eğitimine Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Deprem ve Yapı Mühendisliği Programında başladı. 2011 yılından bu yana kurucusu olduğu YSM Proje Taahhüt Ltd. Şti. firmasında proje ve taahhüt alanında çalışmaktadır.