İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BURKULMASI ÖNLENMİŞ ÇAPRAZLI ÇELİK ÇERÇEVELERDE BÜYÜTME KATSAYISININ İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elif Ecem BAŞ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2013

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BURKULMASI ÖNLENMİŞ ÇAPRAZLI ÇELİK ÇERÇEVELERDE BÜYÜTME KATSAYISININ İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elif Ecem BAŞ
(501111081)

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Yard. Doç. Dr. Cüneyt VATANSEVER

HAZİRAN 2013

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501111081 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Elif Ecem BAŞ**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **"BURKULMASI ÖNLENMİŞ ÇAPRAZLI ÇELİK ÇERÇEVELERİN BÜYÜTME KATSAYISININ İNCELENMESİ "** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :	**Yard. Doç. Dr. Cüneyt VATANSEVER** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
Jüri Üyeleri :	**Doç. Dr. Konuralp GİRGİN** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
	Prof. Dr. Gülay ALTAY Boğaziçi Üniversitesi	.....

Teslim Tarihi : **03 Mayıs 2013**
Savunma Tarihi : **07 Haziran 2013**

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmam boyunca bana her konuda yardım eden, bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan danışman hocam Yard. Doç. Dr. Cüneyt VATANSEVER' e teşekkür ederim.

Ayrıca, beni her konuda destekleyen aileme ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Mayıs 2013

Elif Ecem BAŞ

İnşaat Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ……... v
İÇİNDEKİLER……..... vii
KISALTMALAR……... ix
ÇİZELGE LİSTESİ……...xi
ŞEKİL LİSTESİ……xiii
ÖZET…….. xvii
SUMMARY…… xix
1. GİRİŞ…… 1
1.1. Motivasyon……...1
1.2. Amaç…… 2
1.3. Konu ile İlgili Yapılan Önceki Çalışmalar…….. 2
1.4. Kapsam…….4
2. BURKULMASI ÖNLENMİŞ ÇAPRAZLI ÇELİK ÇERÇEVELER…… 7
2.1. Genel Bilgiler……...7
2.2. Burkulması Önlenmiş Çaprazların Enkesit Özellikleri……10
2.3. Burkulması Önlenmiş Çaprazlı Çerçeve Sistemlerin Özellikleri…… 10
2.3.1. V-Çaprazlı ve ters V-çaprazlı çerçeveler…… 10
2.3.2. K-Çaprazlı çerçeveler…… 11
2.3.3. Diyagonal çaprazlı çerçeveler…… 11
2.4. Burkulması Önlenmiş Çaprazların Uç Birleşimleri……12
2.5. Burkulması Önlenmiş Çaprazların Tasarımı……... 12
2.5.1. Tasarım esaslarının temeli…….. 13
2.5.1.1. Çapraz dayanımı…… 13
2.5.2. Analiz……..... 16
2.5.3. Çapraz tasarımı…….....17
2.5.4. Kolon tasarımı……17
2.5.5. Kiriş tasarımı……... 18
3. DOĞRUSAL VE DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZLER İÇİN GENEL BİLGİLER……19
3.1. DBYBHY-2007 Genel İlke ve Kuralları…… 19
3.1.1. Genel ilkeler…… 19
3.1.2. Bina taşıyıcı sistemlerine ilişkin genel ilke ve kurallar…….. 20
3.1.3. Çelik taşıyıcı sistemlerin tasarımına ilişkin genel kurallar…… 20
3.1.4. Deprem yüklerine ilişkin genel kurallar…… 21
3.2. Doğrusal Hesap Yöntemleri……21
3.2.1. Eşdeğer deprem yükü yöntemi……22
3.2.2. Mod birleştirme yöntemi……22
3.2.3. Zaman tanım alanında hesap yöntemi……..... 22
3.3. Doğrusal Olmayan Analiz……23
3.3.1. Doğrusal olmayan statik itme analizi…… 23

4. MODEL YAPILARIN TASARIMI……..... 25
4.1. Yapıların Sistem Özellikleri……... 27
4.2. Yükler…….. 30
4.2.1. Düşey yükler……... 30
4.2.2. Deprem yükleri……31
4.2.2.1. Deprem karakteristikleri…… 31
4.2.2.2. Binaların birinci doğal titreşim periyotlarının belirlenmesi…….. 31
4.2.2.3. Toplam eşdeğer deprem yükü hesabı……..... 34
4.2.2.4. Katlara etkiyen deprem yükünün belirlenmesi……. 35
4.2.3. Rüzgar yükleri…… 38
4.3. Yük Birleşimleri…….. 40
4.4. Sistem Analizleri…… 41
4.4.1. Göreli kat öteleme kontrolü…… 41
4.4.2. İkinci mertebe etkileri…… 46
4.5. Boyutlandırma Hesapları…… 48
4.5.1. AISC 360-10 yönetmeliğine göre boyutlandırma esasları……..... 48
4.5.1.1. Kiriş tasarımı…… 49
4.5.1.2. Kolon tasarımı……54
4.5.2. Burkulması önlenmiş çaprazlı çerçevelerin boyutlandırma hesapları.... 60
4.5.2.1. Burkulması önlenmiş çapraz tasarımı…….....61
4.5.2.2. Burkulması önlenmiş çaprazlı çerçevelerde kolon tasarımı…..… 65
4.5.2.3. Burkulması önlenmiş çaprazlı çerçevelerde kiriş tasarımı…..... 68
4.6. Taşıyıcı Sistem Enkesit Profilleri…… 69
5. YAPILARIN DOĞRUSAL OLMAYAN STATİK İTME ANALİZİ…..... 85
5.1. Yapı Elemanlarının OpenSEES'de Modellenmesi…….. 88
5.1.1. Burkulması önlenmiş çapraz modeli……... 89
5.1.2. Kiriş ve kolon modeli……..91
5.1.3. Fiktif eleman modeli……... 91
5.1.4. Doğrusal olmayan analizde kullanılacak düşey yükler……... 92
5.1.5. Doğrusal olmayan statik itme analizi için gerekli yatay yük dağılımları……... 93
5.2. Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi Sonuçları……..…….93
5.2.1. y – Doğrultusu çerçevesi için doğrusal olmayan statik itme analizi sonuçları……..... 93
5.2.2. x – doğrultusu çerçevesi için doğrusal olmayan statik itme analizi sonuçları ……..... 96
5.3. Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması…….. 98
5.3.1. Sistemlerin büyütme katsayılarının (Ω) karşılaştırılması……99
5.3.2. Sistemlerin taşıyıcı sistem davranış katsayılarının (R) karşılaştırılması……... 101
5.3.3. Kolonların eksenel kuvvetlerinin karşılaştırılması……..103
5.3.4. BÖÇ kuvvet-yerdeğiştirme eğrileri……108
6. SONUÇLAR…… 113
KAYNAKLAR……... 115
EKLER……... 117
ÖZGEÇMİŞ……... 147

KISALTMALAR

AISC **:** American Institute of Steel Construction
ASCE **:**American Society of Civil Engineers
ATC **:**Applied Technology Council
BÖÇ **:** Burkulması Önlenmiş Çapraz
DBYBHY **:** Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelik
FEMA **:** Federal Emergency Management Agency
OpenSEES **:** Open System for Earthquake Engineering Simulation

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Alan esaslı ve dayanım esaslı yaklaşımlardaki değişkenliklerin özeti…..15
Çizelge 3.1 : AISC 341-10'da belirtilen tasarım katsayıları……... 21
Çizelge 3.2 : Eşdeğer deprem yükünün uygulanabileceği binalar…….. 22
Çizelge 4.1 : 4 Katlı yapının kat ağırlıkları ve kat kütleleri…… 32
Çizelge 4.2 : 4 Katlı yapının fiktif yüklerden dolayı oluşan kat yerdeğiştirmeleri (x- doğrultusu)……... 33
Çizelge 4.3 : 4 Katlı Yapının fiktif yüklerden dolayı oluşan kat yerdeğiştirmeleri (y-doğrultusu)…… 33
Çizelge 4.4 : 4 Katlı yapıda katlara etkiyen deprem yükleri……...36
Çizelge 4.5 : 6 Katlı yapıda katlara etkiyen deprem yükleri……...36
Çizelge 4.6 : 8 Katlı yapıda katlara etkiyen deprem yükleri……...37
Çizelge 4.7 : 10 Katlı yapıda katlara etkiyen deprem yükleri……37
Çizelge 4.8 : 4 Katlı yapı x ve y doğrultusunda katlara etkiyen rüzgar yükü…. 38
Çizelge 4.9 : 6 Katlı yapı x ve y doğrultusunda katlara etkiyen rüzgar yükü……... 39
Çizelge 4.10 : 8 Katlı yapı x ve y doğrultusunda katlara etkiyen rüzgar yükü……... 39
Çizelge 4.11 : 10 Katlı yapı x ve y doğrultusunda katlara etkiyen rüzgar Yükü……...39
Çizelge 4.12 : 4 Katlı yapının x- doğrultusunda göreli kat ötelemelerinin kontrolü……..42
Çizelge 4.13 : 4 Katlı yapının y- doğrultusunda göreli kat ötelemelerinin kontrolü……..42
Çizelge 4.14 : 6 katlı yapının x - doğrultusunda göreli kat ötelemelerinin Kontrolü……43
Çizelge 4.15 : 6 Katlı yapının y - doğrultusunda göreli kat ötelemelerinin kontrolü……..43
Çizelge 4.16 : 8 Katlı yapının x - doğrultusunda göreli kat ötelemelerinin kontrolü……..44
Çizelge 4.17 : 8 Katlı yapının y - doğrultusunda göreli kat ötelemelerinin kontrolü…… 44
Çizelge 4.18 : 10 Katlı yapının x - doğrultusunda göreli kat ötelemelerinin kontrolü…… 45
Çizelge 4.19 : 10 Katlı yapının y - doğrultusunda göreli kat ötelemelerinin kontrolü…..45
Çizelge 4. 20 : 4 Katlı yapı taşıyıcı sistem elemanları enkesit profilleri……... 70
Çizelge 4. 21 : 6 Katlı yapı taşıyıcı sistem elemanları enkesit profilleri……... 73
Çizelge 4. 22 : 8 Katlı yapı taşıyıcı sistem elemanları enkesit profilleri……... 76
Çizelge 4. 23 : 10 Katlı yapı taşıyıcı sistem elemanları enkesit profilleri……. 79

Çizelge 5.1 **:** OpenSEES'de tanımlanacak 4 katlı y-doğrultusu çerçevesi için esas alınacak (G+0.3Q) düşey yükler…… 92
Çizelge 5.2 **:** 4,6,8 ve 10 Katlı yapılarda, x ve y doğrultuları için belirlenen taşıyıcı sistem davranış katsayıları ve ilgili bileşenler……..102

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Tipik BÖÇ eleman detayı (AISC 341-10)…….. 8
Şekil 2.2 : Tipik basınç çubuğu ve BÖÇ, eksenel kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi (AISC 341-10)…… 9
Şekil 2.3 : Farklı BÖÇ enkesitleri (Chritopulos,2005)…… 10
Şekil 2.4 : (a)Diagonal çapraz düzeni (b) V-Çaprazları ve ters V- çaprazların birlikte kullanımı (c) Ters V-çapraz düzeni (d) V-Çapraz düzeni (Asgarian,2009)…….. 11
Şekil 2.5 : (a)Bulonlu birleşim (b)Mafsallı birleşim (Sabelli, 2004)…….. 12
Şekil 2.6 : Çaprazın kuvvet – yerdeğiştirme ilişkisi (AISC341-10)…… 16
Şekil 3.1 : Doğrusal olmayan statik itme analizi sonucu elde edilen kuvvet – yerdeğiştirme eğrisi……..……... 24
Şekil 4.1 : 4,6,8,10 Katlı binaların planları……..26
Şekil 4.2 : 4 Katlı yapının çaprazsız düzenlenmiş modelinin 3 boyutlu görünümü……28
Şekil 4.3 : 4 Katlı yapının çaprazlı düzenlenmiş modelinin 3 boyutlı görünümü……28
Şekil 4.4 : 4 Katlı yapı XZ düzlemi tipik sistem enkesiti(A Aksı Çerçevesi)…. 29
Şekil 4.5 : 4 Katlı yapı YZ düzlemi tipik sistem enkesiti(1 Aksı çerçevesi)….. 29
Şekil 4.6 : 4 Katlı yapı 1. kat planı ve hesapları yapılacak kirişler……..50
Şekil 4.7 : 4 Katlı yapı B aksı çerçevesi…….. 54
Şekil 4.8 : Kolon iç kuvvetleri……55
Şekil 4.9 : 4 Katlı yapı A çerçevesi 2-3 aksı enkesiti…….. 62
Şekil 4.10 : XZ Düzlemi çaprazlı çerçeveler……66
Şekil 4.11 : Tasarımda 4 katlı yapı için esas alınan serbest cisim diyagramları (a) Çekme durumu (b) Basınç durumu……... 68
Şekil 4.12 : 4 Katlı yapı XZ düzlemi tipik enkesiti (A Aksı Çerçevesi) …….. 71
Şekil 4.13 : 4 Katlı yapı XZ düzlemi tipik enkesiti (B Aksı Çerçevesi)……71
Şekil 4.14 : 4 Katlı yapı YZ düzlemi tipik enkesiti (1 Aksı Çerçevesi)…… 72
Şekil 4.15 : 4 Katlı yapı YZ düzlemi tipik enkesiti (2 Aksı Çerçevesi)…… 72
Şekil 4.16 : 6 Katlı yapı XZ düzlemi tipik enkesiti (A Aksı Çerçevesi)……... 74
Şekil 4.17 : 6 Katlı yapı XZ düzlemi tipik enkesiti (B Aksı Çerçevesi)……74
Şekil 4.18 : 6 Katlı yapı YZ düzlemi tipik enkesiti (1 Aksı Çerçevesi)…… 75
Şekil 4.19 : 6 Katlı yapı YZ düzlemi tipik enkesiti (2 Aksı Çerçevesi)…… 75
Şekil 4.20 : 8 Katlı yapı XZ düzlemi tipik enkesiti (A Aksı Çerçevesi)……... 77
Şekil 4.21 : 8 Katlı yapı XZ düzlemi tipik enkesiti (B Aksı Çerçevesi)……77
Şekil 4.22 : 8 Katlı yapı YZ düzlemi tipik enkesiti (1 Aksı Çerçevesi)…… 78
Şekil 4.23 : 8 Katlı yapı YZ düzlemi tipik enkesiti (2 Aksı Çerçevesi)…… 78
Şekil 4.24 : 10 Katlı yapı XZ düzlemi tipik enkesiti (A Aksı Çerçevesi)……. 80
Şekil 4.25 : 10 Katlı yapı XZ düzlemi tipik enkesiti (B Aksı Çerçevesi)……..81
Şekil 4.26 : 10 Katlı yapı YZ düzlemi tipik enkesiti (1 Aksı Çerçevesi)…….. 82
Şekil 4.27 : 10 Katlı yapı YZ düzlemi tipik enkesiti (2 Aksı Çerçevesi)…….. 83

Şekil 5.1 : Sistem planında y – doğrultusu için göz önüne alınan çerçevenin gösterimi ve çerçevenin etkili alanı……...86
Şekil 5.2 : 1 Çerçevesi (YZ Düzlemi) OpenSEES modeli gösterimi…….. 86
Şekil 5.3 : Sistem planında x – doğrultusu için göz önüne alınan çerçevenin gösterimi ve çerçevenin etkili alanı…… 87
Şekil 5.4 : A Çerçevesi (XZ Düzlemi) OpenSEES modeli gösterimi……..... 87
Şekil 5.5 : OpenSEES genel eksen takımı……... 88
Şekil 5.6 : OpenSEES Steel02 malzemesi gerilme – şekil değiştirme grafiği….90
Şekil 5.7 : Burkulması önlenmiş çaprazın tekrarlı tersinir yükleme altındaki davranışını elde etmek için hazırlanan modelin şematik gösterimi…90
Şekil 5.8 : Modellenen çaprazın tekrarlı tersinir yükleme altındaki kuvvet – yerdeğiştirme grafiği…….. 91
Şekil 5.9 : 4 Katlı yapı y-doğrultusu statik itme eğrisi…… 94
Şekil 5.10 : 6 Katlı yapı y – doğrultusu statik itme eğrisi…… 94
Şekil 5.11 : 8 Katlı yapı y – doğrultusu statik itme eğrisi…… 95
Şekil 5.12 : 10 Katlı yapı y – doğrultusu statik itme eğrisi……... 95
Şekil 5.13 : 4 Katlı yapı x – doğrultusu statik itme eğrisi…… 96
Şekil 5.14 : 6 Katlı yapı x – doğrultusu statik itme eğrisi…… 96
Şekil 5.15 : 8 Katlı yapı x – doğrultusu statik itme eğrisi…… 97
Şekil 5.16 : 10 Katlı yapı x – doğrultusu statik itme eğrisi……97
Şekil 5.17 : 4,6,8 ve 10 Katlı yapıların y-doğrultusu için karşılaştırmalı kapasite eğrileri…….98
Şekil 5.18 : 4,6,8 ve 10 Katlı yapıların x-doğrultusu için karşılaştırmalı kapasite eğrileri…….....98
Şekil 5.19 : 4,6,8 ve 10 katlı yapıların büyütme katsayıları karşılaştırması…….. 101
Şekil 5.20 : 4,6,8 ve 10 katlı yapıların taşıyıcı sistem davranış katsayılarının karşılaştırması…..... 103
Şekil 5.21 : 4 Katlı yapı P_u/P_{cr} oranları……..…... 104
Şekil 5.22 : 4 Katlı yapı P_u/Poranları……..….. 104
Şekil 5.23 : 6 Katlı yapı P_u/P_{cr} oranları……..... 105
Şekil 5.24 : 6 Katlı yapı P_u/Poranları……...…..... 105
Şekil 5.25 : 8 Katlı yapı P_u/P_{cr} oranları……..… 106
Şekil 5.26 : 8 Katlı yapı P_u/P oranları……...……. 106
Şekil 5.27 : 10 Katlı yapı P_u/P_{cr} oranları……..... 107
Şekil 5.28 : 10 Katlı yapı P_u/P oranları…….. 107
Şekil 5.29 : Uygulanan yük yönüne bağlı olarak çaprazlardaki eksenel kuvvet durumunun şematik gösterimi…… 108
Şekil 5.30 : 4 Katlı yapı y – doğrultusu çaprazları P-δ eğrileri (çekme çaprazları)……..... 109
Şekil 5.31 : 4 Katlı yapı y – doğrultusu çaprazları P-δ eğrileri (basınç çaprazları)……...110
Şekil 5.32 : 4 Katlı yapı x – doğrultusu çaprazları P-δ eğrileri (çekme çaprazları)…….. 111
Şekil 5.33 : 4 Katlı yapı x – doğrultusu çaprazları P-δ eğrileri (basınç çaprazları)……...112
Şekil A.1 : 6 Katlı yapı y – doğrultusu çaprazları P-δ eğrileri (çekme çaprazları)…….. 118
Şekil A.2 : 6 Katlı yapı y – doğrultusu çaprazları P-δ eğrileri (basınç çaprazları)…….. 120

Şekil A.3 : 6 Katlı yapı x – doğrultusu çaprazları P-δ eğrileri (çekme çaprazları)…….. 122
Şekil A.4 : 6 Katlı yapı x – doğrultusu çaprazları P-δ eğrileri (basınç çaprazları)……...124
Şekil A.5 : 8 Katlı yapı y – doğrultusu çaprazları P-δ eğrileri (çekme çaprazları)…….. 126
Şekil A.6 : 8 Katlı yapı y – doğrultusu çaprazları P-δ eğrileri (basınç çaprazları)……...128
Şekil A.7 : 8 Katlı yapı x – doğrultusu çaprazları P-δ eğrileri (çekme çaprazları)……..... 130
Şekil A.8 : 8 Katlı yapı x – doğrultusu çaprazları P-δ eğrileri (basınç çaprazları)……...132
Şekil A.9 : 10 Katlı yapı y – doğrultusu çaprazları P-δ eğrileri (çekme çaprazları)…….. 134
Şekil A.10 : 10 Katlı yapı y – doğrultusu çaprazları P-δ eğrileri (basınç çaprazları)……...137
Şekil A.11 : 10 Katlı yapı x – doğrultusu çaprazları P-δ eğrileri (çekme çaprazları)…….. 140
Şekil A.12 : 10 Katlı yapı x – doğrultusu çaprazları P-δ eğrileri (basınç çaprazları)……...143

BURKULMASI ÖNLENMİŞ ÇAPRAZLI ÇELİK ÇERÇEVELERDE BÜYÜTME KATSAYISININ İNCELENMESİ

ÖZET

Deprem bölgelerinde, güçlü yatay yük taşıyıcı sistemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Çelik yapılarda güçlü bu tür sistemler elde etmek için yaygın olarak çaprazlı çerçeveler tercih edilmektedir. Çaprazlı sistemler, özellikle deprem bölgelerinde, enerjinin büyük bir kısmını yutarak yatay yüklere karşı etkili bir yapı sistemi oluşturmaktadır. Bu çalışmada, dünya genelinde de çaprazlı sistem olarak yaygın bir biçimde kullanılan burkulması önlenmiş çaprazlı çelik çerçevelerin büyütme katsayısı incelenmiştir.

Burkulması önlenmiş çaprazlar, çekme ve basınç etkisi altında yaklaşık olarak aynı davranışı gösteren, bu nedenle sisteme önemli ölçüde enerji sönümleme özelliği kazandıran yapı elemanlarıdır. Yüksek lisans tezi olarak hazırlanan bu çalışmanın amacı, farklı yüksekliklere sahip burkulması önlenmiş çaprazlı çelik çerçeveli sistemlerin, büyütme katsayısının incelenmesidir. Bu amaçla, 4,6,8 ve 10 katlı, deprem yükü taşıyıcı sistemi her iki doğrultuda burkulması önlenmiş çaprazlı çelik çerçevelerden oluşan model yapılar tasarlanarak burkulması önlenmiş çaprazlı çelik çerçevelerden oluşan model yapılar tasarlanarak doğrusal olmayan statik itme analizleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma altı ana bölümden oluşmaktadır.

İlk bölümde, tez çalışmasına esas olan konu tartışılarak, çalışmanın kapsamı ve amacı belirtilmiştir. Ayrıca konu ile ilgili mevcut çalışmalar özetlenmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümde, burkulması önlenmiş çaprazların tanımı yapılarak, diğer çaprazlı sistemlere göre avantajları belirtilmiştir. Bununla birlikte, burkulması önlenmiş çaprazın analizi ve modellenmesi ile ilgili bilgiler ve American Institute of Steel Construction (AISC) 341-10, AISC Tasarım Klavuzu'na (Seismic Design Manual) göre burkulması önlenmiş çubukların hesap esasları da bu bölümde yer almaktadır.

Üçüncü bölümde, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY)-2007 esas alınarak hesaplarda kullanılan doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemleri ile ilgili bilgiler verilmiştir. Ayrıca, doğrusal olmayan statik itme analizi sonucunda yük – yerdeğiştirme eğrileri kullanılarak büyütme katsayısının tanımı da bu bölümde yer almaktadır.

Dördüncü bölümde, çalışmada kullanılacak olan 4,6,8 ve 10 katlı yapıların sistem geometrileri ve yapıların taşıyıcı sistemleri tanımlanmıştır. Bu yapıların DBYBHY-2007 esaslarınca belirlenen deprem yükleri ve sistem analizleri, AISC 360-10 yönetmeliği uyarınca boyutlandırılan taşıyıcı sistem enkesitleri de bu bölümde yer almaktadır. Ayrıca AISC 341-10 yönetmeliğine göre tasarlanan burkulması önlenmiş çaprazların dayanımlarının, çaprazlı çerçevelerin yapısal elemanlarını ne şekilde etkilediğinden de bu bölümde söz edilmektedir.

Beşinci bölüm, dördüncü bölümde tasarımı yapılmış sistemlerin iki boyutlu doğrusal olmayan analitik modellerinin Open System for Earthquake Engineering Simulation

(OpenSEES) programı yardımıyla hazırlanmasını ve doğrusal olmayan statik itme analizini kapsamaktadır.

Son bölümde ise, yapılan hesaplar kısaca özetlenerek, sonuçlar mevcut yönetmeliklerde verilen değerlerle karşılaştırılmıştır.

INVESTIGATION OF THE OVERSTRENGTH FACTOR OF BUCKLING-RESTRAINED BRACED STEEL FRAMES

SUMMARY

Strong lateral load carrying systems are required in the seismic zones. Braced frames are widely used to obtain such systems in steel structures. Especially in seismic zones, braced frames are effective against lateral loads by absorbing the significant portion of the energy. In this study, the buckling-restrained braced steel frames, which are used worldwide, and their overstrength factors were investigated.

Concentrically braced frames are widely used in steel structures as lateral load carrying system. However, this type of braces' behavior in nonlinear range of deformation is not symmetric in tension and compression so that they have low ductility properties. Because of those disadvantages in ordinary steel braces, structural engineers and earthquake engineers have developed a brace system, which is a special form of ordinary braces, called buckling-restrained braces. The main idea of buckling restrained braces is restraining steel braces' buckling, and create a system which reach yield in tension and compression.

Buckling Restrained Brace (BRB) shows approximately the same behavior under the effect of tension and compression, therefore, the system saves significant energy damping by using that structural element.

Buckling-restrained braced frames are invented in Japan in the early eighties. Since that time the researches and developments were continued and the first buckling-restrained braced frame building was build in Japan in 1987. Afterwards, this technology was arrived in USA in 1998. In the following years, some experimental studies were made and the first buckling – restrained braced frame building was built in 2000. Such systems are considered new in Europe and Turkey, but there are some example buildings too.

The aim of this study, which was prepared as a master thesis, is to analyze and design the buckling-restrained braced steel frame systems which have different heights and investigate their overstrength factors. For this purpose, 4,6,8 and 10 storey model buildings, which has buckling-restrained braced steel frames as lateral load carrier systems in both directions, were designed and their pushover analysis were performed.

4, 6, 8 and 10 storey model steel buildings have buckling – restrained braced frame systems in both directions and diagonally configuration were selected. The buildings first storey height is 4 meters and the following levels are 3 meters. The buildings have proper geometry in the plan, consists 5 bays in x-direction and 4 bays in y-direction with diffrent bay lengths. The columns have hinged connection with foundation. In this study, braces were designed to carry all lateral load, so that beam-column connections and brace connections are also assumed to be pinned at both ends.

In this study, SAP2000 computer software was used for steel structure's design. SAP2000 is a structural analysis program which has advanced analytical techniques. However, for pushover analysis Open System for Earthquake Engineering Simulation (OpenSEES) computer software was preferred. Because, OpenSEES is an open source software program and has advanced capabilities for modeling and analyzing the nonlinear response of systems with using the wide range of material models, elements and solution of algorithms.

In this study, Turkish Earthquake Design Code were used for the earthquake load calculation and the main analyze controls. However, this code is not included buckling-restrained braced frames. So that, required parameters were provided from American Institute of Steel Construction (AISC 341-10).

The pushover analysis is a static non-linear analysis under permanent gravity loads and gradually increasing lateral loads. Pushover analysis is used for verifying the structural performance of the existing or newly designed buildings. From the pushover analysis results, the overstrength factors, ductility ratios, response modification factors can be obtained. Also, expected plastic mechanism or the distribution of damage can be estimated.

For the investigation of the overstrength factor of buckling restrained braced frames, an analytical study was performed. The scope of the study is given below.

In the first section, the main subject of the thesis is defined, and the scope and purpose of the study indicated. Moreover, existing studies on the subject is summarized.

In the second part of this study, buckling-restrained braced frames are defined, also these systems are compared with the other braced frames and their advantages are mentioned. In addition to this, the information about buckling-restrained braces' modeling and analysis, also the design criteria of buckling-restrained braced frames' with respect through American Institute of Steel Construction (AISC) 341-10 and AISC Seismic Design Manual is also mentioned in this part.

In the third section, the information about linear and non-linear analyses method according to the Turkish Seismic Code is provided. Moreover, obtaining the overstrength factor and response modification factor by using the pushover curve is also determined in this section of the thesis.

In the forth section, the system geometries and their structural systems of 4, 6, 8 and 10-storey buildings, which will be used in this study, are defined. The earthquake force and system analyses of these structures according to the Turkish Seismic Code and the structural elements which are designed according to the AISC 360-10, are also included in this section. Moreover, the buckling restrained brace design according to the AISC 341-10 and how the buckling restrained braces' strengths effect the other structural elements is also mentioned in this section.

Fifth section includes preparing of two – dimensional analytic models of the structural system, which are designed in the forth section, in Open System for Earthquake Engineering Simulation (OpenSEES) and their pushover analysis. In this section, the comparison of the analysis results are included. Also, the design considerations' reality was used while designing the model structures were controlled by comparing the pushover analysis results with design loads.

In the last section, the calculations have been briefly summarized and the results are compared with the current regulations. Moreover, the recommendations for the future researches are mentioned in this section.

1. GİRİŞ

1.1. Motivasyon

Deprem bölgelerindeki çelik yapılarda, güçlü yatay yük taşıyıcı sistemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik-2007 ilkelerine göre depreme dayanıklı tasarımın ana ilkesi, hafif şiddetteki depremlerde binalardaki yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarının herhangi bir hasar görmemesi, orta şiddetteki depremlerde yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda oluşabilecek hasarların sınırlı ve onarılabilir düzeyde kalması, şiddetli depremlerde ise can güvenliğinin sağlanması amacıyla kalıcı yapısal hasar oluşumunun sınırlandırılmasıdır. Çelik yapılarda, deprem yükü ya da rüzgar yükü gibi yatay yüklere dayanım için kullanılan en yaygın yöntem çaprazlı sistemlerdir(Eşsiz,2005).

Mevcut deprem yönetmeliğimizde, çelik yapıların yatay yük taşıyıcı sistemlerinin; sadece çelik çerçevelerden, sadece merkezi veya dışmerkez çelik çaprazlı perdelerden veya çerçevelerin, çelik çaprazlı perdeler ya da betonarme perdelerle birleşiminden oluşabileceği belirtilmektedir.

Merkezi çelik çaprazlı çerçeveler ülkemizde ve dünya genelinde en çok kullanılan çerçeve sistemleri arasındadır. Ancak bu tip çaprazların, çekme ve basınç durumunda simetrik olmayan çevrimsel eğrileri, ve tekrarlı yükleme etkisinde burkulma nedeniyle güç tükenmesine maruz kalmaları gelişen teknolojiyle birlikte yeni bir sistemin oluşmasına neden olmuştur. Son yıllarda, çaprazlı sistemlerde bu tip eksikliklerin giderilmesi amacı ile burkulması önlenmiş çaprazlar merkezi çelik çaprazların özel durumu olarak yapı ve deprem mühendisleri tarafından geliştirilmiştir (Sabelli ve Lopez,2004).

Burkulması önlenmiş çaprazların en temel özellikleri, burkulmanın önlenmesi sayesinde, çekme ve basınç durumunda çaprazlarda simetrik çevrimsel bir eğri olması ve bu nedenle sünek davranış sergileyerek yüksek enerji yutma kapasitesine sahip olmasıdır.

Yapılarda sünek davranışın sağlanması, depreme dayanıklı yapı tasarımında önemli bir ölçüt olarak göz önüne alınmaktadır. DBYBHY-2007'de de süneklik kavramına oldukça geniş bir biçimde yer verilmiştir. Çünkü sünek davranış sayesinde, yapıya aktarılan deprem enerjisinin önemli bir kısmı tüketilmektedir. Ancak, süneklik düzeyi diğer çaprazlı sistemlerle karşılaştırıldığında daha fazla olan burkulması önlenmiş çaprazlı çerçeveler, henüz mevcut yönetmeliğimizde yer almamaktadır. Ancak gelecekte, sağladığı avantajlar nedeniyle alternatif bir sistem olarak kullanılabileceği düşünülmektedir.

1.2. Amaç

Bu çalışmanın amacı, burkulması önlenmiş çaprazlı çelik çerçevelerde büyütme katsayısının incelenmesidir. Bu amaç doğrultusunda öncelikle 4,6,8 ve 10 katlı model çelik yapıların tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu analizlerde kullanılacak deprem yükü ve sistem analizleri ülkemizde kullanılan DBYBHY-2007'ye uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Mevcut deprem yönetmeliğimizde bulunmayan burkulması önlenmiş çaprazlı sistemlerin tasarım esasları, yurtdışında kullanılan ilgili yönetmeliklerden alınıp, ülkemiz deprem yönetmeliğine uygun olarak kullanılmıştır.

Boyutlandırılan her sistemin iki boyutlu doğrusal olmayan modelleri oluşturularak, doğrusal olmayan statik itme analizi sonucunda yük-yerdeğiştirme eğrileri elde edilmiştir. Farklı yüksekliklere sahip bu yapıların doğrusal olmayan statik itme analizleri sonucunda elde edilen bulgulara değinilerek gerekli karşılaştırmalar yapılmıştır.

1.3. Konu ile İlgili Yapılan Önceki Çalışmalar

Deprem yükü gibi, tersinir yatay yükler altında çaprazlarda burkulma meydana gelmesi, yapı mühendislerini basınç kuvveti altında burkulmayan ve düzgün histeretik davranışa sahip yapı sistemlerinin geliştirilmesine yönlendirmiştir.

Burkulması önlenmiş çaprazlarla ilgili olarak ilk deneysel çalışma 1971 yılında Japonya'da Yashino ve Karino tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, iki adet beton ile kaplanmış çelik plakalardan oluşan numuneler incelenmiştir ve çelik ile beton kısım arasındaki aderansı engellenmiş bu numunelere çevrimsel yük

uygulanmıştır. Burada çelik ile beton arasındaki aderansın önlenmesinin nedeni, eksenel yükün yalnızca çelik plaka tarafından alınmasını sağlamaktır, beton örtü basınç kuvveti altında çeliğin burkulmasını önlemek içindir.

Wakavayashi ve diğ. (1973), burkulması önlenmiş çaprazlar ve bu çaprazlardaki çelik ve beton arasındaki aderansın önlenmesi ile ilgili çeşitli deneyler gerçekleştirmişlerdir. Bu deneylerde, çapraz çelik düz bir plaka betonarme bir panel arasına yerleştirilerek, "Sandviç Model" oluşturulmuştur. Bu gerçekleştirilen deneylerde, çelik plakadaki basınç dayanımının çekme dayanımından büyük olduğu durumu elde edilmiştir.

Japonya'da yaygın olarak kullanılan burkulması önlenmiş çaprazlı çerçevelerin araştırma ve geliştirmesi 1980'lerin başlarında Prof. Wada'nın gerçekleştirdiği, Nippon Çelik Şirketi tarafından desteklenen narin basınç elemanlarının burkulmadan dolayı göçmesinin önlenmesi üzerine yaptığı çalışmalarla başlamıştır (Hussain ve diğ.,2005). Japonya'daki ilk uygulama ise 1987 yılında yapılmıştır. ABD'de ise 2000'lerin başından itibaren kullanılmaya başlanmıştır ve o tarihten itibaren burkulması önlenmiş çaprazlara olan ilgi hızla artmıştır. Bu konuyla ilgili gerek deneysel gerek analitik birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen bu deney sonuçlarından yararlanarak burkulması önlenmiş çelik çaprazların tasarımına yönelik American Instute of Steel Construction (AISC) tarafından yönetmelikler oluşturulmuştur.

Fujimato ve diğ. (1988), çelik çekirdek kısmının farklı harçlarla ve farklı mantolama ile çevrildiği çaprazların deneysel çalışmalarını yapmışlardır. Deneyler için farklı farklı manolama tekniklerinin tasarımında, her biri için değişen dayanım ve rijitlik kriterleri geliştirmişlerdir. Bu şekilde farklı BÖÇ enkesitleri üzerine çalışan bir grup araştırmacı da, Nagao ve Takahashi (1990), I – enkesitli bir çelik ile betonarmeyi birlikte kullanarak deneysel incelemelerde bulunmuşlardır.

Farnestock ve diğ.(2003), burkulması önlenmiş çaprazların sismik performansları ile ilgili analiz çalışmaları yapmışlardır. Sabelli ve diğ. burkulması önlenmiş çaprazlı sistemlerin analizi üzerinde çalışmış ve boyutlandırma ile ilgili bilgilerin yer aldığı makaleler yayınlamışlardır.

Asgarian ve diğ. (2009), burkulması önlenmiş çaprazların taşıyıcı sistem davranış katsayıları ve büyütme katsayıları ile ilgili bir çalışma gerçekleştirmiştir.

Çalışmalarında, farklı kat yüksekliklerindeki binaların, farklı çapraz düzenlemelerine göre tasarlayarak doğrusal ve doğrusal olmayan analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Gerçekleştirdikleri bu analiz sonucunda, çapraz tipinin yapının davranışı üzerindeki etkilerinin nasıl değiştiğini gözlemlemişlerdir.

Prinz ve diğ. (2012) , burkulması önlenmiş çaprazlı sistemleri dışmerkezli olarak düzenleyerek, hazırladığı modelleri OpenSEES programında modelleyip, sismik performanslarını incelemiştir. Bu çalışmada, burkulması önlenmiş dışmerkezli çaprazların, normal dışmerkezli çaprazlara göre ekonomik ve sismik performans bakımından daha avantajlı olduğu görülmüştür.

Burkulması önlenmiş çaprazlı çerçevelerin birleşimleri ile ilgili yapılan ilk çalışma da Tremblay ve diğ. (1999) tarafından gerçekleştirilmiştir. Mevcut bir yapının doğrusal olmayan dinamik analizleri yanı sıra deneysel olarak da incelemelerde bulunmuşlardır. Ayrıca 2004 yılında yaptıkları bir çalışma ile çaprazın çekirdek rijitliğini arttırma için çekirdeğin uzunluğunu kısaltmayı deneysel olarak incelemişlerdir.

Türkiye'de İstanbul Teknik Üniversitesi Teknopark binasında burkulması önlenmiş çaprazlar kullanılmıştır. Bunun yanında köprülerde burkulması önlenmiş çapraz kullanımı üzerine Çelik ve Bruneau analitik olarak çalışmışlar, aynı zamanda Karataş ve Çelik'in (2009), burkulması önlenmiş çaprazların tasarım ve kuralları üzerine çalışmaları bulunmaktadır.

1.4. Kapsam

Birinci bölümde, ele alınan konuya değinilerek, çalışmanın amacı ve kapsamı açıklanmıştır. Konu ile ilgili bugüne kadar yapılmış olan deneysel ve kuramsal çalışmalardan söz edilmiştir.

İkinci bölümde burkulması önlenmiş çaprazların (BÖÇ) tanımı yapılarak, diğer çaprazlı sistemlere göre avantajları belirtilmiştir. AISC 341-10 ve AISC Tasarım Kılavuzu'nda yer alan tasarım esasları ve çaprazların modellenmesi ile ilgili bilgiler de bu bölümde yer almaktadır.

Üçüncü bölümde, DBYBHY-2007 (Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik-2007)'ye göre doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri için verilen genel ilke ve kurallar yer almaktadır. Ayrıca doğrusal

olmayan statik itme analizi sonucunda yük – yerdeğiştirme eğrileri kullanılarak büyütme katsayısının nasıl tanımlandığı ile ilgili bilgiler de bu bölümde yer almaktadır.

Dördüncü bölümde, çalışma için hazırlanmış 4,6,8,10 katlı yapıların geometrik özellikleri, taşıyıcı sistem özellikleri, yapıya etkiyen yükler ve deprem karakteristikleri yer almaktadır. SAP2000 bilgisayar programı yardımıyla, AISC 360-10 yönetmeliğindeki esaslar göz önünde tutularak yapısal elemanları boyutlandırılan sistemlerin enkesitleri de bu bölümde verilmiştir. Aynı zamanda burkulması önlenmiş çaprazlara özel dayanım hesapları da bu bölümde incelenmiştir.

Beşinci bölümde, dördüncü bölümde tasarımı yapılan sistemlerin iki boyutlu doğrusal olmayan modellerinin OpenSEES (Open System for Earthquake Engineering Simulation) programıyla hazırlanması ve doğrusal olmayan statik itme analizi sonucunda yük – yerdeğiştirme eğrilerinin elde edilmesi yer almaktadır.

Son bölümde, yapılan hesaplar kısaca özetlenerek, büyütme katsayıları, her bir sistem için hesaplanan elastik deprem yükleri, tasarım taban kesme kuvvetleri ve OpenSEES analizleri sonucunda elde edilen yatay yük taşıma kapasiteleri dikkate alınarak değerlendirilmiştir.

2. BURKULMASI ÖNLENMİŞ ÇAPRAZLI ÇERÇEVELER

2.1. Genel Bilgiler

Çelik yapılarda, deprem ve rüzgar kuvvetleri gibi yatay yükler altında binaların yatay yerdeğiştirmelerini sınırlandırmak için çaprazlar kullanılmaktadır. Bu sayede en az miktarda ilave malzemeyle, yatay yüklere karşı rijit bir yapı elde edilebilmektedir.(Eşsiz,2005). Ancak, tersinir yük etkisi altındaki çaprazlarda meydana gelen büyük basınç kuvvetleri, burkulma meydana getirmektedir. Bu nedenle çaprazlar, basınç ve çekme etkisi altında simetrik olmayan bir davranış göstermekte ve genellikle basınç kuvveti altında güç tükenmesi göstermektedir.

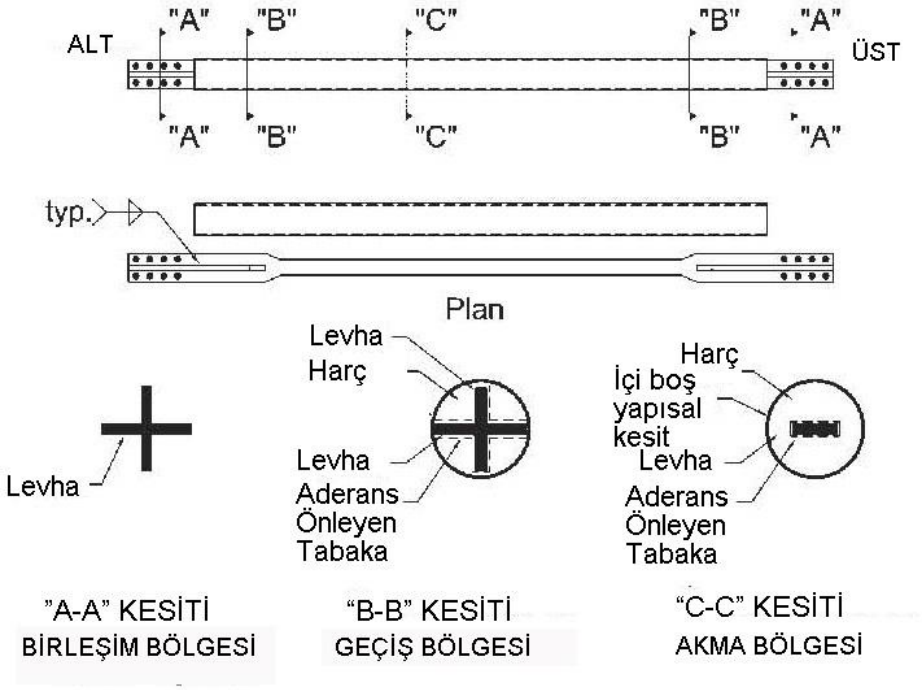
Burkulması Önlenmiş Çaprazlı (BÖÇ) Çelik Çerçeveler, ülkemizde de yaygın bir biçimde kullanılan merkezi çelik çaprazlı perdelerin olarak tanımlanmış olan taşıyıcı sistem türünün özel bir hali olarak tanımlanabilir. Ancak burkulması önlenmiş çapraz elemanları, geleneksel merkezi çelik çaprazlardan ayıran en önemli özelliği çekme ve basınç durumunda aynı özelliği göstermesidir (Zona ve diğ. 2011).

Burkulması önlenmiş çaprazların temel felsefesi, mevcut çelik çaprazın burkulmasını önlemek, aynı zamanda burkulmayı önleyici malzeme ile çelik arasında aderansı da önleyerek, çaprazda meydana gelecek çekme ve basınç durumlarında çelik çekirdeğin etkili olmasını sağlamaktır. Böylece çaprazın basınç kuvveti altında burkulması önlenmiş olup, çeliğin stabilite sorunundan değil, akma gerilmesine ulaşarak güç tükenmesine ulaşması sağlanmış olur (Fahnestock ve diğ., 2010). Sonuç olarak oluşturulan çapraz sisteminde, çekme ve basınç etkileri altında akma gerilmesine ulaşılarak güç tükenmesinin meydana gelmesi istenmektedir.

Burkulması önlenmiş çaprazları oluşturan üç temel öğe mevcuttur. Bunlardan ilki çelik çekirdek diye tanımladığımız kısımdır ve bu kısım çaprazlarda meydana gelecek çekme ve basınç kuvvetlerini karşılayacak bölümdür. Diğer bir kısım ise çelik çekirdeğin burkulmasını önlemek için oluşturulan beton manto tabakasıdır. Beton manto tabakası hiçbir şekilde çapraza gelen yükü karşılamaz yalnızca çelik çekirdeğin burkulmasını engeller. Son olarak da çekirdek ile manto arasındaki

bağlantıyı engelleyen katman tanımlanabilir. Burada amaç, çaprazlarda meydana gelecek kuvvetin yalnızca çelik çekirdek tarafından karşılanması, çekme ve basınç kuvvetleri altında çaprazın akmasını sağlamak için beton manto ile çelik arasındaki aderansı engelleyecek bir bölüm oluşturmaktır (Sabelli, 2004).

Şekil 2.1 ‘de tipik bir BÖÇ elemanı mevcuttur. Çelik çekirdek de boyuna doğrultudaki eksende üç kısım olarak incelenebilir; akma bölgesi olarak tanımlanan ve manto ile çevrili eksenel kuvveti karşılayan orta kısım; bu orta bölüme komşu olan akma olmayan kısım (geçiş bölgesi) , bu bölümün kesit alanı akma bölgesininkine göre daha fazladır; ve birleşim bölgesi olarak da adlandırılan akmanın beklenmediği, beton manto tabakasının bulunmadığı bölümdür. Bu bölüm ayrıca çaprazın çerçevedeki birleşim plaklarına bağlantısını sağlamaktadır.

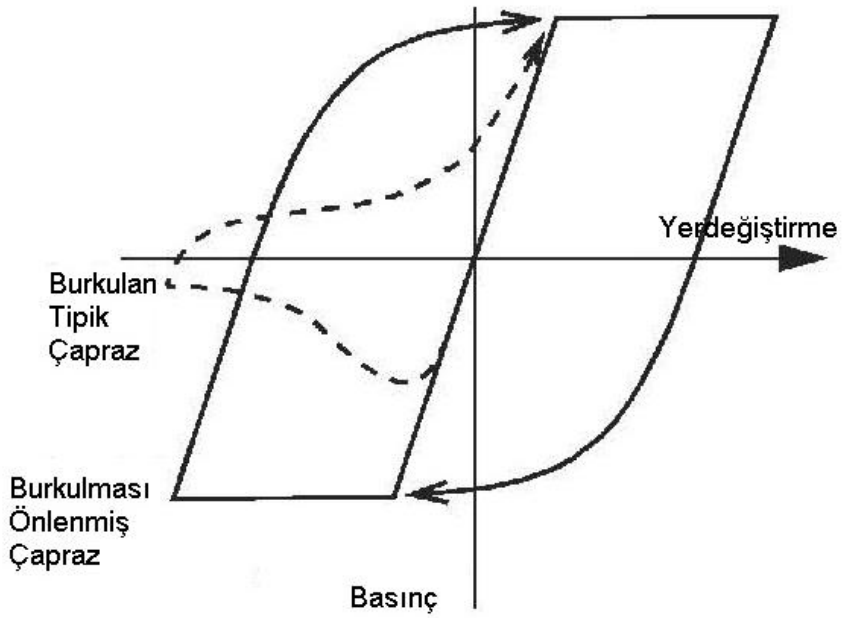


Şekil 2.1 : Tipik BÖÇ eleman detayı (AISC 341-10).

Akma bölgesinde, elastik olmayan şekil değiştirmeler meydana gelmektedir. Manto ile sınırlandırılan bu kısımda, çekme ve basınçta üniform bir şekilde akma olması istendiğinden, çekirdek enkesit alanı azaltılır. Geçiş bölgesi ise elastik davranışın hakim olduğu kısımdır ve akma bölgesine göre daha büyük enkesite sahiptir. Enkesitin daha büyük olmasının nedenlerinden biri de, akmanın çekirdeğin kolonla birleştiği noktada olmasının engellenmek istenmesidir. Birleşim bölgesi de, geçiş

bölgesinin uzantısıdır ancak bu bölüm dış tüple sarılmamaktadır. Bu nedenle sınırlandırılmamış bölge olarak da tanımlanabilir.

Doğrusal olmayan davranışın eksenel akma olarak çelik çekirdekte toplanması, çaprazın kendisinin çok yüksek süneklik düzeyine ulaşmasını sağlamaktadır. Çaprazın uzunluğunun büyük bir kısmı çelik malzemenin süneklik özelliğini göstermektedir. Bu sayede çelik çaprazların akma bölgelerindeki çevrimsel performansın tüm çaprazda mevcut olduğu söylenebilir. Şekil 2.2.'de burkulması önlenmiş çaprazın eksenel kuvvet – şekildeğiştirme ilişkisi gösterilmiş, klasik çaprazla karşılaştırması da yapılarak, burkulması önlenmiş çaprazların önemli ölçüde enerji yuttuğu ve daha sünek olduğu vurgulanmıştır.



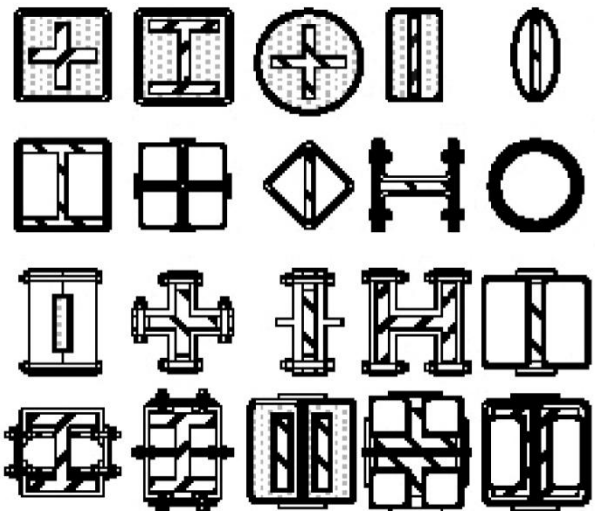
Şekil 2.2 : Tipik basınç çubuğu ve BÖÇ, eksenel kuvvet-şekildeğiştirme ilişkisi (AISC341-10).

Yüksek enerji sönümleme oranı aynı zamanda yapıya birçok ekonomik avantaj da sağlamaktadır. Deprem yükü azaltma katsayısının da büyük olması nedeniyle, yapıya indirgenmiş deprem yükleri etkir ve bu sayede, tüm sistemde daha küçük kiriş ve kolon boyutları elde edilmiş olur. Böylece temele etkiyecek taban kesme kuvveti de daha küçük olacağından ekonomik temel boyutları elde edilebilmektedir. Ayrıca deprem sonrasında kolay inceleme ve gerektiğinde kolay yenileme imkanı da sağlamaktadır.

Kısaca burkulması önlenmiş çaprazların kullanım alanına da değinecek olursak, yeni yapılan çelik yapıların dışında, betonarme ve çelik çerçevelerin güçlendirmesinde de kullanılabilir.

2.2. Burkulması Önlenmiş Çaprazların Enkesit Özellikleri

Burkulması önlenmiş çaprazlar, çekme ve basınç etkisi altında akmaya ulaşma yetenekleri ile karakterize edilmiştir(AISC Seismic Manual, 2010) . Çaprazın genel burkulması daha önce de belirtildiği gibi bir manto ile engellenmiştir. Uygulamada bu mantolar dairesel ya da dikdörtgen kesit olabilirler ve gereksinime göre ölçülendirilirler. BÖÇ'lerin çelik çekirdekleri ise dikdörtgen ya da hac enkesitli levhalardan oluşabilirler (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Farklı BÖÇ enkesitleri (Chritopulos,2005).

2.3. Burkulması Önlenmiş Çaprazlı Çerçeve Sistemlerinin Özellikleri

2.3.1. V-Çaprazlı ve ters V-çaprazlı çerçeveler

V- Tipi veya Ters V-Tipi sistem örneği Şekil 2.4'te verildiği gibidir. Bu tip sistemleri aşağıdaki koşulları sağlaması gerekmektedir;

- Kirişler ve bağlantı elemanları, çaprazların destek sağlamadığı kabulü göz önünde tutularak, düşey sabit ve hareketli yüklere göre boyutlandırılmalıdır.
- Çaprazların uçlarının birleştiği kirişler, çaprazın çekme ve basınç durumundaki dayanımının meydana getireceği kuvvet nedeniyle oluşacak dengelenmemiş düşey ve yatay kuvvetlere göre tasarlanmalıdır.

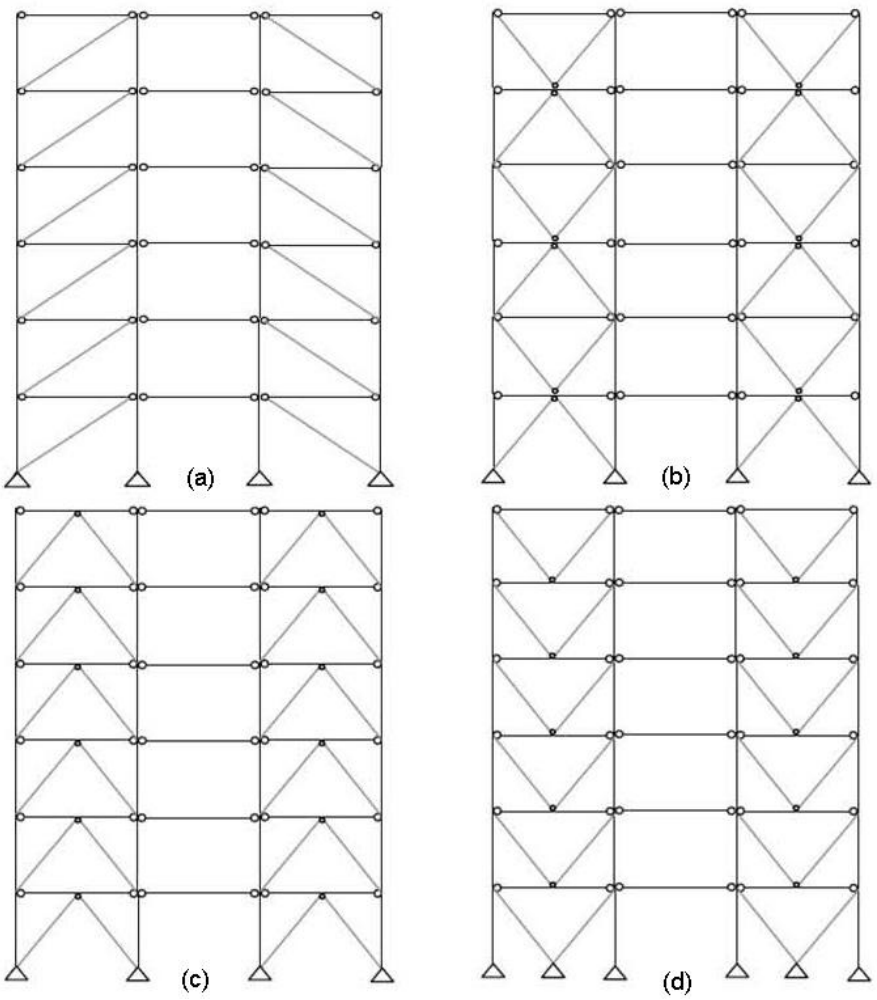
- Bu kirişlerde açıklıkta ek bulunmamalı, kirişler kolonlar arasında sürekli olmalıdır.

2.3.2. K-Çaprazlı çerçeveler

Burkulması önlenmiş çaprazlı çerçevelerde K tipi düzenleme AISC 341-10'a göre uygun değildir. Ayrıca sistemin özelliği gereği de bu tip sistemlere gerek duyulmamaktadır.

2.3.3. Diyagonal çaprazlı çerçeveler

Bu tip çerçevelerin düzenlenmesinde, açıklıklardan birindeki çaprazlar çekme etkisinde iken, diğerindeki çaprazlar basınç etkisinde olacak şekilde düzenlenir. Şekil 2.4'da diyagonal çaprazlı bir çerçeve bulunmaktadır. Bu çalışmada kullanılacak olan çaprazlar diyagonal düzenlenmiştir.



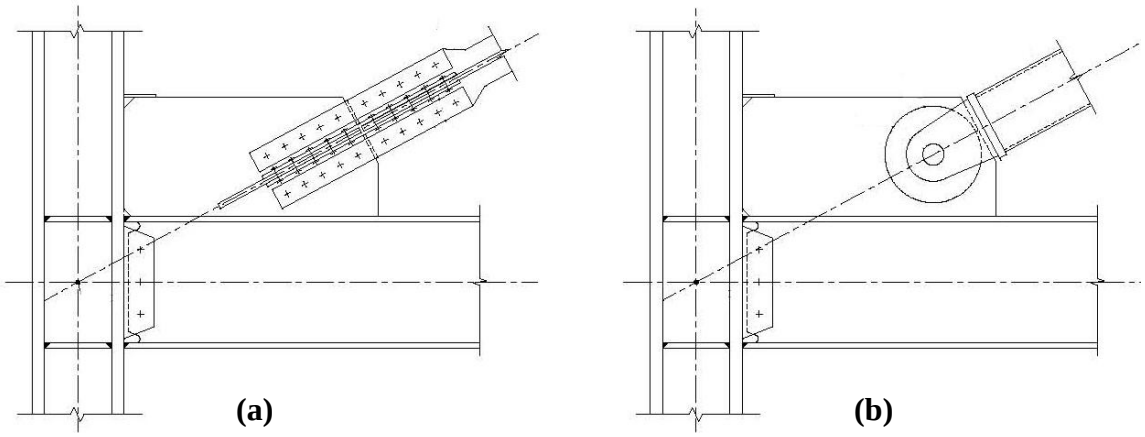
Şekil 2.4 : (a)Diyagonal Çapraz Düzeni (b) V-Çaprazları ve Ters V- Çaprazların Birlikte kullanımı (c) Ters V-Çapraz Düzeni (d) V-Çapraz Düzeni (Asgarian ve diğ., 2009).

2.4. Burkulması Önlenmiş Çaprazların Uç Birleşimleri

Burkulması önlenmiş çaprazların birleşim bölgesi, daha önce de açıklandığı gibi, burkulmanın önlenmediği kısımdır yani dış tüple sarılı olmayan kısımdır. Burada, çelik kısım genişletilerek, birleşim bölgesinin elastik sınırlar içinde kalması sağlanır. Birleşim bölgesinin kısa tutulması sayesinde dengeli ve kararlı bir çevrimsel davranış elde edilebilir (Karataş, 2009).

Birleşim için genellikle tercih edilen metot, bulonlu birleşimlerdir (Şekil 2.5.a). Bunun yanı sıra, her iki ucunda mafsallı birleşim için bilezik şeklinde bir aparat bulunan sistemler de mevcuttur(Şekil 2.5b). Az da olsa kaynaklı birleşimin de kullanımı vardır.

Birleşim tasarımı yapılırken, çaprazdan gelen maksimum eksenel kuvvet dikkate alınarak hesap yapılmalıdır. Bulonlu birleşimlerde, bulonun dayanımının %30'undan daha az bir kuvvette kaymanın mümkün olabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Ancak bu kayma burkulması önlenmiş çaprazlı çerçeve sistemlerin davranışı için hasar verici olarak kabul edilmez.



Şekil 2.5 : (a) Bulonlu Birleşim (b) Mafsallı Birleşim (Sabelli, 2004).

2.5. Burkulması Önlenmiş Çaprazların Tasarımı

Ülkemizde kullanılmakta olan DBYBH-2007 yönetmeliğinde, burkulması önlenmiş çaprazlı çerçevelerin tasarımları ile ilgili herhangi bir bilgi bulunmadığından, bu çalışmada AISC 341-10, FEMA450 yönetmelikleri, esas alınmıştır. Ayrıca AISC Tasarım Klavuzunda da burkulması önlenmiş çaprazların tasarımı aşamasında kullanılmıştır.

2.5.1. Tasarım esaslarının temeli

AISC 341-10 Bölüm F4 esas alınarak, tasarımın esasını oluşturan bilgiler aşağıda sıralanmıştır.

Öncelikle, bu bölümde ele alınan burkulması önlenmiş çaprazın kiriş ve kolon birleşim bölgelerine bağlantısının merkezi olması gerektiği belirtilmiştir. Ancak, eğer dış merkezlik kiriş genişliğinden küçükse ve hesaplarda meydana getireceği ilave etkiler belirtilirse, ayrıca beklenen doğrusal olmayan deformasyon kapasitesini etkilemeyecek şekilde ise kabul edilebilir olduğu da yönetmelikte ayrıca not edilmiştir.

Bu koşullar altından tasarlanmış burkulması önlenmiş çaprazlı çerçevelerin önemli plastik deformasyon kapasitesinin yalnızca çaprazın çekme ve basınç durumunda akmaya ulaşması ile sağlanacağı belirtilmiştir. Çaprazların beklenen deformasyonlara karşı koyacak şekilde tasarlanması ve test edilmesi gerekmektedir. Göreli kat ötelemesi, kat yüksekliğinin en az %2'sine karşı gelen yerdeğiştirme ya da tasarım sırasında hesaplanan kat ötelemesinin iki katı alınarak hesaplanan değerden büyük olanı olarak tanımlanır.

Sonuç olarak, tasarım felsefesinde, yapıya etki eden deprem kuvvetinin öncelikli olarak çaprazın basınç ve çekme durumunda akması ile plastik deformasyon yapacak şekilde tasarlanması gerekmektedir.

2.5.1.1.Çapraz dayanımı

Çaprazın elemanda çelik çekirdeğin dayanımı, çekirdeğin alanına ve malzemesinin akma gerilmesine bağlı olarak tanımlanır. Burada dikkat edilmesi gereken en önemli nokta, çekirdek malzemesinin akma dayanımının kesin olarak bilinmemesidir. Buna rağmen, dayanım için belirli bir aralık belirtilebilir. Bu aralık mühendis tarafından belirlenmekle birlikte genellikle çeliğin akma dayanımının ±10% 'u olacak şekilde, üreticinin de temin edebileceği biçimde belirlenir. Mühendis tarafından belirlenen bu aralıktaki minimum ve maksimum değerler F_{ymin} ve F_{ymax} olarak simgelenmiştir.

Malzemede bu tip değişiklikler nedeniyle iki farklı hesap adımı tanımlanmıştır. Bunlardan ilki ve daha yaygın olarak kullanılanı alan esaslı yaklaşım, diğeri ise dayanım esaslı yaklaşımdır.

Alan esaslı yaklaşımda, öncelikle çaprazın çekirdek alanı tanımlanır, çaprazın dayanımı da çekirdek alanına ve akma gerilmesine bağlı olarak hesaplanır. Burada; alt sınır akma gerilmesi, F_{ymin}, çaprazın çekirdek alanını belirlemek için kullanılırken, üst sınır akma gerilmesi, F_{ymax} ile çaprazın dayanımı hesaplanır. Bu dayanım birleşimlerin ve birleşen çerçeve elemanlarının tasarımında kullanılacak olan düzeltilmiş çapraz dayanımı olarak adlandırılabilir. Burada üst sınır akma gerilmesinin kullanılmasındaki amaç, pekleşme ve basınç dayanımı fazlalığının hesaplarda göz önüne alınmasıdır.

Dayanım esaslı yaklaşımda ise, ilk adımda çapraz için gerekli dayanım mühendis tarafından belirlenir. Burada belirlenen dayanım için de bir alt sınır ve üst sınır tanımlanır. Tanımlanan üst sınır yine birleşim ve ek elemanlarının tasarımında kullanılır. Burada da üst sınırın birleşim ve ek elemanlarında kullanılmasının amacı pekleşme ve basınç dayanımı fazlalığının hesaba katılmasıdır. Bu metot, üreticiye çaprazın alanını çekirdek malzemesinin ölçülen akma dayanımına göre ayarlanmasını sağlar, ve böylece çaprazın akma kapasitesi elde edilmiş olur.

Çaprazın dayanımı çaprazın çekirdek alanı ile tanımlanır, ancak yapısal modelde bu çekirdek alanı hiçbir düzeltme yapmadan kullanmak çaprazın rijitliğini doğru bir şekilde temsil edilmemesine neden olur. Sonuçta, çaprazın rijitliği sadece akma çekirdeğinden gelen katkıyı içermez, aynı zamanda çaprazın ve birleşen malzemenin akmaya ulaşmış kısımlarının da göz önüne alınması gerekir. Bu rijitliği elde etmek için yönetmeliğe göre çaprazın rijitliği, rijitlik düzeltme katsayısı, KF ile düzeltilmelidir. Buna göre modelde tanımlanacak çapraz modelinin rijitliği aşağıdaki gibidir **(2.1)**:

$$K_{\mathrm{model}} = \frac{KF(A_{sc})E}{L_{wp-wp}} \qquad \textbf{(2.1)}$$

Burada; A_{sc}, çelik çekirdek alanı, E, elastisite modülü, $L_{wp\text{-}wp}$, çaprazın ekseni boyunca uzanan sistem boyunu göstermektedir.

KF değeri, mühendis tarafından düzenlenen yükler ve çapraz yerleşimleri, burkulması önlenmiş çapraz üreticisi tarafından göz önünde bulundurularak belirlenir.

Alan esaslı ve dayanım esaslı yaklaşımlardaki değişkenliklerin özeti Çizelge 2.1'de özetlenmiştir.

Çizelge 2.1. Alan esaslı ve dayanım esaslı yaklaşımlardaki değişkenliklerin özeti.

Metod	Dayanım Değişkenliği	Rijitlik Değişkenliği
Alan-Esaslı Yaklaşım	Kesin, 46ksi/38ksi ~ 1.2 (+20%/-0%)	Mühendis tanımlı, Genellikle ±10%
Dayanım-Esaslı Yaklaşım	Mühendis-tanımlı, genellikle ≤ 5% (+5%/-0%)	Mühendis tanımlı, Genellikle ±10%

Malzemenin değişkenliği ve rijitlikte tüm çaprazın etkili olması durumu hesaplarda göz önünde bulundurulmalıdır. Bu çalışmada, alan esaslı yaklaşım metodu kullanılacaktır.

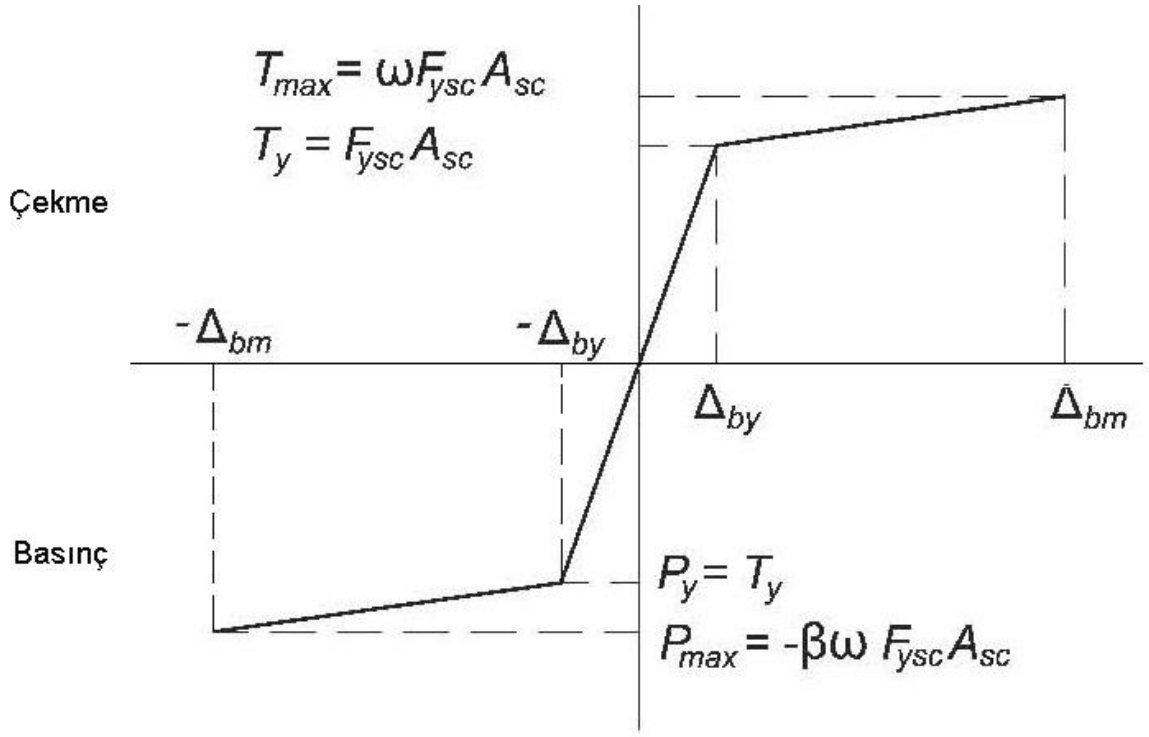
Çaprazın birleşimlerde veya birleşen elemanlara etkilerinin göz önüne alındığı durumlarda, düzeltilmiş çapraz dayanımının hesaplanması gerekmektedir. Çekme ve basınç durumlarında farklılık gösteren bu düzeltilmiş çapraz dayanımlarında, malzeme dayanımı olarak, daha önce de söz edildiği gibi üst sınır akma gerilmesi, F_{ymax}, kullanılacaktır.

Basınç durumunda, düzenlenmiş çapraz dayanımı; $\beta\omega A_{sc} F_{yscmac}$ olarak hesaplanır. Burada; β, basınç dayanımı düzeltme katsayısı, ω, pekleşme düzeltme katsayısını, A_{sc}, akma bölgesindeki çelik çekirdeğin alanı (mm^2) ve F_{yscmax} üst sınır akma gerilmesi (N/mm^2) olarak gösterilmiştir.

Basınç dayanımı düzeltme katsayısı olan β değerinin hesaplanması için, üretici tarafından burkulması önlenmiş çelik çapraz numunesi üzerinde malzeme dayanım deneyleri yapılarak, yük – yerdeğiştirme eğrileri çizilir. Mühendis ise bu katsayıyı elde etmek için kullanılacak yerdeğiştirme değerini hesaplar. Bu yerdeğiştirme değeri, ya plastik etkileri içeren tasarım kat ötelemesi ya da kat yüksekliğinin 2%'sine karşı gelen yerdeğiştirmedir. Yük – yerdeğiştirme eğrisinde, bu iki yerdeğiştirmeden büyük olana karşılık gelen maksimum basınç kuvveti, maksimum çekme kuvvetine oranlanarak β değeri elde edilir. β değeri 1.0'dan küçük alınamaz.

Pekleşme düzeltme katsayısı olan ω değeri için de basınç dayanımı katsayısını belirlemede kullanılan deformasyon değeri ve yük – yerdeğiştirme grafiği kullanılır. Ancak burada, ω değeri, belirlenen deformasyona karşı gelen maksimum çekme kuvvetinin, deney numunesinin akma dayanımının çekirdek alanı ile çarpımı sonucu elde edilen kuvvete oranlanarak belirlenir.

Bu düzeltme katsayılarının daha iyi açıklanabilmesi için AISC 341-10'da verilen örnek grafik Şekil 2.6.'da gösterilmiştir.



Şekil 2.6 : Çapraza ait eksenel kuvvet- yerdeğiştirme ilişkisi (AISC 341-10).

Ayrıca grafikte belirtilen değerler formül olarak aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

$$\beta = \frac{\beta\omega F_{ysc} A_{sc}}{\omega F_{ysc} A_{sc}} = \frac{P_{max}}{T_{max}} \quad \textbf{(2.2)}$$

$$\omega = \frac{\omega F_{ysc} A_{sc}}{F_{ysc} A_{sc}} = \frac{T_{max}}{F_{ysc} A_{sc}} \quad \textbf{(2.3)}$$

Burada; F_{ysc},çelik çekirdeğin ölçülen akma dayanımı (MPa), A_{sc} , çelik çekirdeğin alanı (mm^2),P_{max}, maksimum basınç kuvveti (N), T_{max}, maksimum çekme kuvveti (N) olarak belirtilmiştir.

2.5.2. Analiz

AISC 341-10 yönetmeliğine göre, burkulması önlenmiş çaprazların sabit düşey yüklerden etkilenmesi istenmemektedir. Bu nedenle, tez çalışmasında kullanılacak olan yapılar tasarlanırken, çaprazlı ve çaprazsız olmak üzere iki model hazırlanacaktır. Çaprazsız modelde yalnızca düşey yükler etkisi altında analiz yapılırken, çaprazlı modele yalnızca yatay yükler etkitilecektir.

Sistemin doğrusal hesabı yapılırken, yönetmeliklerde verilen yüklerin süperpozisyonu, ilgili modelden alınan iç kuvvetlerin toplanması ile elde edilecektir.

Burkulması önlenmiş çaprazlı çerçevelerin elemanları olan kiriş ve kolonlar, önce yük süperpozisyonu sonucu elde edilen iç kuvvet değerleri ile kontrol edilecek, sonra da çaprazın dayanımı hesaplanarak, dayanım esaslı iç kuvvetler elde edilecektir.

Çaprazlar, çekme ve basınç etkilerini alacak şekilde hesaplanacak ve daha önce de belirtildiği gibi düşey yüklerin etkisi dikkate alınmayacaktır.

Sistemin doğrusal analizi ile ilgili daha detaylı bilgiler Bölüm 4'te ayrıntılı bir biçimde açıklanacaktır.

2.5.3. Çapraz tasarımı

Tasarım yapılırken, yukarıda belirtilen gereklilikler sağlanarak yapılan sistem analizleri sonucunda elde edilen iç kuvvetlere göre çaprazların güvenlik katsayıları ile tasarım esaslarına göre kontrolleri aşağıda belirtilen kurallar dahilinde yapılır.

Öncelikle, çaprazlar üzerlerine gelen eksenel kuvvete dayanacak şekilde tasarlanmalıdır. Çekme ve basınç durumu için yapılacak kontroller aynıdır. Eğer hesaplamalar Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım'a dayanıyorsa, çaprazın tasarım eksenel dayanımı ϕP_{ysc}'dir. Eğer Güvenlik Katsayıları ile Tasarım esas alınıyorsa, bu durumda da P_{ysc} / Ω izin verilen dayanım olarak tanımlanır.

$$P_{ysc} = F_{ysc} A_{sc} \qquad \textbf{(2.4)}$$

Burada; F_{ysc} , çapraz için belirlenen minimum akma dayanımı (Mpa), A_{sc} ise çelik çekirdek alanıdır (mm^2).

Tasarımla ilgili daha detaylı bilgiler Bölüm 4'te açıklanacaktır.

2.5.4. Kolon tasarımı

Burkulması önlenmiş çelik çaprazlı çerçevelerde, çaprazların bağlı olduğu kolonlar, AISC 360-10 yönetmeliğindeki esaslara göre kolon boyutlandırılır. Ancak bu boyutlandırma yeterli olmamaktadır. Kolonların, çaprazlar kapasitelerine ulaştıklarında meydana gelen iç kuvvetleri güvenle aktarabildikleri de gösterilmelidir. Çaprazlarda basınç ve çekme kuvveti olması durumları göz önünde tutularak, kolonlar için dayanım kontrolü yapılır. Kolonların iç kuvvetleri dayanım esaslı tasarıma göre hesaplanarak, kolonun mevcut dayanımı ile kontrolü gerçekleştirilecektir. Bu kontroller gerçekleştirilirken, dayanım esaslı tasarım göz

önünde bulundurulduğundan, güvenlik katsayıları kullanılmayacaktır. Bu bölümle ilgili ayrıntılar Bölüm 4'te yer almaktadır.

2.5.5. Kiriş tasarımı

Kolonlarda olduğu gibi kirişlerde de öncelikle AISC 360-10 yönetmeliği esasları göz önünde bulundurularak tasarım yapılır. Sonrasında çaprazların dayanımları hesaplanarak, bu kuvvetin kirişte doğuracağı ek kuvvetin kiriş tarafından taşınıp taşınmayacağı kontrol edilir. Kolonlarda olduğu gibi, kirişlerde de dayanım esaslı tasarım yapılırken, kirişin dayanımı ayrıca güvenlik katsayıları ile düzenlenmeyecektir. Bu kısımdan da Bölüm 4'te ayrıntılı olarak bahsedilmektedir.

3. DOĞRUSAL ve DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZLER İÇİN GENEL BİLGİLER

Bu çalışmada, ilk aşamada burkulması önlenmiş çaprazlı çerçevelerin doğrusal analizleri yapılacaktır. Doğrusal analizde ülkemizde kullanılan DBYBHY-2007 yönetmeliğinin esasları göz önünde tutulacaktır. Ancak, burkulması önlenmiş çaprazlı çerçeveler henüz mevcut deprem yönetmeliğimizde bulunmadığından, taşıyıcı sistem davranış katsayısı, R ve genel esaslar için AISC 341-10 yönetmeliğinden faydalanılacaktır.

3.1. DBYBHY-2007 Genel İlke ve Kuralları

3.1.1. Genel ilkeler

Depreme dayanıklı yapı tasarımı için DBYBHY-2007'ye göre depreme dayanıklı tasarım için belirlenen genel ilkeler aşağıdaki gibidir.

- Yeni yapılacak binaların depreme dayanıklı tasarımda ana ilkesi; hafif şiddetteki depremlerde binalardaki yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarının herhangi bir hasar görmemesi, orta şiddetteki depremlerde yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda oluşabilecek hasarın sınırlı ve onarılabilir olması, şiddetli depremlerde ise can güvenliğinin sağlanması amacı ile kalıcı yapısal hasar oluşumunun sınırlandırılmasıdır.
- Yeni binaların tasarımında esas alınacak tasarım depremi, yukarıda da belirtilmiş olan şiddetli depreme karşılık gelmektedir. Buna göre, Bina Önem Katsayısı, I=1 olan binalar için, tasarım depremi 50 yıllık bir süre içinde aşılma olasılığı %10 olan depremdir.
- Bu yönetmelikte, deprem bölgeleri, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nca hazırlanan Türkiye Deprem Bölgeleri Haritasına göre; birinci, ikinci, üçüncü ve dördüncü derece deprem bölgeleri olarak ayrılmıştır.

3.1.2. Bina taşıyıcı sistemlerine ilişkin genel ilke ve kurallar

- Deprem yükünü bir bütün halinde taşıyan bina taşıyıcı sistemi ve aynı zamanda bu taşıyıcı sistemi oluşturan elemanların her biri, deprem yüklerini temel zeminine kadar sürekli ve güvenli olarak aktarılmasını sağlayacak şekilde rijitlik, kararlılık ve dayanımda olmalıdır.
- Döşeme sistemleri, deprem yüklerini taşıyıcı sistem elemanları arasında güvenle aktarmayı sağlayacak şekilde yeterli dayanıma sahip ve rijit olmalıdır. Etkilerin güvenle aktarımı sağlanamıyorsa uygun aktarma elemanları düzenlenmelidir.
- Binaya aktarılan deprem yükünün önemli bir kısmının taşıyıcı sistemin sünek davranışı ile tüketilmesi için sünek tasarım ilkelerine titizlikle uyulmalıdır.

3.1.3. Çelik taşıyıcı sistemlerin tasarımına ilişkin genel kurallar

Yönetmelikte Çelik Binalar İçin Depreme Dayanıklı Tasarım Kuralları, ayrı bir bölümde incelenmiştir(DBYBHY-2007 Bölüm 4). Bu bölüme göre çelik taşıyıcı sistemlerin tasarımında uyulması gereken genel kurallar aşağıdaki gibidir.

- Çelik binaların yatay yük taşıyıcı sistemleri yönetmelikte iki ana başlıkta toplanmıştır.
- Bunlardan ilki Süneklik Düzeyi Yüksek Sistemlerdir. Süneklik düzeyi yüksek taşıyıcı sistemlerin tasarımında dikkat edilmesi gereken noktalar yönetmelikte ayrıntılı bir biçimde yer almaktadır.
- İkincisi ise Süneklik Düzeyi Normak Sistemlerdir. Aynı şekilde süneklik düzeyi normal sistemlerle ilgili tasarım esasları yönetmelikte ayrıntılı olarak yer almaktadır.
- Yönetmelikte, çelik taşıyıcı sistemlerin taşıyıcı sistemlerinin tasarımı için, burada verilmiş olan deprem yükleri ve hesap kurallarının kullanılması ancak, yönetmelikte yer almayan hususlar için uluslar arası düzeyde kabul görmüş yönetmeliklerden faydalanabileceği söylenmiştir. Çalışmanın konusunu oluşturan Burkulması Önlenmiş Çelik Çaprazların tasarımında, bu yönetmelikteki deprem yükleri ve hesap kurallarına uyulmuştur, ancak belirli noktalarda yönetmelik yetersiz olduğundan AISC 341-10 ve FEMA 450 yönetmeliklerine başvurulmuştur.

3.1.4. Deprem yüklerine ilişkin genel kurallar

- Binalara etkiyen deprem yüklerinin belirlenmesinde, Spektral İvme Katsayısı,A(T) ve Deprem Yükü Azaltma Katsayısı esas alınacaktır.
- Deprem yüklerinin belirlenmesi için esas alınacak olan Spektral İvme Katsayısı, A(T); Deprem bölgesine göre değişkenlik gösteren Etkin Yer İvmesi Katsayısı, A_o'ın, binanın kullanım amacı ve ya türüne göre değişiklik gösteren Bina Önem Katsayısı, I ve Elastik İvme Spektrumu, R(T) ile çarpılmasıyla hesaplanır. Spektrum Katsayısı, R(T) ise yerel zemin koşullarına ve binanın doğal periyodu T'ye bağlı olarak hesaplanmaktadır.
- %5 sönüm oranı için tanımlanan Elastik İvme Spektrumunun ordinatı olan, $S_{ar}(T)$, spektral ivme katsayısı ile yerçekimi ivmesinin çarpımı ile hesaplanır.
- Deprem yükleri her iki doğrultuda ve her iki yönde ayrı ayrı etkitilecektir.
- Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı R bu yönetmelikte, bina taşıyıcı sistemlerinin süneklik düzeyi yüksek ya da normal olmasına göre gruplandırılarak bir tablo halinde verilmiştir. AISC 341-10 yönetmeliğine göre Burkulması Önlenmiş Çaprazların ilgili parametreleri çizelge 3.1 'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. AISC 341-10'da belirtilen tasarım katsayıları.

Yatay Yük Taşıyıcı Sistem	**Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R)**	**Sistem Büyütme Katsayısı (Ω_o)**	**Yerdeğiştime Büyütme Faktörü (C_d)**
Yapıların Çapraz Sistemleri			
BÖÇ Çerçeveler, Moment dayanımı olmayan kiriş-kolon birleşimleri	7	2	5.5
BÖÇ Çerçeveler, Rijit Kiriş-kolon birleşimleri	8	2.5	5

3.2. Doğrusal Hesap Yöntemleri

Yönetmelikte binaların deprem hesabında kullanılacak yöntemler, "Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi", "Mod Birleştirme Yöntemi" ve "Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemleri" olmak üzere üçe ayrılmıştır. Bunlardan "Mod Birleştirme Yöntemi" ile "Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi" tüm binalar ve bina türleri için

kullanılabilirken, "Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi"nin uygulanabileceği binalar Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2 : Eşdeğer deprem yükünün uygulanabileceği binalar.

Deprem Bölgesi	*Bina Türü*	*Toplam Yükseklik Sınırı*
1, 2	Her bir katta burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} \leq 2.0$ koşulunu sağladığı binalar	$H_N \leq 25$ m
1, 2	Her bir katta burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} \leq 2.0$ koşulunu sağladığı ve ayrıca **B2** türü düzensizliğinin olmadığı binalar	$H_N \leq 40$ m
3, 4	Tüm binalar	$H_N \leq 40$ m

3.2.1. Eşdeğer deprem yükü yöntemi

Bu çalışmada, doğrusal analizde kullanılacak olan yöntem, Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemidir. Eşdeğer deprem yükü yönteminde, esas olarak dinamik olan deprem kuvvetinin, statik bir yük gibi hesaba katılmasını temel alır. Çizelge 3.2' de verilen şartlar yerine getirildiğinde uygulanabilen bu yöntemde, gözönüne alınan deprem doğrultusunda, binanın tümüne etkiyen bir Eşdeğer Deprem Yükü (taban kesme kuvveti), V_t hesaplanır. Sonrasında hesaplanan bu eşdeğer deprem yükü, bina katlarına dağıtılır.

3.2.2. Mod birleştirme yöntemi

Mod birleştirme yöntemi, dinamik bir yöntemdir ve bu yöntemde maksimum iç kuvvetler ve yerdeğiştirmeler, binada yeterli sayıda hesaplanan doğal titreşim modunun her birinin maksimum katkılarının istatiksel olarak birleştirilmesi ile elde edilmektedir. Hesaba katılması gereken yeterli titreşim modu sayısı, göz önüne alınan doğrultuların her birinde, her bir mod için hesaplanan etkin kütlelerin toplamının en az binanın kütlesinin %90'ı olacak şekilde belirlenir.

3.2.3. Zaman tanım alanında hesap yöntemleri

Bu yöntem, hem doğrusal hem de doğrusal olmayan hesaplarda kullanılabilmektedir. Burada deprem hesabında, yapay yollarla üretilen, daha önce kaydedilmiş ya da benzeştirilmiş deprem yer hareketleri kullanılabilir. Doğrusal ya da doğrusal olmayan hesapta, üç yer hareketinin kullanılması durumda sonuçların maksimumu,

en az yedi yer hareketi kullanılması durumunda da sonuçların ortalaması tasarım için esas alınacaktır.

3.3. Doğrusal Olmayan Analiz

Yapı sistemlerinde doğrusal olmayan analiz iki nedenle uygulanır. Bunlardan birincisi, malzemenin doğrusal elastik olmaması, bu nedenle de gerilme şekil değiştirme ilişkisinin doğrusal olmamasıdır. İkincisi ise geometri değişimlerinin büyük olması nedeniyle, sistemlerde denge ve geometrik uygunluk koşulları nedeniyle oluşan doğrusal olmama durumudur (Özer, 2008). Ayrıca, bu iki durumun birlikte bulunduğu doğrusal olmama durumları da mevcuttur.

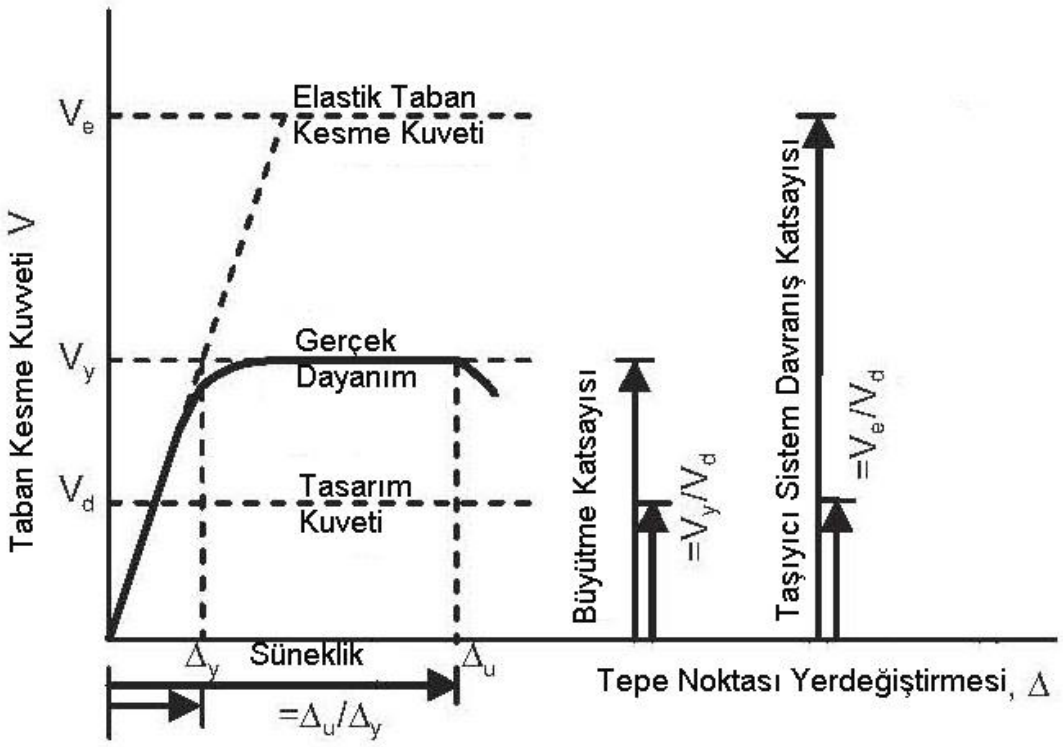
Burkulması önlenmiş çaprazlı çerçevelerin malzeme bakımından doğrusal olmayışı üzerine yapılacak bu çalışmada, 4,6,8 ve 10 katlı yapıların her bir doğrultu için ayrı ayrı iki boyutlu analitik modelleri hazırlanacaktır. Bu çerçevelerin doğrusal olmayan statik itme analizleri yapılacaktır.

3.3.1. Doğrusal olmayan statik itme analizi

Doğrusal olmayan statil itme analizi, mevcut yapıların performanslarının değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Yük artımı yönteminin amacı, yapısal sistemin tasarım depreminde dayanımı ve yerdeğiştirme kapasitesinin doğrusal olmayan statik analizle belirlenmesi ve bu kapasitenin incelenen performans seviyesi ile karşılaştırılmasını sağlamaktır. Bu şekilde mevcut yapı sisteminin doğrusal olmayan statik itme analizi sonucunda nasıl davranış göstereceğini ve göçme şeklini elde edebiliriz.

Yapı sistemine, birinci titreşim mod şekli ile orantılı olacak şekilde adım adım arttırılan eşdeğer deprem yükleri etkitilerek doğrusal olmayan itme hesabı yapılır. Bu artırım yapılırken, yük – tepe noktası yerdeğiştirmesi grafiği çizilir (Özer, 2008).

Bu araştırmanın konusu olan büyütme katsayısı, doğrusal olmayan statik itme analizi sonucu çizilen kuvvet – yerdeğiştirme eğrisi üzerinden elde edilir. Büyütme katsayısı, doğrusal olmayan statik itme sonucu elde edilen gerçek dayanımın, tasarım dayanımına oranı olarak tanımlanabilir. Bunun daha iyi anlaşılabilmesi için doğrusal olmayan statik itme analizi sonucu elde edilen, Şekil 3.1.'deki kesme kuvveti – tepe noktası yerdeğiştirmesi grafiği verilmiştir.



Şekil 3.1 : Doğrusal olmayan statik itme sonucu elde edilen kuvvet – yerdeğiştirme eğrisi.

Şekil 3.1.'de V_d, doğrusal analiz sonucunda hesaplanan taban kesme kuvveti, V_y, ise belirtilen göçme moduna karşılık gelen kuvvettir. Bunların oranı Büyütme Katsayısını, Ω'yı vermektedir. Ayrıca grafikte belirtilen, süneklik kavramı, yapının maksimum yerdeğiştirmesinin, Δ_u, maksimum doğrusal elastik şekil değiştirmesine , Δ_y, oranı olarak tanımlanabilmektedir. Taşıyıcı sistem davranış katsayısı ise, sistemin elastik yük kapasitesinin, V_e, taban kesme kuvvetine oranı olarak tanımlanabilir (Annan ve diğ., 2009).

4. MODEL YAPILARIN TASARIMI

Burkulması önlenmiş çaprazlı çelik çerçevelerin büyütme katsayısının incelenmesi için yapılan bu çalışmada, öncelikle 4,6,8,10 katlı binaların yapısal elemanları, SAP 2000 bilgisayar programı yardımıyla AISC 360-10 yönetmeliğindeki çelik yapı tasarımı esasları göz önünde tutularak boyutlandırılmıştır. Bilindiği gibi, AISC 360-10 yönetmeliği Amerika'da çelik yapıların tasarımı için kullanılan bir yönetmeliktir. Bu yönetmelik çelik yapı tasarımında kullanılan iki farklı yöntem olan, güvenlik katsayıları ile tasarım yöntemi ve yük ve dayanım katsayıları ile tasarım yöntemini kapsamaktadır. Bu çalışmada, tasarım yapılırken, güvenlik katsayıları ile tasarım gerçekleştirilecektir.

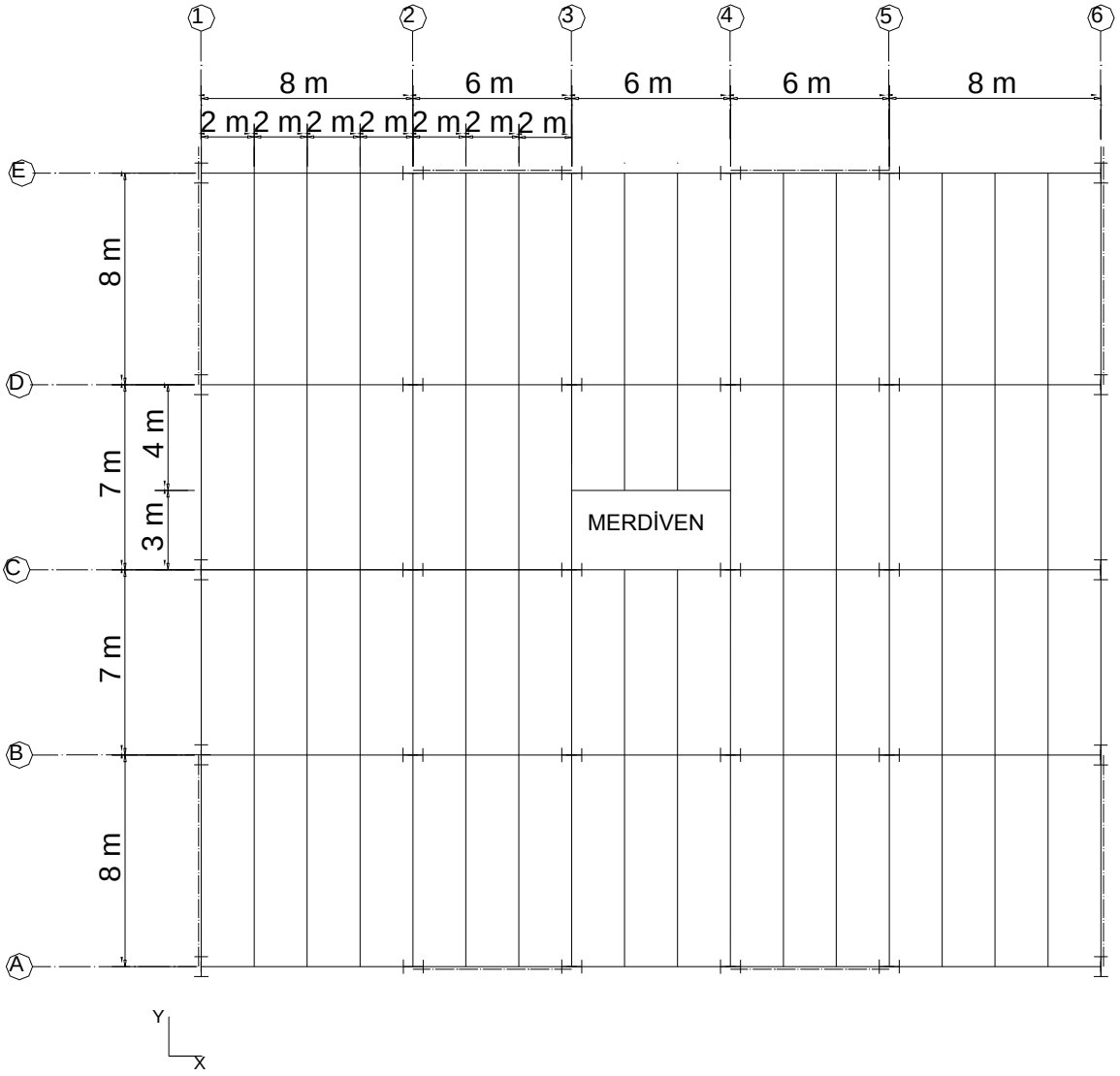
Güvenlik katsayıları ile tasarımın ana felsefesi, elemanda işletme yükleri sonucu ortaya çıkan gerilmelerin, çelik malzemenin gerilme – şekil değiştirme eğrisinde elastik bölge içinde kalmasını sağlamaktır. Bu tasarımda, yüklerde arttırma olmaz, göçme sınır gerilmesi bir güvenlik katsayısına bölünerek, kesitteki işletme yüklerine bağlı oluşan gerilmenin daha küçük olmasını sağlamaktır. Bu yaklaşım, elastik tasarım ya da işletme gerilmeleri ile tasarım olarak da adlandırılabilir.

Deprem yükü hesaplarında prensip olarak DBYBHY-2007, Bölüm 2.7 Eşdeğer Deprem Yükü kullanılmıştır. Ancak, burkulması önlenmiş çaprazlı çerçevelerle ilgili bilgilerin bu yönetmelikte yer almaması nedeniyle, taşıyıcı sistem davranış katsayısı, R ve genel esaslar için AISC 341-10 yönetmeliğinden faydalanılmıştır.

AISC 341-10 yönetmeliğine göre, burkulması önlenmiş çaprazların sabit düşey yüklerden etkilenmesi istenmediğinden, taşıyıcı sistem elemanlarının boyutlandırılmasında, sistem analizleri, her bir yapı için hazırlanan düşey ve yatay yüklerin ayrı ayrı dikkate alındığı iki farklı analitik model kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Modellerden birinde, burkulması önlenmiş çaprazlar yokken, yalnızca sabit düşey yükler etkitilerek iç kuvvetler hesaplanmıştır. Diğer modelde ise çaprazlar kullanılmış ve yalnızca yatay yük etkisi göz önünde bulundurulmuştur. Sonuç olarak yükleme kombinasyonları kullanılarak en elverişsiz iç kuvvetlerin elde

edilmesi için gerekli iç kuvvetler, ilgili modelin analiz sonuçları kullanılarak belirlenmiştir.

Tüm yapılarda aynı plan ve kesit özellikleri mevcutken, değişen yalnızca kat yüksekliğidir. Şekil 4.1'deki planda görüldüğü gibi, x doğrultusunda 5, y doğrultusunda 4 açıklığa sahip bu yapıların her birinde, ilk kat 4 m yüksekliğinde iken, üst katların kat yüksekliği 3m.'dir. Yapılarda kolonlar ±0.00 kotunda temele sabit mesnetli olarak bağlanmışlardır. Akslardaki ana çerçeve kirişlerinin kolona bağlantıları mafsallı olarak teşkil edilmiştir. 2.0 m aralıklarla konumlandırılmış olan ikincil ara kirişler de ana kirişlere mafsallı olarak bağlanmışlardır. Ayrıca, burkulması önlenmiş çaprazların bağlantıları da mafsallı olarak düzenlenmiştir.



Şekil 4.1. 4,6,8,10 Katlı binaların planları.

4.1. Yapıların Sistem Özellikleri

Çalışmada, planları aynı olan, 4,6,8 ve 10 katlı yapılar tasarlanacaktır. Örnek olarak seçilen 4 katlı çelik yapının üç boyutlu genel sistem görünüşü Şekil 4.2. ve Şekil 4.3.'de verilmiştir. Normal kat planları Şekil 4.1.'deki gibi olan sistemlerin, 4 katlı örnekte x doğrultusunda ve y doğrultusundaki en kesitleri de sırasıyla Şekil 4.4. ve Şekil 4.5.'te verilmiştir. Burkulması önlenmiş çaprazlı çerçeveler olarak tasarlanacak bu sistemlerin, mevcut yönetmeliklerdeki tasarım esasları göz önüne alınarak boyutlandırması incelenecektir.

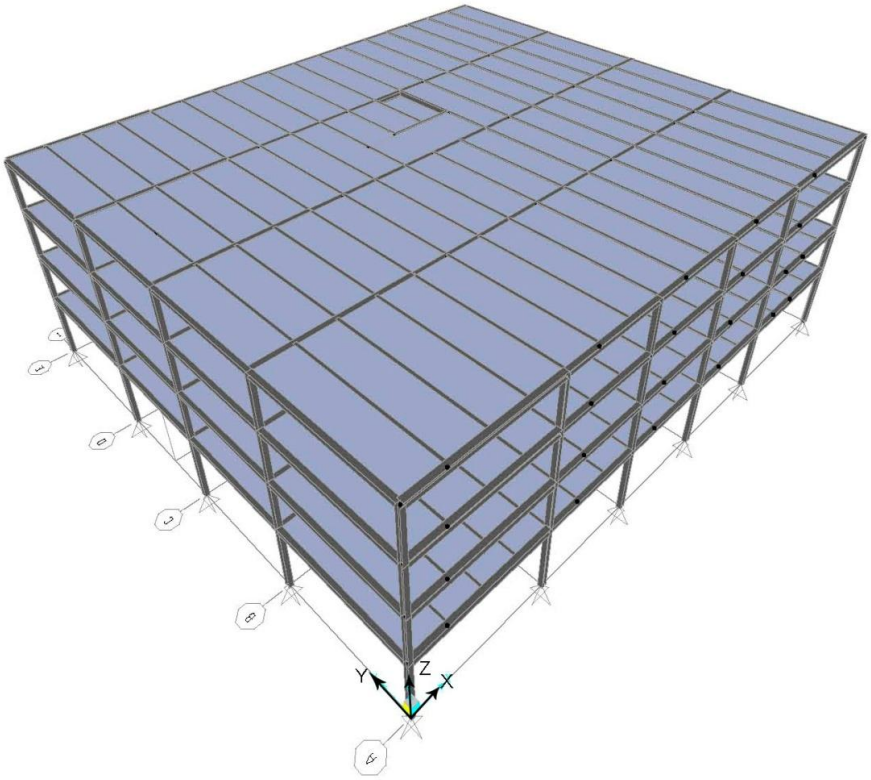
Sistemde kolonlar ±0.00 kotunda temele sabit mesnetli olarak bağlanmışlardır. Akslardaki ana çerçeve kirişlerinin kolonlara bağlantıları mafsallı olarak düzenlenmiştir. 2.0 m aralıklarla teşkil edilen ikincil ara kirişler, ana kirişlere mafsallı olarak bağlanmışlardır. Çaprazların bağlantıları da mafsallıdır.

Burada sistemdeki bağlantıların mafsallı olmasının ana nedeni, deprem yükleri gibi yatay yüklerde çaprazların etkin olmasını sağlamaktır.

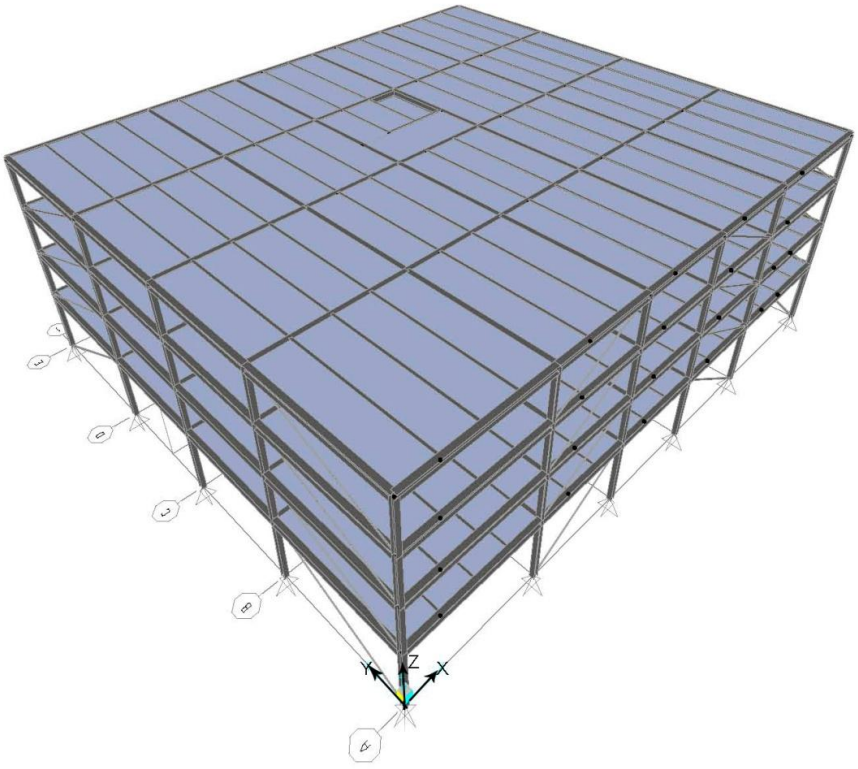
Çaprazsız sistemlerde, düşey yüklere göre analiz yapılmıştır. Çaprazlı modeller ise yatay yüklerin yüklendiği sistemdir. Burkulması önlenmiş çaprazların, çekme ve basınç durumunda da çalışacak kısmı çelik çekirdekleri olduğundan, modelde yalnızca çelik çekirdek tanımlanmıştır. Ancak, AISC Tasarım Kılavuzu'na göre rijitlik olarak yalnızca çelik çekirdeğin rijitliğinin kullanılması doğru değildir. Çünkü çaprazın kaplamasının da tüm çaprazın rijitliğine katkısı bulunmaktadır. Bu nedenle, AISC Tasarım Kılavuzu'ndaki veriler de göz önüne alınarak, çaprazların rijitlikleri 1.1 değeri ile arttırılmıştır.

Taşıyıcı sistemin kirişleri ve kolonları Avrupa norm profilleri (kirişler için HEA ve HEB profilleri, kolonlar için HD profilleri) kullanılarak boyutlandırılacaktır.

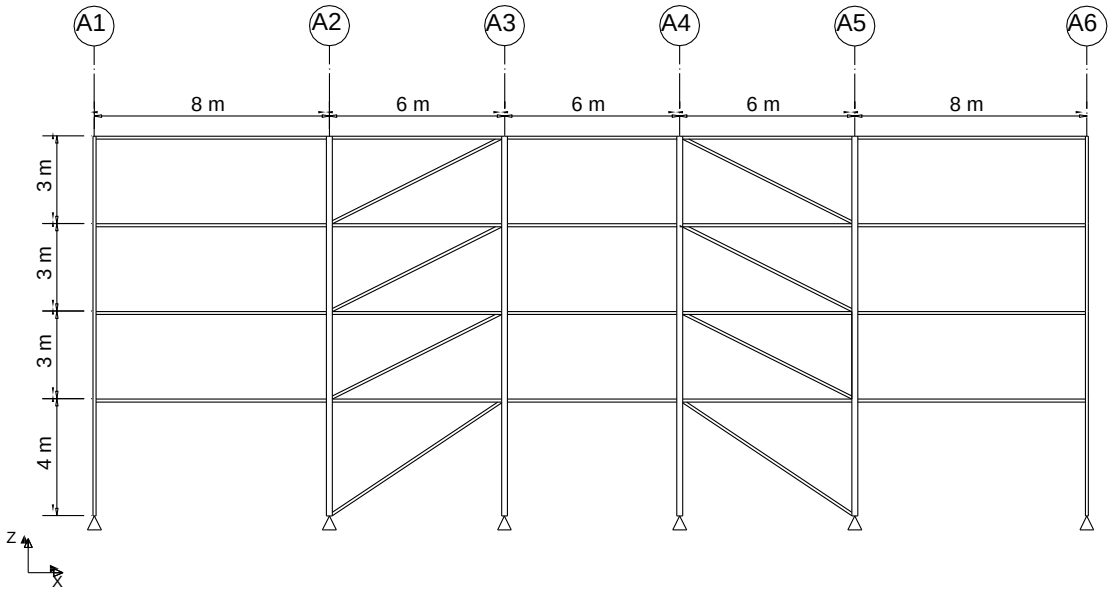
Sistemin tasarımında tüm yapısal elemanlar için S275 yapı çeliği kullanılacaktır.



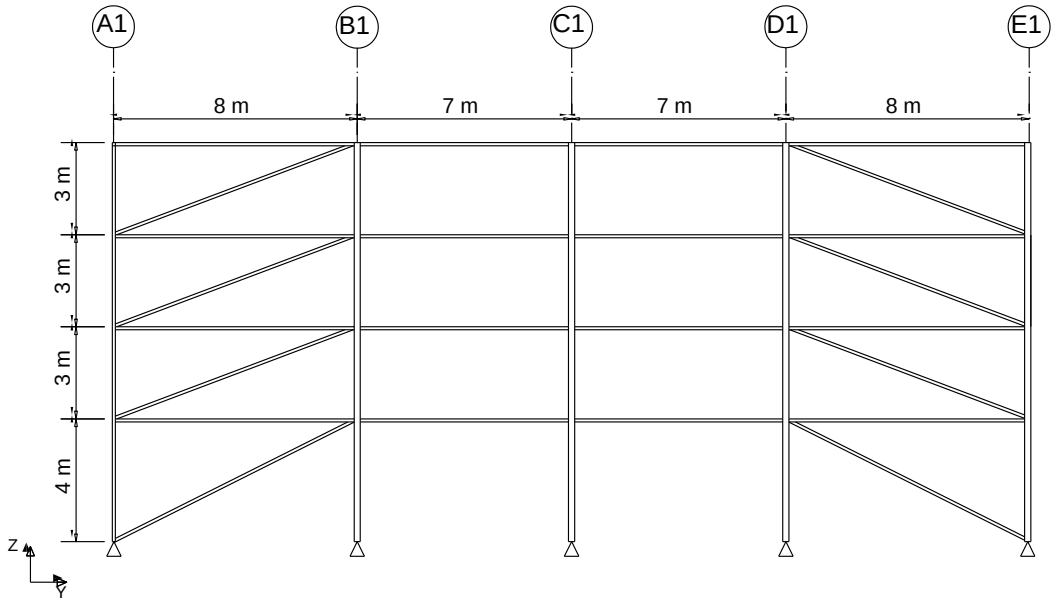
Şekil 4.2. 4 Katlı yapının çaprazsız düzenlenmiş modelinin 3 boyutlu görünümü.



Şekil 4.3. 4 Katlı yapının çaprazlı düzenlenmiş modelinin 3 boyutlu görünümü.



Şekil 4.4 4 Katlı Yapı XZ düzlemi tipik sistem enkesiti (A Aksı Çerçevesi).



Şekil 4.5 4 Katlı yapı YZ düzlemi tipik sistem enkesiti (1 Aksı Çerçevesi).

4.2. Yükler

Sistemlerin boyutlandırılmasında hesaba katılacak düşey sabit ve hareketli yükler ve rüzgar yükleri için TS 498 'den faydalanılmıştır. Deprem yükleri için ise DBYBHY-2007 Eşdeğer Derpem Yükü Yöntemi'ndeki yük hesapları kullanılmıştır. Hesaplarda kullanılan yükler aşağıdaki gibidir.

4.2.1. Düşey yükler

a)Çatı Döşemesi:	Çatı Kaplaması	1.0 kN/m^2
	izolasyon	0.2 kN/m^2
	trapez sac + betonarme döşeme	2.1 kN/m^2
	asma tavan+ tesisat	0.5 kN/m^2
	çelik konstrüksiyon	0.5 kN/m^2
		g=4.3 kN/m^2
	Hareketli Yük	q= 1.0 kN/m^2
b) Normal kat döşemesi:	kaplama	0.5 kN/m^2
	trapez sac + betonarme döşeme	2.1 kN/m^2
	asma tavan + tesisat	0.5 kN/m^2
	bölme duvarlar	1.0 kN/m^2
	çelik konstrüksiyon (kolonlar dahil)	0.8 kN/m^2
		g=4.9 kN/m^2
	Hareketli yük	q=2.0 kN/m^2
c) Dış Duvar Yükü (Normal Katlarda):		g_d=3.0 kN/m

Not: Merdiven ve asansör bölgesindeki sabit ve hareketli yüklerin döşemenin diğer bölgelerindeki sabit ve hareketli yüklere eşit olduğu varsayılmıştır.

4.2.2. Deprem yükleri

Deprem yüklerinin hesabında göz önüne alınacak karakteristikler, birinci doğal titreşim periyodunun hesabı, toplam eşdeğer yükün hesabı ve hesaplanan bu yükün katlara dağıtılması durumu, 4 katlı yapı için ayrıntılı olarak açıklanmış, diğer yapıların bu parametreleri de tablo haline getirilerek verilmiştir.

4.2.2.1. Deprem karakteristikleri

Tasarımı yapılacak olan dört çelik bina da, birinci derece deprem bölgesinde, Z2 yerel zemin sınıfı üzerinde inşa edilecek ve işyeri olarak kullanılacaktır.

- Etkin yer ivmesi katsayısı (1. Derece Deprem Bölgesi) A_0 = 0.4 (DBYBHY-2007 Tablo 2.2)
- Bina önem katsayısı (konutlar ve işyerleri) I=1.00 (DBYBHY-2007 Tablo-2.3)
- Spektrum karakteristik periyotları T_A = 0.15 sn, T_B = 0.40 s (DBYBHY-2007 Tablo 2.4 , Z2 yerel zemin sınıfı)
- Taşıyıcı sistemin davranış katsayısı; R=7 (AISC-340-05 Table R-3)
- Hareketli yük katılım katsayısı; n=0.30 (DBYBHY-2007 Tablo 2.7)

4.2.2.2. Binaların birinci doğal titreşim periyotlarının belirlenmesi

Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi' nin uygulanmasında, binanın her iki deprem doğrultusundaki birinci doğal titreşim periyotları deprem yönetmeliğinde bulunan, aşağıdaki denklem ile hesaplanır**(4.1)**.

$$T_1 = 2\pi \left(\frac{\sum_{i=1}^{N} m_i d_{fi}^2}{\sum_{i=1}^{N} F_{fi} d_{fi}} \right)^{1/2} \qquad \textbf{(4.1)}$$

Bu denklemde, m_i toplam kat kütlelerini göstermektedir ve w_i, g_i, q_i sırasıyla toplam kat ağırlıkları ile katların toplam sabit ve hareketli yükleri olmak üzere aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır**(4.2)**.

$$m_i = \frac{w_i}{g} = \frac{1}{g}\left[g_i + n q_i \right] \quad \text{(n=0.30)} \qquad \textbf{(4.2)}$$

Kat ağırlıkları ve kat kütleleri 3. Normal Kat için aşağıda ayrıntılı olarak hesaplanmıştır. Diğer sonuçlar Tablo 1.'de verilmiştir.

$$w_4 = 30 \times 34 \times (4.9 + 0.3 \times 2.0) + 2 \times (34 + 30) \times 3.0 = 5994kN$$

$$m_4 = \frac{5994}{9.81} = 611.01kNs^2 / m$$

Çizelge 4.1 : 4 Katlı yapının kat ağırlıkları ve kat kütleleri.

Kat	**W_i** [kN]	**m_i** [kNs^2/m]
Çatı	4692.00	478.29
3	5994.00	611.01
2	5994.00	611.01
1	5994.00	611.01
Σ	22674.00	2311.31

F_{fi} fiktif kuvvetleri kat ağırlıkları ve kat yükseklikleri ile orantılı kuvvetlerdir ve aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilir**(4.3)**.

$$F_{fi} = \frac{w_i H_i}{\sum_{j=1}^{N} w_j H_j} F_o \qquad \textbf{(4.3)}$$

Burada F_0 , seçilen herhangi bir yük katsayısıdır ve F_0 = 1000 kN olarak alınacaktır. Ön boyutlandırma sonucu kiriş ve kolon enkesitleri belirlenen sisteme x ve y doğrultusunda ayrı ayrı F_{fi} kuvvetleri katların kütle merkezine etkitilerek kat yerdeğiştirmeleri bulunur. Fiktif yüklerden oluşan kat yerdeğiştirmeleri Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3'de verilmiştir.

Çizelge 4.2 : 4 Katlı yapının fiktif yüklerden dolayı oluşan kat yerdeğiştirmeleri (x-Doğrultusu).

Kat	**F_{fi}**	**d_{fix} (m)**	**m_i**	**$m_i d_{fix}^2$**	**$F_{fi} d_{fix}$**
Çatı	326.41	0.0109	478.29	0.05683	3.557855
3	320.76	0.0087	611.01	0.04625	2.790592
2	224.53	0.0056	611.01	0.01916	1.25737
1	128.30	0.0031	611.01	0.00587	0.39774
Σ	1000.00			0.12811	8.003558

Çizelge 4.3 : 4 Katlı Yapının Fiktif Yüklerden Dolayı Oluşan Kat Yerdeğiştirmeleri (y-Doğrultusu).

Kat	**F_{fi}**	**d_{fix} (m)**	**m_i**	**$m_i d_{fix}^2$**	**$F_{fi} d_{fix}$**
Çatı	326.41	0.0119	478.29	0.0677303	3.884264
3	320.76	0.0097	611.01	0.0574899	3.11135
2	224.53	0.0064	611.01	0.0250269	1.436995
1	128.30	0.0035	611.01	0.0074849	0.449061
Σ	1000.00			0.1577319	8.88167

Fiktif yüklerden oluşan yerdeğiştirmeler her iki doğrultu için de bulunduktan sonra, doğal titreşim periyotları DBYBHY-2007 yer alan aşağıdaki denklem ile hesaplanır**(4.4)**.

$$T_1 = 2\pi \left(\frac{\sum_{i=1}^{N} m_i d_{fi}^2}{\sum_{i=1}^{N} F_{fi} d_{fi}} \right)^{1/2} \qquad \textbf{(4.4)}$$

x doğrultusundaki birinci doğal titreşim periyodu,

$$T_{1x} = 2\pi \left(\frac{0.1281}{8.004} \right)^{1/2} = 0.795s$$

y doğrultusundaki birinci doğal titreşim periyodu,

$$T_{1y} = 2\pi \left(\frac{0.158}{8.8817} \right)^{1/2} = 0.837s$$

olarak bulunmuştur.

6 Katlı Yapı için hesaplanan her iki doğrultu için birinci doğal titreşim periyodu;

$T_{1x} = 1.120s$ ve $T_{1y} = 1.157s$

8 Katlı Yapı için hesaplanan her iki doğrultu için birinci doğal titreşim periyodu;

$T_{1x} = 1.490s$ ve $T_{1y} = 1.509s$

8 Katlı Yapı için hesaplanan her iki doğrultu için birinci doğal titreşim periyodu;

$T_{1x} = 1.838s$ ve $T_{1y} = 1.828s$

şeklindedir.

4.2.2.3.Toplam eşdeğer deprem yükü hesabı

Toplam eşdeğer deprem kuvveti (taban kesme kuvveti), V_t, DBYBHY-2007'de belirtilen, **(4.5)** denklemi ile hesaplanacaktır.

$$V_t = \frac{WA(T_1)}{R_a(T_1)} \geq 0.10 A_o IW \qquad \textbf{(4.5)}$$

Örnek olarak yapılan katlı yapının eşdeğer deprem yükü aşağıdaki gibidir.

Binanın x doğrultusundaki taban kesme kuvveti,

T_{1x}=0.795 s > 0.4 s = T_B

$S(T_{1x}) = 2.5\left(\frac{0.40}{0.795}\right)^{0.8} = 1.44$ ve $R_{ax}(T_{1x}) = R_x = 7$

değerleri kullanılarak,

$$V_{tx} = 22674.0\frac{0.4 \times 1.0 \times 1.44}{7} = 1869.91kN$$

şeklinde hesaplanır.

Aynı şekilde binanın y doğrultusundaki taban kesme kuvveti,

T_{1y} = 0.837s > 0.40 s = T_B

$S(T_{1y}) = 2.5\left(\frac{0.40}{0.837}\right)^{0.8} = 1.384$ ve $R_{ay}(T_{1y}) = R_y = 7$

değerleri kullanılarak,

$$V_{ty} = 22674.0\frac{0.4\times1.0\times1.384}{7} = 1793.76kN$$

olarak elde edilir.

6 Katlı yapı için hesaplanmış olan taban kesme kuvvetleri;

$V_{tx} = 2172.69kN$ ve $V_{ty} = 2117.65kN$

8 Katlı yapı için hesaplanmış olan taban kesme kuvvetleri;

$V_{tx} = 2327.18kN$ ve $V_{ty} = 2304.31kN$

10 Katlı yapı için hesaplanmış olan taban kesme kuvvetleri;

$V_{tx} = 2473.34kN$ ve $V_{ty} = 2484.48kN$

olarak hesaplanmıştır.

4.2.2.4.Katlara etkiyen deprem yükünün belirlenmesi

DBYBHY-2007' ye göre toplam eşdeğer deprem yükü, bina katlarına etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin toplamı olarak ifade edilir. Binanın N'inci katına etkiyen ek eşdeğer deprem yükü ΔF_N, x ve y doğrultuları için, **(4.6)** denklemi ile elde edilecektir.

$$\Delta F_N = 0.0075NV_t \qquad \textbf{(4.6)}$$

$$\Delta F_{Nx.} = 0.0075NV_{tx} = 0.0075\times4\times1869.91 = 56.10kN$$
$$\Delta F_{Ny.} = 0.0075NV_{ty} = 0.0075\times4\times793.76 = 53.81kN$$

şeklinde hesaplanır.

Toplam eşdeğer deprem yükünün ΔF_N tepe kuvveti dışında kalan kısmı, N'inci kat dahil olmak üzere, binanın katlarına DBYBHY-2007'de belirtilen **(4.7)** denklemi yardımı ile ile dağıtılacaktır.

$$F_i = (V_t - \Delta F_N)\frac{w_i H_i}{\sum_{j=1}^{N} w_j H_j} \qquad \textbf{(4.7)}$$

x ve y doğrultuları için;

$$F_{ix} = (1869.91 - 56.10)\frac{w_i H_i}{\sum_{j=1}^{N} w_j H_j} \qquad \text{ve}$$

$$F_{iy} = (1793.76 - 53.81)\frac{w_i H_i}{\sum_{j=1}^{N} w_j H_j}$$

denklemleri ile hesaplanan F_{ix} ve F_{iy} eşdeğer deprem yükleri, Çizelge 4.4 'te katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri olarak verilmiştir.

Çizelge 4.4 : 4 Katlı yapıda katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri.

Kat	$w_i H_i / \sum w_i H_i$	F_{ix} **(kN)**	F_{iy} **(kN)**
Çatı	0.326409	648.1407	621.7466
3	0.320758	581.7937	558.1014
2	0.22453	407.2556	390.6709
1	0.128303	232.7175	223.2405
Σ	1	1869.907	1793.759

6 Katlı yapı için hesaplanan ek eşdeğer deprem yükü ΔF_N, x ve y doğrultuları için,

$$\Delta F_{Nx.} = 0.0075 N V_{tx} = 97.77 kN \text{ ve } \Delta F_{Ny.} = 0.0075 N V_{tx} = 95.29 kN$$

Çizelge 4.5. ise 6 katlı yapıda katlara etkiten eşdeğer deprem yüklerini göstermektedir.

Çizelge 4.5 : 6 Katlı yapıda katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri.

Kat	$w_i H_i / \sum w_i H_i$	F_{ix} **(kN)**	F_{iy} **(kN)**
Çatı	0.229262	573.4698	558.9441
5	0.246636	511.7494	498.7869
4	0.200392	415.7964	405.2644
3	0.154148	319.8434	311.7418
2	0.107903	223.8903	218.2193
1	0.061659	127.9373	124.6967
Σ	1	2172.687	2117.653

8 Katlı yapı için hesaplanan ek eşdeğer deprem yükü ΔF_N, x ve y doğrultuları için,

$$\Delta F_{Nx.} = 0.0075 N V_{tx} = 97.77 kN \text{ ve } \Delta F_{Ny.} = 0.0075 N V_{tx} = 95.29 kN$$

Çizelge 4.6. ise 8 katlı yapıda katlara etkiten eşdeğer deprem yüklerini göstermektedir.

Çizelge 4.6 : 8 Katlı yapıda katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri.

Kat	$w_i H_i / \sum w_i H_i$	F_{ix} **(kN)**	F_{iy} **(kN)**
Çatı	0.176989	526.8034	521.6251
7	0.19897	435.257	430.9785
6	0.171838	375.9037	372.2087
5	0.144705	316.5505	313.4389
4	0.117573	257.1973	254.6691
3	0.090441	197.8441	195.8993
2	0.063309	138.4909	137.1295
1	0.036176	79.13763	78.35974
Σ	1	2327.184	2304.309

10 Katlı yapı için hesaplanan ek eşdeğer deprem yükü ΔF_N , x ve y doğrultuları için,

$$\Delta F_{Nx.} = 0.0075 N V_{tx} = 185.50 kN \text{ ve } \Delta F_{Ny.} = 0.0075 N V_{tx} = 183.83 kN$$

Çizelge 4.7. ise 10 katlı yapıda katlara etkiten eşdeğer deprem yüklerini göstermektedir.

Çizelge 4.7 : 10 katlı yapıda katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri.

Kat	$w_i H_i / \sum w_i H_i$	F_{ix} **(kN)**	F_{iy} **(kN)**
Çatı	0.144213	515.4379	517.7588
9	0.166403	380.7032	382.4175
8	0.148574	339.9136	341.4442
7	0.130745	299.124	300.4709
6	0.112916	258.3343	259.4976
5	0.095087	217.5447	218.5243
4	0.077259	176.7551	177.551
3	0.05943	135.9654	136.5777
2	0.041601	95.17581	95.60437
1	0.023772	54.38618	54.63107
Σ	1	2473.34	2484.477

4.2.3. Rüzgar yükleri

Rüzgar yükleri TS498 Yük Standardına göre belirlenecektir. Rüzgar doğrultusuna dik olan yüzeye yayılı olarak etkiyen rüzgar yükleri, kat döşemelerine etkiyen statikçe eşdeğer kuvvetlere dönüştürülerek hesap yapılacaktır.

Bir kat döşemesine etkiyen W_i eşdeğer rüzgar kuvveti;

$$W_i = c_f q A_i \qquad \textbf{(4.8)}$$

denklemi ile hesaplanır**(4.8)**.

Burada,c_f , aerodinamik yük katsayısıdır. Plandaki izdüşümü dikdörtgen olan ve yükseklik/genişlik oranı 5'i aşmayan bina türü yapılarda $c_f = 1.2$ değerini almaktadır.

q ise nominal rüzgar basıncıdır. Bina yüksekliğine bağlı olarak,

$0 < H \le 8.0m$ için q= 0.5 kN/m^2

$8.0m < H \le 20.0m$ için q=0.8 kN/m^2

bağıntıları ile hesaplanır.

A_i : Kat döşemesine rüzgar yükü aktaran alandır ve rüzgar doğrultusuna dik olan yüzeyin genişliği ile ardışık iki katın yüksekliklerinin ortalamasının çarpımı suretiyle elde edilir.

Buna göre 4 katlı yapıda, x doğrultusu ve y doğrultusunda yapıya etkiyen rüzgar kuvvetleri Çizelge 4.8'de hesaplandığı gibidir.

Çizelge 4.8 : 4 Katlı yapı x ve y doğrultusunda katlara etkiyen rüzgar yükü.

KAT	X –Doğrultusu (kN)	Y-Doğrultusu (kN)
Çatı	49.96	43.20
3	97.92	86.40
2	67.32	59.40
1	71.40	63.00

Sırasıyla 6 Katlı yapının her iki doğrultuda katlara etkiyen rüzgar yükleri Çizelge 4.9'da , 8 katlı yapınınki Çizelge 4.9'da, 10 katlı yapınınki ise Çizelge 4.10'da belirtilmiştir.

Çizelge 4.9 : 6 Katlı yapı x ve y doğrultusunda katlara etkiyen rüzgar yükü.

KAT	X –Doğrultusu (kN)	Y-Doğrultusu (kN)
Çatı	48.96	43.20
5	97.92	86.40
4	97.92	86.40
3	97.92	86.40
2	67.32	59.40
1	71.40	63.00

Çizelge 4.10 : 8 Katlı yapı x ve y doğrultusunda katlara etkiyen rüzgar yükü.

KAT	X –Doğrultusu (kN)	Y-Doğrultusu (kN)
Çatı	67.32	59.40
7	134.64	118.80
6	104.04	91.80
5	97.92	86.40
4	97.92	86.40
3	97.92	86.40
2	67.32	59.40
1	71.40	63.00

Çizelge 4.11. 10 Katlı yapı x ve y doğrultusunda katlara etkiyen rüzgar yükü.

KAT	X –Doğrultusu (kN)	Y-Doğrultusu (kN)
Çatı	67.32	59.40
9	134.64	118.80
8	134.64	118.80
7	134.64	118.80
6	104.04	91.80
5	97.92	86.40
4	97.92	86.40
3	97.92	86.40
2	67.32	59.40
1	71.40	63.00

4.3. Yük Birleşimleri

Yapı sisteminin düşey yükleri ile yatay deprem ve rüzgar kuvvetleri altında analizi ile elde edilen iç kuvvetler DBYBHY-2007 ve TS648 Çelik Yapılar Standardına uygun olarak aşağıdaki şekilde birleştirilecektir.

a) Düşey yük birleşimleri : $G+Q$ (1 Yükleme)

b) Düşey yük+ deprem birleşimleri : $G+Q\pm E_{x1}\pm 0.3E_y$ (32Yükleme)
$G+Q\pm E_{x2}\pm 0.3\ E_y$
$G+Q\pm 0.3E_x\pm E_{y1}$
$G+Q\pm 0.3E_x\pm E_{y2}$
$0.9G\pm E_{x1}\pm 0.3\ E_y$
$0.9G\pm E_{x2}\pm 0.3\ E_y$
$0.9G\pm 0.3E_x\pm E_{y1}$
$0.9G\pm 0.3E_x\pm E_{y2}$

c) Düşey yük + rüzgar birleşimleri : $G+Q\pm W_x$ (8 Yükleme)
$G+Q\pm W_y$
$0.9G\pm W_x$
$0.9G\pm W_y$

Burada;

G : Sabit yüklerden oluşan iç kuvvetler

Q : Hareketli yüklerden oluşan iç kuvvetler

E_{x1}, E_{y1} : (x) doğrultusunda kat kütle merkezinin, bir doğrultuya dik doğrultudaki bina genişliğinin +%5'i ve -%5 kadar kaydırılması ile belirlenen noktalara uygulanan deprem yüklerinden oluşan iç kuvvetler

E_{y1}, E_{y2} : (y) doğrultusunda kat kütle merkezinin, bir doğrultuya dik doğrultudaki bina genişliğinin +%5'i ve -%5 kadar kaydırılması ile belirlenen noktalara uygulanan deprem yüklerinden oluşan iç kuvvetler

W_x,W_y : sırasıyla (x) ve (y) doğrultularındaki rüzgar yüklerinden oluşan iç kuvvetlerdir.

Yönetmeliğin gerekli gördüğü yerlerde, çelik yapı elemanlarının ve birleşim detaylarının tasarımında arttırılmış deprem yüklemeleri gözönüne alınacaktır.

Arttırılmış deprem yüklemelerinde, deprem etkilerinden oluşan iç kuvvetler Ω_0 ”Büyütme Katsayıları” ile çarpılarak arttırılır.

AISC-340-05 Table R-3’e göre;

$\Omega_0 = 2.0$ değerini almaktadır.

DBYBHY-2007 Bölüm 4, Madde 4.2.3.5’e göre “Düşey yükler ve depremin ortak etkisi altında Güvenlik Katsayıları ile Tasarım yöntemine göre yapılan kesit hesaplarında, emniyet gerilmeleri en fazla %33 arttırılacaktır.” İfadesi yer almaktadır. Buna göre, hesaplarda, iç kuvvetler alınırken emniyet gerilmelerini %33 arttırmak yerine, deprem yüklerini ve hareketli yükü %25 azaltma yoluna gidilmiştir. Yani;

(G+0.75G)+0.75E

kombinasyonları kesit hesaplarında göz önüne alınacaktır. Sabit yükler, yapıda her durumda bulunacağından, sabit yüklerde yük azaltılması yapılmamıştır.

4.4. Sistem Analizleri

Ön boyutlandırma sonucunda enkesit profilleri belirlenen yapı sisteminin, yukarıdaki bölümlerde hesaplanan düşey yükler ile deprem ve rüzgar kuvvetleri altında analizi yapılmış ve yük bileşimleri için eleman iç kuvvetleri SAP2000 bilgisayar programı yardımıyla elde edilmiştir. Daha önce de belirtildiği gibi sistem analizleri için iki ayrı model kullanılmıştır. Bir modelde yalnızca düşey yüklerin olduğu düşünülmüş, hazırlanan ikinci modele ise yalnızca yatay yükler etkitilmiştir. Burada amaç, çelik çaprazların düşey yüklerden etkilenmesini önlemektir. Sonrasında kesit tasarımı yapılırken iç kuvvetler iki modelden de alınarak gerekli süperpozisyonlar yapılmıştır.

4.4.1. Göreli kat öteleme kontrolü

Göreli kat öteleme kontrolü DBYBHY-2007 Bölüm 2.10’a göre yapılacaktır.
Herhangi bir kolon için, ardışık iki kat arasında yatay yerdeğiştirme farkını ifade eden azaltılmış göreli kat ötelemesi, Δ_i

$$\Delta_i = d_i - d_{i-1} \qquad \textbf{(4.9)}$$

denklemi ile hesaplanır **(4.9)**. Bu denklemde d_i ve d_{i-1}, her bir deprem doğrultusu için binanın ardışık iki katında, herhangi bir kolonun uçlarında, azaltılmış deprem yüklerinden meydana gelen en büyük yatay yerdeğiştirmeleri göstermektedir.

Her bir deprem doğrultusunda, binanın i'inci katındaki kolonlar için etkin göreli kat ötelemesi, δ_i

$$\delta_i = R\Delta_i \qquad \textbf{(4.10)}$$

bağıntısı ile hesaplanacaktır **(4.10)**.

x ve y doğrultularında %5 ek dış merkezlikle uygulanan E_{x1} ve E_{y1} deprem yükleri altında, yapı sisteminin analizi ile elde edilen d_{ix} ve d_{iy} yatay yerdeğiştirmelerinin her katta aldığı değerler, ardışık katlar arasındaki azaltılmış göreli kat ötelemeleri 4 katlı yapı için, Çizelge 4.12 ve Çizelge 4.13 'te verilmiştir. Hesaplarda, ana deprem doğrultusundaki deprem yüklerinden dolayı, bu doğrultuya dik doğrultudaki yerdeğiştirmelerin bileşke yerdeğiştirmeye etkisi terk edilmiştir.

Her bir deprem doğrultusu için, binanın her katındaki azaltılmış göreli kat ötelemeleri söz konusu deprem doğrultusundaki deprem yükü azaltma katsayısı, R ile çarpılarak δ_i etkin göreli kat ötelemeleri hesaplanarak ilgili kolonlara yazılmıştır. Bu değerlerin kat yüksekliklerine oranı da tabloların son kolonunda yer almaktadır.

Çizelge 4.12 : 4 Katlı yapının x- doğrultusunda göreli kat ötelemelerinin kontrolü.

Kat	**h_i(cm)**	**d_{ix}(cm)**	**Δ_{ix} (cm)**	$\delta_{ix} = R\Delta_{ix}(cm)$	δ_{ix} / h_i
Çatı	300	2.17	0.45	3.15	0.0105
3	300	1.72	0.61	4.27	0.014233
2	300	1.11	0.5	3.5	0.011667
1	400	0.61	0.61	4.27	0.010675

Çizelge 4.13 – 4 Katlı yapının y- doğrultusunda göreli kat ötelemelerinin kontrolü.

Kat	**h_i(cm)**	**d_{iy}(cm)**	**Δ_{iy} (cm)**	$\delta_{iy} = R\Delta_{iy}(cm)$	δ_{iy} / h_i
Çatı	300	2.29	0.43	3.01	0.010033
3	300	1.86	0.65	4.55	0.015167
2	300	1.21	0.55	3.85	0.012833
1	400	0.66	0.66	4.62	0.01155

δ_i / h_i oranlarının en büyük değerlerinin, x ve y doğrultularında Yönetmelikte öngörülen $(\delta_i / h_i)_{\max} < 0.02$ koşulu sağlaması gerekir.

Buna göre;

$(\delta_{ix} / h_i)_{\max} = 0.0142 < 0.02$ ve

$(\delta_{iy} / h_i)_{\max} = 0.0152 < 0.02$

olduğundan, koşul sağlanmaktadır.

6 katlı yapı ile ilgili göreli kat ötelemesi kontrolleri Çizelge 4.14'te ve Çizelge 4.15'te ilgili doğrultular için toparlanmıştır.

Çizelge 4.14 : 6 katlı yapının x - doğrultusunda göreli kat ötelemelerinin kontrolü.

Kat	**h_i(cm)**	**d_{iy}(cm)**	**Δ_{iy} (cm)**	$\delta_{iy} = R\Delta_{iy}(cm)$	δ_{iy} / h_i
Çatı	300	3.72	0.5	3.5	0.011667
5	300	3.22	0.72	5.04	0.0168
4	300	2.5	0.63	4.41	0.0147
3	300	1.87	0.66	4.62	0.0154
2	300	1.21	0.56	3.92	0.013067
1	400	0.65	0.65	4.55	0.011375

Çizelge 4.15 : 6 Katlı yapının **y** - doğrultusunda göreli kat ötelemelerinin kontrolü.

Kat	**h_i(cm)**	**d_{iy}(cm)**	**Δ_{iy} (cm)**	$\delta_{iy} = R\Delta_{iy}(cm)$	δ_{iy} / h_i
Çatı	300	3.69	0.5	3.5	0.011667
5	300	3.19	0.72	5.04	0.0168
4	300	2.47	0.62	4.34	0.014467
3	300	1.85	0.65	4.55	0.015167
2	300	1.2	0.56	3.92	0.013067
1	400	0.64	0.64	4.48	0.0112

Buna göre;

$(\delta_{ix} / h_i)_{\max} = 0.0168 < 0.02$ ve

$(\delta_{iy} / h_i)_{\max} = 0.0168 < 0.02$

olduğundan, koşul sağlanmaktadır.

8 katlı yapı ile ilgili göreli kat ötelemesi kontrolleri Çizelge 4.16 ve Çizelge 4.17'de ilgili doğrultular için toparlanmıştır.

Çizelge 4.16 : 8 Katlı yapının x - doğrultusunda göreli kat ötelemelerinin kontrolü.

Kat	**h_i(cm)**	**d_{iy}(cm)**	**Δ_{iy} (cm)**	$\delta_{iy} = R\Delta_{iy}(cm)$	δ_{iy} / h_i
Çatı	300	5.5	0.69	4.83	0.0161
7	300	4.81	0.85	5.95	0.019833
6	300	3.96	0.74	5.18	0.017267
5	300	3.22	0.76	5.32	0.017733
4	300	2.46	0.68	4.76	0.015867
3	300	1.78	0.65	4.55	0.015167
2	300	1.13	0.53	3.71	0.012367
1	400	0.6	0.6	4.2	0.0105

Çizelge 4.17 : 8 Katlı yapının y - doğrultusunda göreli kat ötelemelerinin kontrolü.

Kat	**h_i(cm)**	**d_{iy}(cm)**	**Δ_{iy} (cm)**	$\delta_{iy} = R\Delta_{iy}(cm)$	δ_{iy} / h_i
Çatı	300	5.45	0.6	4.2	0.014
7	300	4.85	0.79	5.53	0.018433
6	300	4.06	0.71	4.97	0.016567
5	300	3.35	0.75	5.25	0.0175
4	300	2.6	0.69	4.83	0.0161
3	300	1.91	0.67	4.69	0.015633
2	300	1.24	0.59	4.13	0.013767
1	400	0.65	0.65	4.55	0.011375

Buna göre;

$(\delta_{ix} / h_i)_{\max} = 0.0198 < 0.02$ ve

$(\delta_{iy} / h_i)_{\max} = 0.0184 < 0.02$

olduğundan, koşul sağlanmaktadır.

10 katlı yapı ile ilgili göreli kat ötelemesi kontrolleri Çizelge 4.18 ve Çizelge 4.19'da ilgili doğrultular için toparlanmıştır.

Çizelge 4.18 : 10 Katlı yapının x - doğrultusunda göreli kat ötelemelerinin kontrolü.

Kat	**h_i(cm)**	**d_{iy}(cm)**	**Δ_{iy} (cm)**	$\delta_{iy} = R\Delta_{iy}(cm)$	δ_{iy} / h_i
Çatı	300	7.3	0.74	5.18	0.017267
9	300	6.56	0.84	5.88	0.0196
8	300	5.72	0.82	5.74	0.019133
7	300	4.9	0.84	5.88	0.0196
6	300	4.06	0.8	5.6	0.018667
5	300	3.26	0.78	5.46	0.0182
4	300	2.48	0.7	4.9	0.016333
3	300	1.78	0.65	4.55	0.015167
2	300	1.13	0.54	3.78	0.0126
1	400	0.59	0.59	4.13	0.010325

Çizelge 4.19 :10 Katlı yapının y - doğrultusunda göreli kat ötelemelerinin kontrolü.

Kat	**h_i(cm)**	**d_{iy}(cm)**	**Δ_{iy} (cm)**	$\delta_{iy} = R\Delta_{iy}(cm)$	δ_{iy} / h_i
Çatı	300	7.2	0.67	4.69	0.0156
9	300	6.53	0.84	5.88	0.0196
8	300	5.69	0.78	5.46	0.0182
7	300	4.91	0.83	5.81	0.0194
6	300	4.08	0.75	5.25	0.0175
5	300	3.33	0.75	5.25	0.0175
4	300	2.58	0.7	4.9	0.0163
3	300	1.88	0.67	4.69	0.0156
2	300	1.21	0.57	3.99	0.0133
1	400	0.64	0.64	4.48	0.0112

Buna göre;

$(\delta_{ix} / h_i)_{\max} = 0.0198 < 0.02$ ve

$(\delta_{iy} / h_i)_{\max} = 0.0196 < 0.02$

olduğundan, koşul sağlanmaktadır.

4.4.2. İkinci mertebe etkileri

DBYBHY-2007 Bölüm 2.10.2 uyarınca, gözönüne alınan deprem doğrultusundaki her bir katta, ikinci mertebe etkilerini temsil eden ikinci mertebe gösterge değeri, θ_i hesaplanarak,

$$\theta_i = \frac{(\Delta_i)_{ort} \sum_{j=1}^{N} w_j}{V_i h_i} \leq 0.12 \qquad \textbf{(4.11)}$$

koşulu kontrol edilecektir**(4.11)**.

Bu bağıntıda, $(\Delta_i)_{ort}$,i'inci kat için yukarıdaki bölümde tanımlanan azaltılmış göreli kat ötelemelerinin kat içindeki ortalama değerini, V_i, gözönüne alınan deprem doğrultusunda binanın i'inci katına etkiyen kay kesme kuvvetini,h_i, binanın i'inci katının kat yüksekliğini ,w_j, binanın j'inci katının, hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak hesaplanan ağırlığını göstermektedir.

Binada kat döşemeleri rijit diyafram olarak çalışmaktadır. E_{x1} ve E_{x2} yüklemelerinden dolayı kat kütle merkezinde meydana gelen azaltılmış göreli kat ötelemelerinin ortalaması, x doğrultusu için $(\Delta_i)_{ort}$ olarak alınabilmektedir. Aynı şekilde y doğrultusu için de ortalama alınacaktır.

- 4 Katlı yapı için,

$$\left(\Delta_{2y}\right)_{ort} = \left(\left(d_{2y}\right)_{ort} - \left(d_{1y}\right)_{ort}\right) = 1.21 - 0.66 = 0.55cm$$

$$\sum_{j=2}^{4} w_j = 2 \times 5994 + 4692 = 16680.0kN$$

V_{2y}=1637.19 kN

h_2=300 cm

$$\theta_{\max} = \theta_{2y} = \frac{0.55 \times 16680.0}{1637.19 \times 300} = 0.0187 < 0.12$$

koşulu sağlanmaktadır.

- 6 Katlı yapı için,

$$\left(\Delta_{2y}\right)_{ort} = \left(\left(d_{2y}\right)_{ort} - \left(d_{1y}\right)_{ort}\right) = 1.2 - 0.64 = 0.56cm$$

$$\sum_{j=2}^{6} w_j = 4 \times 5994 + 4692 = 28668.0kN$$

V_{2y}=1992.96 kN

h_2=300 cm

$$\theta_{\max} = \theta_{2y} = \frac{0.56 \times 28668.0}{1992.96 \times 300} = 0.0269 < 0.12$$

koşulu sağlanmaktadır.

- 8 Katlı yapı için,

$$\left(\Delta_{2y}\right)_{ort} = \left(\left(d_{2y}\right)_{ort} - \left(d_{1y}\right)_{ort}\right) = 1.24 - 0.65 = 0.59cm$$

$$\sum_{j=2}^{8} w_j = 6 \times 5994 + 4692 = 40656.0kN$$

V_{2y}=2225.95 kN

h_2=300 cm

$$\theta_{\max} = \theta_{2y} = \frac{0.56 \times 40656.0}{2225.95 \times 300} = 0.0341 < 0.12$$

koşulu sağlanmaktadır.

- 10 Katlı yapı için,

$$\left(\Delta_{2y}\right)_{ort} = \left(\left(d_{2y}\right)_{ort} - \left(d_{1y}\right)_{ort}\right) = 1.21 - 0.64 = 0.57cm$$

$$\sum_{j=2}^{10} w_j = 8 \times 5994 + 4692 = 52644.0kN$$

V_{2y}=2429.85 kN

h_2=300 cm

$$\theta_{\max} = \theta_{2y} = \frac{0.57 \times 52644.0}{2429.85 \times 300} = 0.0411 < 0.12$$

koşulu sağlanmaktadır.

4.5. Boyutlandırma Hesapları

Boyutlandırma hesapları iki aşamada incelenmiştir. İlk aşamada, ön boyutlandırması yapılan sistemlerin, verilen yük kombinasyonlarının etkin olanına göre, AISC 361-10 yönetmeliğindeki esaslar kullanılarak güvenlik katsayıları ile tasarım esasları kullanılarak kontroller yapılmıştır. Çaprazların kontrollerinde ise AISC341-10 yönetmeliği esasları kullanılmıştır.

Boyutladırma tamamlandıktan sonra, çaprazlı çerçeveler için dayanım esaslı kontrolleri gerçekleştirilmiştir. Dayanım kontrollerinde AISC341-10 'da verilen kurallar ve AISC Tasarım Kılavuzu'nda bulunan örnekler kullanılarak, çaprazların dayanıma ulaştıkları durumda, bağlı oldukları kolon ve kirişlerdeki durum kontrol edilmiştir ve boyutlandırma tamamlanmıştır.

4.5.1. AISC 360-10 yönetmeliğine göre boyutlandırma esasları

Çelik yapı tasarımında esas olan üç ayrı tasarım yöntemi mevcuttur. Bunlar, güvenlik katsayıları ile tasarım yöntemi, yük ve dayanım katsayıları ile tasarım ve plastik tasarım olarak gruplandırılır.

Güvenlik katsayıları ile tasarımın ana felsefesi, elemanda işletme yükleri sonucu ortaya çıkan gerilmelerin, çelik malzemenin gerilme – şekil değiştirme eğrisinde elastik bölge içinde kalmasını sağlamaktır. Bu tasarımda, yüklerde arttırma olmaz, göçme sınır gerilmesi bir güvenlik katsayısına bölünerek, kesitteki işletme yüklerine bağlı oluşan gerilmenin daha küçük olmasını sağlamaktır.

Yük ve dayanım katsayıları ile tasarımda, ortaya çıkabilecek göçme durumları olasılıkları istatiksel değerlendirmelere dayanan katsayılar ile hesaplanır. Kesitin dayanımı bir dayanım azaltma katsayısı ile azaltılır. Kesite gelen yük etkisi de bir yük arttırma katsayısı ile arttırılır. Azaltılmış dayanım durumunun arttırılmış yükten fazla olması koşulu aranır.

Bu çalışmada, kesitlerin boyutlandırılması, güvenlik katsayıları ile tasarım ile yapılacaktır. Burkulması önlenmiş çaprazlı çerçevelerin elemanlarının tasarımında ayrıca dayanım esaslı kontroller yapılacaktır.

4.5.1.1.Kiriş tasarımı

Kirişler, genellikle eğilme etkisindeki elemanlar olduğundan, tasarımları AISC 360-10 yönetmeliğindeki Bölüm F – Eğilme Elemanları Tasarımı' na göre yapılacaktır. Ancak, eğilme etkisi ve normal kuvvetin birlikte bulunduğu kirişler de mevcuttur. Bu tip kirişlerin hesabı için aynı yönetmeliğin Bölüm H – Birleşik Kuvvetler ve Burulma Etkisindeki Elemanların Tasarımı, kısmındaki esaslar kullanılacaktır.

Bu çalışmada yer alan kirişlerin tamamı iki ucu mafsallı olacak şekilde bağlanmıştır. Ayrıca kirişlerin üzerinde rijit döşeme olduğundan, basınç etkisi altında olan üst başlıkları tutulu olarak kabul edilmiştir.

İkincil döşeme kirişi olarak adlandırdığımız kirişler, ana çerçeve kirişine mafsallı olarak bağlı olan kirişlerdir. Bu kirişler deprem etkisinden etkilenmediklerinden, yalnızca düşey yükler (G+Q) yüklemesi altında gerilme ve sehim kontrolleri yapılmıştır.

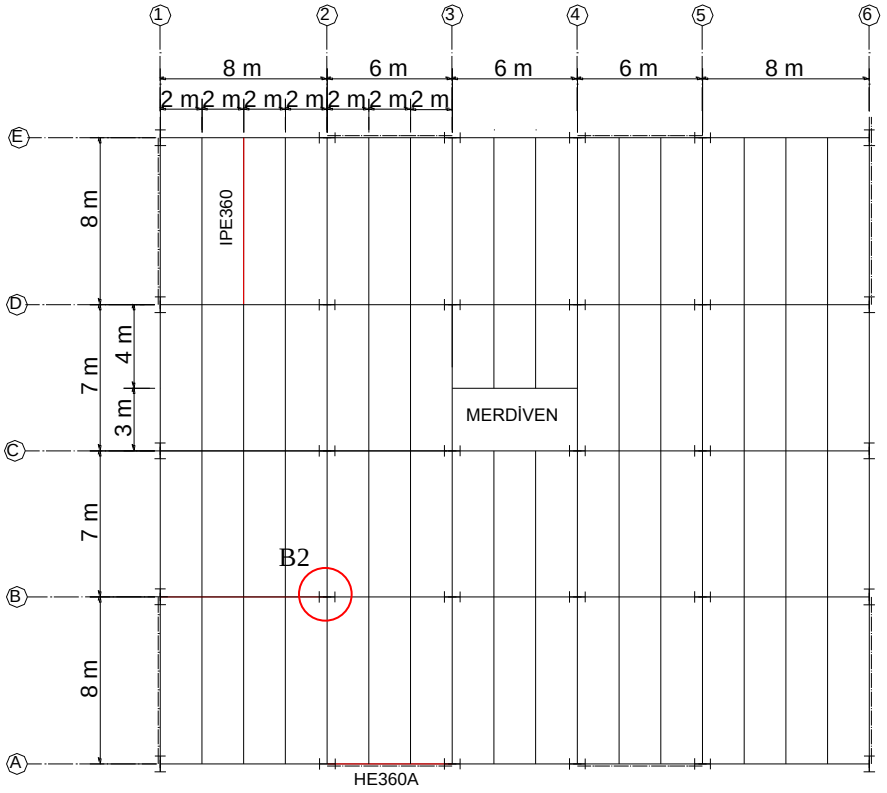
Çaprazların bağlı olmadığı ana çerçeve kirişleri de, yalnızca düşey yükler (G+Q) etkisi altındadır. Bu kirişlerde de yalnızca düşey yükler etkisi altında gerilme ve sehim kontrolleri yapılmıştır.

Çaprazların bağlı olduğu ana çerçeve kirişlerinde ise, çaprazların tasarımı yapıldıktan sonra, çaprazların dayanıma ulaştıkları durumda, dayanım esaslı iç kuvvetleri hesaplanarak, yine dayanım esaslı kontrolleri gerçekleştirilecektir.

Şekil 4.6 'da 4 katlı yapının 1. Kat planı görülmektedir. Kiriş tasarımı için örnek oluşturması açısından planda belirtilen kirişlerin tasarımları yapılacaktır. İkincil döşeme kirişinin ve çaprazsız çerçeveye ait olan ana çerçeve kirişinin tasarımı bu bölümde yer alırken, çaprazlı çerçeveye ait olan kirişin örneği burkulması önlenmiş çaprazın çelik çekirdek boyutları tasarlandıktan sonra yapılacaktır.

Kiriş Tasarım Hesabı Örneği 1: İkincil Döşeme Kirişi Boyutlandırması (IPE 360)

İkincil döşeme kirişleri ana çerçeve kirişlerine mafsallı olarak mesnetlenmişlerdir ve deprem yükleri etkisinde değildirler. Bu nedenle yalnızca eğilme etkisine maruzdur. Normal kat 8 m genişliğindeki ikincil döşeme kirişlerinin gerilme ve sehim kontrolleri yapılacaktır.



Şekil 4.6 : 4 Katlı yapı 1. kat planı ve hesapları yapılacak kirişler.

Düşey yüklerden (G+Q) oluşan kesit zorları;

M_{max} = 110.4 kNm

T_{max} = 55.20 kN

<u>Seçilen Kesit İçin (IPE 360) Enkesit Karakteristikleri:</u>

	Kuvvetli Eksen;	Zayıf Eksen;
$b_f = 170mm$	$I_y = 16270cm^4$	$I_z = 1043cm^4$
$t_f = 12.7mm$	$W_{el,y} = 903.6cm^3$	$W_{el,z} = 122.8cm^3$
$h = 360mm$	$W_{pl,y} = 1019cm^3$	$W_{pl,z} = 191.1cm^3$
$h_w = 298.6mm$	$i_y = 14.95cm$	$i_z = 3.79cm$
$t_w = 8mm$		

Gerekli tasarım moment dayanımı;

M_a = 110.4 kNm

Karakteristik moment dayanımı **(4.12)**;

$$M_n = M_p = F_y.Z_x \qquad \textbf{(4.12)}$$

Güvenlik koşulu **(4.13)**;

$$M_a \le \frac{M_n}{\Omega} = \frac{F_y Z_x}{\Omega} \qquad \textbf{(4.13)}$$

Buna göre;

$$Z_{gerekli} = \frac{\Omega M_a}{F_y} = \frac{1.67(110.4)}{275} \times 10^6 = 670429 mm^3 < Z_y = 1019 cm^3$$

Kesit kompaktlık koşulu kontrolü;

Başlık narinliği **(4.14)**;

$$\frac{b_f}{2t_f} = \frac{b}{t_f} < 0.38\sqrt{E / F_y} \qquad \textbf{(4.14)}$$

$$\frac{170}{2 \times 12.7} = 6.69 < 10.50$$

olduğundan başlık kompaktlık koşulunu sağlıyor.

Gövde narinliği **(4.15)**;

$$\frac{h_w}{t_w} < 3.76\sqrt{E / F_y} \qquad \textbf{(4.15)}$$

$$\frac{298.6}{8} = 37.325 < 103.89$$

olduğundan gövde kompaktlık koşulunu sağlıyor.

Kayma kuvveti kontrolü için **(4.16)**;

$$\frac{h}{t_w} \le 2.24\sqrt{\frac{E}{F_y}} \qquad \textbf{(4.16)}$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{360}{8} = 45 \le 2.24\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 61.89$$

Buna göre;

c_v=1.0 ve $\Omega_v = 1.50(ASD)$

$$V_n = 0.6 F_y A_w C_v \qquad \textbf{(4.17)}$$

$A_w = t_w h_w = 8 \times 298.6 = 2388.8 mm^2$

$$V_a \le \frac{V_n}{\Omega} = \frac{0.6 \times F_y \times A_w}{\Omega} \qquad \textbf{(4.18)}$$

$$V_a = 55.20 kN \le \frac{0.6 \times 275000 \times 2388.8 \times 10^{-6}}{1.5} = 262.768 kN$$

olduğundan kayma güvenliği de sağlanıyordur **(4.17)(4.18)**.

Sehim kontrolü; analiz sonuçlarına göre, mesnetler arasındaki göreli düşey yerdeğiştirme,

$f_{\max} = 0.022m = 2.2cm$
$L = 800cm$
$\rightarrow \frac{f_{\max}}{L} = \frac{2.2}{800} < \frac{1}{300}$

olduğundan sehim güvenliği de sağlanmaktadır.

Kiriş Tasarım Hesabı Örneği 2: Ana Çerçeve Kirişi Boyutlandırması (HE 400B)

Bu kiriş de, her iki ucu mafsallı olarak tasarlandığından, yatay yüklerden etkilenmediğinden yalnızca düşey yüklere göre hesap yapılacaktır.

Düşey yüklerden (G+Q) oluşan kesit zorları;

M_{max} = 110.4 kNm ve T_{max} = 55.20 kN

Seçilen Kesit İçin (HE 400B) Enkesit Karakteristikleri:

	Kuvvetli Eksen;	Zayıf Eksen;
$b_f = 300mm$	$I_y = 57680cm^4$	$I_z = 10820cm^4$
$t_f = 24mm$	$W_{el,y} = 2884cm^3$	$W_{el,z} = 721.3cm^3$
$h = 400mm$	$W_{pl,y} = 3232cm^3$	$W_{pl,z} = 1104cm^3$
$h_w = 298mm$	$i_y = 17.08cm$	$i_z = 7.4cm$
$t_w = 13.5mm$		

$M_a = 414.0 kNm$

Kesit kompaktlık koşulu;

→Başlık Narinliği $\frac{b_f}{2t_f} = \frac{300}{24 \times 2} = 6.25 < 10.50$, başlık kompakt.

→Gövde Narinliği $\frac{h_w}{t_w} = \frac{298}{13.5} = 22.07 < 103.89$, gövde kompakt.

Kesit kompakt;

$$M_n = F_y \times Z = 275 \times 3232 \times 10^{-3} = 888.8\,\text{kNm}$$

$$\frac{M_n}{\Omega} = \frac{888.8}{1.67} = 532.22kNm$$

$$\frac{M_a}{M_n/\Omega} = \frac{414}{606.73} = 0.778 < 1.0$$

Kayma kuvveti kontrolü için **(4.19)**;

$$\frac{h}{t_w} \le 2.24\sqrt{\frac{E}{F_y}} \qquad \textbf{(4.19)}$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{400}{13.5} = 29.63 \le 2.24\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 61.89$$

Buna göre;

c_v=1.0 ve $\Omega_v = 1.50(ASD)$

$$V_n = 0.6F_y A_w C_v \qquad \textbf{(4.20)}$$

$$A_w = t_w h_w = 13.5 \times 298 = 4023mm^2$$

$$V_a \le \frac{V_n}{\Omega} = \frac{0.6 \times F_y \times A_w}{\Omega} \qquad \textbf{(4.21)}$$

$$V_a = 155.25kN \le \frac{0.6 \times 275000 \times 4023 \times 10^{-6}}{1.5} = 442.53kN$$

olduğundan kayma güvenliği de sağlanıyor**(4.20)(4.21)**.

Sehim kontrolü; analiz sonuçlarına göre, mesnetler arasındaki göreli düşey yerdeğiştirme,

$f_{\max} = 0.023m = 2.3cm$
$L = 800cm$

$$\rightarrow \frac{f_{\max}}{L} = \frac{2.3}{800} < \frac{1}{300}$$

olduğundan sehim güvenliği de sağlanmaktadır.

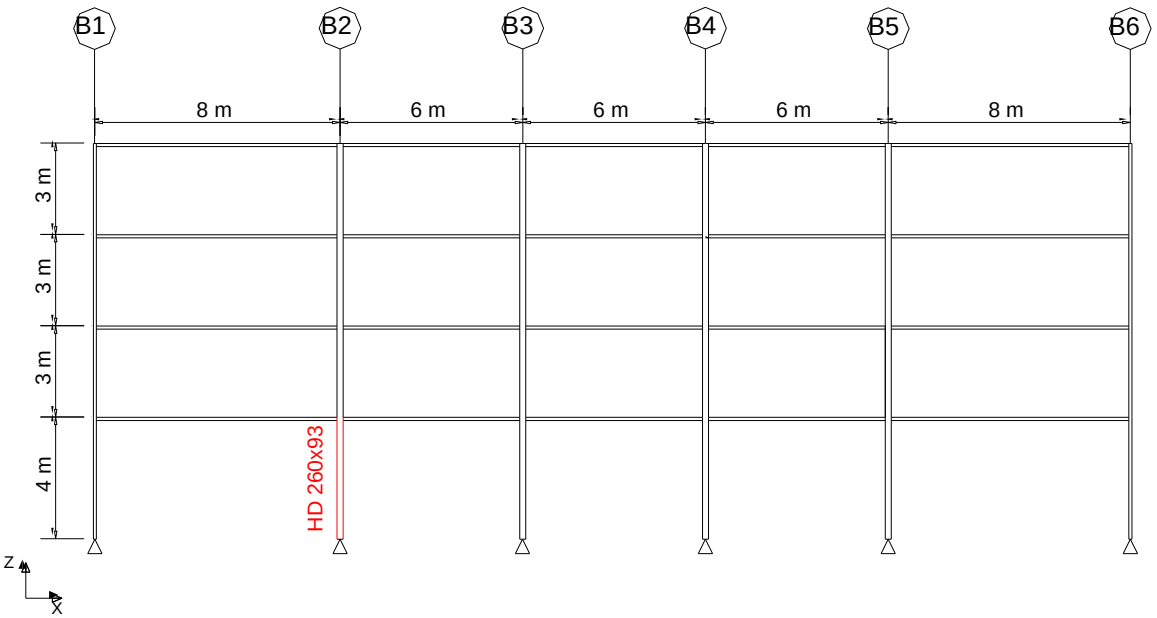
4.5.1.2.Kolon tasarımı

Kolonlar, genellikle eksenel kuvvet taşıyan yapı elemanlarıdır. Yatay kuvvetin de olması durumunda hem eksenel yük hem de eğilme etkisi altında kalırlar. Bu çalışmada kullanılan kolonlar, hem eksenel yük hem de eğilme etkisi altında olduklarından, AISC 360-10 yönetmeliğinin Bölüm H – Birleşik Kuvvet ve Burulma Etkisindeki Eleman Tasarımı kısmı esas alınacaktır.

Bu çalışmada kullanılan kolonların tamamı temele mafsallı olarak bağlanmıştır. Kolonlar, iki katta bir değiştirilerek, birleşim bölgeleri katların 1/3 yüksekliğine gelecek şekilde ayarlanacaktır.

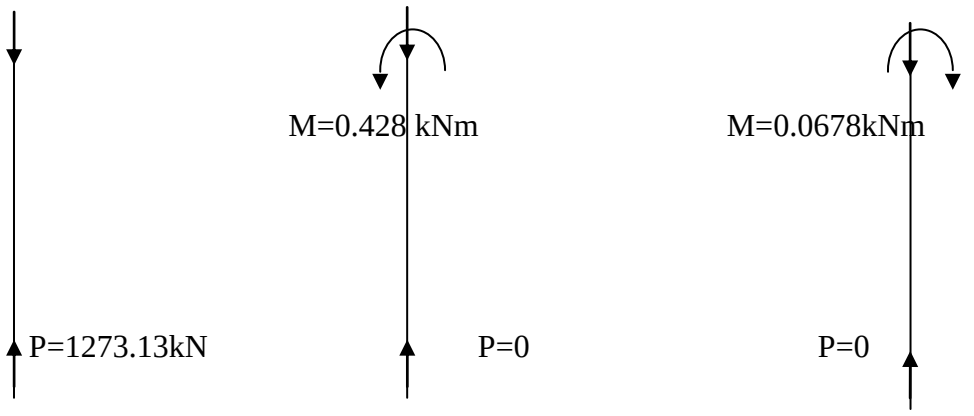
Kolon hesaplarında da kirişlerde olduğu gibi, çaprazın bağlı olduğu kolonlar ayrıca dayanım esaslı iç kuvvetlere göre kontrol edilmiştir. Çaprazların bağlı olmadığı örnek kolon hesabı aşağıda gösterilecektir. Çaprazın bağlı olduğu kolonlardaki hesaplamalara ilişkin örnek ise çapraz boyutlandırması yapıldıktan sonra yer alacaktır.

Şekil 4.6'da verilmiş olan 4 katlı yapı planında da belirtilen, B2 kolonunun tasarım hesapları örnek olarak verilmiştir. Şekil 4.7'de B çerçevesinin enkesitinde örnek hesabı yapılacak olan kolon gösterilmiştir.



Şekil 4.7 : 4 Katlı yapı B aksı çerçevesi.

Kolon Tasarım Hesabı Örneği :4 Katlı Yapının 1.Kat B2 Kolonu Boyutlandırması (HD 260x93)



(G+0.75Q) Kuvvetli Eksende $0.75(E_{x1}+0.3E_y)$ Zayıf Eksende $0.75(E_{x1}+0.3E_y)$

Şekil 4.8. Kolon iç kuvvetleri

Kolondaki iç kuvvetler, Şekil 4.8'de verildiği gibidir.

Kuvvetli eksende;

$$C_b = \frac{12.5M_{\max}}{2.5M_{\max} + 3M_A + 4M_B + 3M_c} = 1.36$$

Zayıf eksende;

$$C_b = \frac{12.5M_{\max}}{2.5M_{\max} + 3M_A + 4M_B + 3M_c} = 1.36$$

Seçilen kesit HD 260x93, Kesit Özellikleri;

	Kuvvetli Eksen;	Zayıf Eksen;
$b = 260mm$		
$t_f = 17.5mm$	$I_y = 14920cm^4$	$I_z = 5135cm^4$
$h = 260mm$	$W_{el,y} = 1148cm^3$	$W_{el,z} = 395cm^3$
$h_i = 225mm$	$W_{pl,y} = 1283cm^3$	$W_{pl,z} = 602.2cm^3$
$t_w = 10.0mm$	$i_y = 11.22cm$	$i_z = 6.58cm$
$A = 118.4cm^2$		
$d = 177mm$		

$$\sqrt{\frac{E}{F_y}} = \sqrt{\frac{210000}{275}} = 27.63$$

Kesit kompaktlık koşulu;

→Başlık Narinliği $\frac{b}{t_f} = \frac{260}{2\times 17.5} = 7.43 < 0.38\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 10.5$

→Gövde Narinliği $\frac{h_w}{t_w} = \frac{177}{10} = 17.7 < 3.76\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 103.89$

Kesit Kompakt;

$M_n = F_y Z$

$M_n = 275\times 1283\times 10^3 = 352.825 kNm$ → Kuvvetli eksende

$M_n = 275\times 602.2\times 10^3 = 165.605 kNm$ → Zayıf eksende

$$P_{el} = \frac{\pi^2 EI}{(kL)^2} = \frac{\pi^2 (210000)(14920\times 10^4)}{1.4000^2} = 19327.5 kN \qquad \textbf{(4.22)}$$

Yanal burulmalı burkulma sınır durumunda;

Eğilme etkisi için kolon başlığının tutulu olmadığı L_b=4000 mm uzunluğu için incelenecektir.

$$L_b = 4000mm > L_p = 1.76(65.8)\sqrt{\frac{210000}{275}} = 3200mm$$

Olduğundan başlık basınç başlığı tutulu değildir.

$$r_{ts} = \frac{b_f}{\sqrt{12\left(1+\frac{1}{6}\frac{ht_w}{b_f t_f}\right)}} = \frac{260}{\sqrt{12\left(1+\frac{1}{6}\frac{260\cdot 10}{260\cdot 17.5}\right)}} = 71.72mm \qquad \textbf{(4.23)}$$

$L_b > L_p$ olduğundan, elastik veya inelastik yanal burulmalı burkulma sınır uzunluğu L_r belirlenmelidir **(4.23)(4.24)**.

$$L_r = 1.95 r_{ts}\frac{E}{0.7F_y}\sqrt{\frac{Jc}{S_x h_0}}\sqrt{1+\sqrt{1+6.76\left(\frac{0.7F_y}{E}\frac{S_x h_0}{Jc}\right)^2}} \qquad \textbf{(4.24)}$$

$$L_r = 1.95 r_{ts}\frac{210000}{0.7\cdot 275}\sqrt{\frac{108(10)^4(1.0)}{1148(10)^3(242.5)}}\sqrt{1+\sqrt{1+6.76\left(\frac{0.7(275)}{210000}\frac{1148(10)^3(242.5)}{108(10)^4(1.0)}\right)^2}}$$

$$= 14010.13mm$$

$L_p < L_b < L_r$ olduğundan yanal burkulma inelastiktir ve aşağıdaki ifade ile belirlenir **(4.25)**;

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - M_r) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \quad \textbf{(4.25)}$$

$$M_n = 1.36 \left[352.825 - (352.825 - 264.62) \left(\frac{4000 - 3200}{14010.13 - 3200} \right) \right] = 470.96 > M_p$$

Olduğundan moment için karakteristik dayanım yerel burkulma sınır durumu ile belirlenen moment dayanımı olacaktır **(4.26)**.

$$M_r = B_1 M_{nt} + B_2 M_{lt} \quad \textbf{(4.26)}$$

M_{nt} : Çerçevede yanal öteleme olmadığı kabulü ile (çerçeve güçlendirilmiş olsun ya da olmasın) elemandaki birinci mertebe maksimum moment

M_{lt} : Sadece çerçevenin yanal ötelenmesi sonucu elemanda oluşan maksimum moment (Yanal Ötelenme momenti)

B_1 : Moment büyütme faktörü **(4.27)**

B_2 : Yanal öteleme etkilerini içeren moment büyütme faktörü **(4.29**

$$B_1 = \frac{C_m}{1 - \alpha P_r / P_{el}} \geq 1 \quad \textbf{(4.27)}$$

C_m : Yanal öteleme olmadığı kabul edilen çerçevelerde iki şekilde tanımlanır**(4.28)**;

1) Yanal ötelenmeye karşı güçlendirilmiş ve mesnetler arasında yanal yük etkisinde olmayan elemanlar için,

$$C_m = 0.6 - 0.4(M_1 / M_2) \quad \textbf{(4.28)}$$

2) Enine yüklü elemanlarda, eğer uçlarda dönme sınırlandırılmış ise C_m = 0.85 , dönme serbest ise (mafsallı) C_m = 1.0 olarak alınır.

Sistemde mesnetlenme koşullarından dolayı düşey yükler altında kolon kesitlerinde eğilme momenti meydana gelmediği için B_1 katsayısı hesaplanmayacaktır.

$$B_2 = \frac{1}{1 - \frac{\alpha P_{story}}{P_{estory}}} \quad \textbf{(4.29)}$$

α : 1.6 (ASD)

P_{story} : Toplam düşey yük

P_{estory} : Elastik kritik burkulma dayanımı **(4.30)**

$$P_{estory} = R_M \frac{HL}{\Delta_H} \quad \textbf{(4.30)}$$

$$R_M = 1 - 0.15(P_{mf} / P_{story}) \quad \textbf{(4.31)}$$

L : Kat yüksekliği

R_M : $P-\delta$'nın $P-\Delta$ üzerindeki etkilerinin göz önüne alınmasını sağlayan katsayı **(4.31)**

P_{mf} : Moment çerçevesi olan katlardaki kolonların düşey yükü, (=0 çaprazlı bağlı sistemler için)(N)

Δ_H : Birinci derece kat ötelemesi, yatay yük doğrultusundaki öteleme (mm)

H : kat kesme kuvveti, yerdeğiştirme yönünde kabul edilir. Δ_H'ın oluşmasını sağlayan kuvvet (N)

Verilen bu bilgiler doğrultusunda;

Kuvvetli eksen için;

$H = 1632.86kN$

$\Delta_H = 0.61cm = 6.1mm$

$L = 4000mm$

$P_{mf} = 0$ ve $R_M = 1$

$$P_{estory} = R_M \frac{HL}{\Delta_H} = 1 \cdot \frac{1869.91 \times 4000}{6.1} = 1226170.49kN$$

$$B_{2y} = \frac{1}{1 - \frac{\alpha P_{story}}{P_{estory}}} = \frac{1}{1 - \frac{1.6 \times 27672}{1226170.49}} = 1.037$$

$M_{ry} = 1.037 \times 0.428 = 0.491 kNm$

Zayıf Eksen için;

$H = 1793.76 kN$

$\Delta_H = 0.66 cm = 6.6 mm$

$L = 4000 mm$

$P_{mf} = 0$ ve $R_M = 1$

$$P_{estory} = R_M \frac{HL}{\Delta_H} = 1 \cdot \frac{1793.67 \times 4000}{6.6} = 1087072.73 kN$$

$$B_{2y} = \frac{1}{1 - \frac{\alpha P_{story}}{P_{estory}}} = \frac{1}{1 - \frac{1.6 \times 27672}{1087072.73}} = 1.042$$

$M_{rz} = 1.042 \times 0.0678 = 0.071 kNm$

$$\frac{M_{ny}}{\Omega} = \frac{352.825}{1.67} = 211.27 kNm \qquad \frac{M_{nz}}{\Omega} = \frac{165.605}{1.67} = 99.16 kNm$$

$P_r = P_{nt} + B_2 P_{lt}$

$P_r = 1273.13 kN$

$P_n = F_{cr} A_g$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{(kL/r)^2}$$

➔ $\frac{KL}{r} \le 4.71\sqrt{\frac{E}{F_y}}$ ise $F_{cr} = \left[0.658^{\frac{F_y}{F_e}}\right] F_y$

➔ $\frac{KL}{r} > 4.71\sqrt{\frac{E}{F_y}}$ ise $F_{cr} = 0.877 F_e$

$(4.71\sqrt{E/F_y}) = 130.1373$

$$\frac{KL}{r_y} = \frac{400}{11.22} = 35.65 < 130.1373$$

$$\frac{KL}{r_x} = \frac{400}{6.58} = 60.79 < 130.1373$$

Buna göre $F_{cr} = \left[0.658^{\frac{F_y}{F_e}} \right] F_y$ formülü kullanılacaktır.

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{(kL/r)^2} = \frac{\pi^2 210000}{(60.79)^2} = 560.86 N/mm^2$$

$$F_{cr} = \left[0.658^{\frac{F_y}{F_e}} \right] F_y = \left[0.658^{\frac{275}{560.86}} \right] 275 = 223.978 N/mm^2$$

$$P_n = F_{cr} A_g = 223.978 \times 11840 = 2651.90 kN$$

$$\frac{P_n}{\Omega} = \frac{2651.90}{1.67} = 1587.96 \text{ kN}$$

$$\frac{P_a}{P_n/\Omega} = \frac{1273.13}{1587.96} = 0.802 > 0.2$$

$$\frac{P_a}{P_n/\Omega} + \frac{8}{9}\left(\frac{M_{ay}}{M_{ny}/\Omega} + \frac{M_{az}}{M_{nz}/\Omega} \right) \le 1.0$$

$$0.802 + \frac{8}{9}\left(\frac{0.491}{211.27} + \frac{0.071}{99.16} \right) = 0.805 \le 1.0$$

olduğundan, seçilen kesit uygundur.

4.5.2. Burkulması önlenmiş çaprazlı çerçevelerin boyutlandırma hesapları

Burkulması önlenmiş çaprazların boyutlandırmasında AISC 341-10 yönetmeliğindeki esaslar yanı sıra AISC Tasarım Kılavuzu'ndaki koşullar da göz önüne alınmıştır.

AISC Tasarım Kılavuzu'nun gerektirdiği koşullardan biri olan, burkulması önlenmiş çelik çaprazlı çerçevelerin rijitliklerinin yalnızca çelik çekirdeğe bağlı olmadığı ve tüm çaprazın rijitliğinin kullanılması gerektiği için, analiz kısmında SAP2000'de çelik çekirdek kesitlerinin eksenel rijitlik değerleri 1.1 arttırılmıştır. Deprem hesapları ve tüm öteleme hesaplarında arttırılmış çelik çapraz rijitliği dikkate alınmıştır.

Boyutlandırma ile ilgili AISC Tasarım Kılavuzu'nun belirttiği diğer bir nokta ise, boyutlandırma esnasında, çelik çaprazın malzemesinin akma dayanımının tam olarak bilinemiyor olmasıdır. Bu nedenle kabul edilebilir bir aralık belirtilir. Bu aralık normal akma dayanımının ±%10' u olarak kabul edilebilir. Bu nedenle çalışmada kullanılan S275 çeliğinin minimum akma gerilmesi $F_{y\min} = 245N/mm^2$, maksimum akma gerilmesi ise $F_{y\max} = 305N/mm^2$ olarak alınmıştır. Genellikle bu aralıkların uygunluğu, burkulması önlenmiş çelik çapraz üreticisi tarafından çeşitli deneylerle doğrulanmalıdır.

Bölüm 2'de de bahsedildiği gibi, çapraz boyutlandırmasında kullanılan iki yöntem vardır. Bunlardan biri alan esaslı yaklaşım diğeri de dayanım esaslı yaklaşımdır. Alan esaslı yaklaşımda, çapraz malzemesi belli iken çaprazın çelik alanı belirlenirken, dayanım esaslı yaklaşımda, alan seçilir dayanım belirlenir. Bu çalışmada alan esaslı yaklaşım kullanılmıştır.

Çaprazların boyutlandırmasında $F_{y\min} = 245N/mm^2$ gerilmesi kullanılırken, dayanım esaslı iç kuvvet hesabında, $F_{y\max} = 305N/mm^2$ gerilmesi kullanılmıştır.

Çaprazlar boyutlandırıldıktan sonra, çaprazların dayanımlarına ulaşması durumlarında, çaprazda oluşacak kuvvetin bağlı olduğu kolon ve kirişte yaratacağı etkinin kontrolü yapılmıştır. Burada dayanım esaslı iç kuvvetler kullanıldığından, yapılan kontrollerde de dayanım kuvvetleri, güvenlik katsayılarına bölünmemiştir.

Kiriş ve kolonların dayanım esaslı iç kuvvetler dikkate alınarak yapılan dayanım hesabında kullanılan yük birleşeni G+0.3Q+E şeklindedir. Burada Q'nun azaltılmasının nedeni, çaprazların maksimum dayanımlarına ulaştıkları durumda, yapıda tüm hareketli yüklerin birlikte bulunması ihtimalinin düşük olmasıdır. Bu varsayım yapılırken, çeşitli yayınlarda yaklaşık bu mertebede olduğu gözlenmiş ve deprem yönetmeliğimizde de bulunması nedeniyle 0.30 değeri seçilmiştir.

4.5.2.1. Burkulması önlenmiş çapraz tasarımı

Burkulması önlenmiş çaprazların üzerinde yalnızca deprem yükleri bulunmaktadır. AISC341-10'a göre düşey yük taşıması istenmemektedir.

AISC Tasarım Kılavuzu'na göre ikinci mertebe etkilerin hesaba katılması gerekmektedir. Bu nedenle, ikinci mertebe etkilerin hesaba katıldığı normal kuvvetler;

$$P_r = P_{nt} + B_2 P_{lt} \tag{4.32}$$

şeklinde hesaba katılacaktır **(4.32).**

B_2 hesabı içinse,

$$B_2 = \frac{1}{1 - \frac{\alpha P_{story}}{P_{estory}}} \geq 1 \tag{4.33}$$

(4.33) formülasyonu kullanılacaktır.

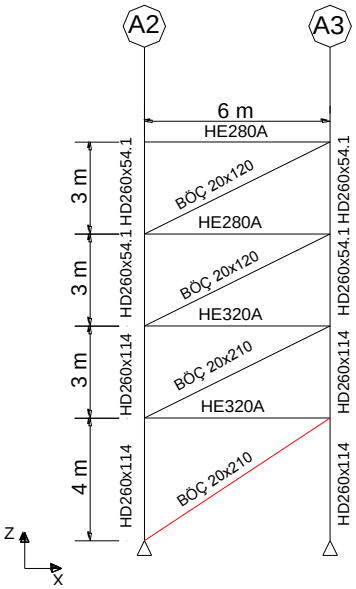
P_{story}' nin hesabında, kata etkiyen tüm düşey yükler hesap edilir.

P_{estory} ' de ise ;

$$P_{estory} = R_M \frac{HL}{\Delta_H}$$

formülü ile hesaplanacaktır. Burada, H, kat kesme kuvveti, yerdeğiştirme yönünde kabul edilir. Δ_H'ın oluşmasını sağlayan kuvvet (N), Δ_H ,Birinci derece kat ötelemesi, yatay yük doğrultusundaki öteleme (mm) , L , kat yüksekliği, R_M ise, $R_M = 1 - 0.15(P_{mf} / P_{story})$ formülü ile hesaplanan bir katsayıdır. R_M çaprazlı çerçevelerde 1 olarak alınacaktır.

Örnek olarak, 4 katlı yapının Şekil 4.9'da verilmiş A çerçevesi 2-3 aksı çerçevesinde işaretlenmiş olan, 1 kat çaprazının boyutlandırma hesapları aşağıda verildiği gibidir.



Şekil 4.9. 4 Katlı yapı A çerçevesi 2-3 aksı enkesiti.

BÖÇ tasarım hesabı örneği: 4 Katlı Yapı A Çerçevesi 1. Kat 2-3 Aksı Çaprazı

Aşağıda 4 katlı yapının A çerçevesindeki 1. Kat 2-3 aksı çaprazı için yapılan tasarım hesabı adımları mevcuttur **(4.34-36)**.

Seçilen kesit ; $A_{sc} = 20 \times 210 = 4200\,\text{mm}^2$

$$P_r = P_{nt} + B_2 P_{lt} \qquad \textbf{(4.34)}$$

$P_{lt} = 587.08\,\text{kN}$

$$B_2 = \frac{1}{1 - \dfrac{\alpha P_{story}}{P_{estory}}} \geq 1 \qquad \textbf{(4.35)}$$

P_{estory} için kata gelen tüm düşey kuvvetler toplanır.

$$P_{story} = 30 \times 34(4.3+1) + 3 \times \left[30 \times 34\left(4.9+2\right) + 2(30+34) \times 3\right] = 27672kN$$

$$P_{estory} = R_M \frac{HL}{\Delta_H} \qquad \textbf{(4.36)}$$

$R_M = 1.0$ $H = 1869.91kN$ L=4.0 m $\Delta_H = 6.1\,\text{mm}$,

$$P_{estory} = 1.0 \frac{1869.9 \times 4000}{6.1} = 1226163.93\,\text{kN}$$

$$B_2 = \frac{1}{1 - \dfrac{1.6 \times 27672}{1226163.93}} = 1.037$$

Buna göre;

$P_a = 1.037 \times 587.08 = 608.80\,\text{kN}$

Çaprazın çekme ve basınçtaki maksimum kuvvetleri göz önüne alınarak, gerekli minimum alan aşağıdaki gibi hesaplanır. (Güvenlik katsayıları ile tasarıma göre Ω=1.67)

$A_{sc\,\min} = \dfrac{\Omega P_a}{F_{y\,\min}}$ olduğundan,

$$A_{sc\,\min} = \frac{1.67 \times 608.80}{245} \times 10^3 = 4149.78\,\text{mm}^2$$

Buna göre seçilen kesit 4200 mm^2 uygundur.

Dayanım kontrolleri yapıldıktan sonra, yerdeğiştirme hesapları yapılır. Bunun amacı, ileride çaprazın çekme ve basınç dayanımlarını hesaplarken kullanacağımız β ve ω katsayılarının hesaplanmasını sağlamaktır.

İnelastik etkilerin de hesaba katıldığı tasarım kat ötelenmesi,

$$\Delta = \frac{R\Delta_H}{I_e} \qquad \textbf{(4.37)}$$

formülü ile hesaplanır **(4.37).**

Buna göre;

$$\Delta = \frac{7 \times 6.1}{1.0} = 42.7 \text{ mm}$$

olarak hesaplanır.

İnelastik etkilerin hesaba katıldığı kat ötelemesinin iki katının hesaba katılması gerekir.

$2\Delta = 2(42.7) = 85.4\,\text{mm'dir.}$

Kat yüksekliğinin %2 'sinin hesaba katılarak hesaplanan kat ötelenmesi de,

$\Delta = 0.02H = 0.02 \times 4000 = 80\,\text{mm'dir.}$

Bu iki ötelenmeden büyük olanı göz önüne alınarak, şekildeğiştirme hesabı yapılacaktır.

İnelastik etkilerin hesaba katılarak hesaplanan kat ötelenmesi daha büyük olduğundan 85.4 mm değeri kullanılacaktır. Yatayda 6 m, düşeyde 4 m açıklığa sahip çaprazın deformasyonu aşağıdaki gibi hesaplanabilir;

$$\Delta_{çapraz} = \left[\sqrt{(4)^2 + (6 + 0.0854)^2} - \sqrt{(4)^2 + (6)^2} \right] = 0.0712 = 71.2mm$$

Genellikle, çaprazın akma gerilmesine ulaşacak olan kısım, çaprazın tüm uzunluğunun %70'i kadar alınır. Buna göre;

$$L_y = 0.7L = 0.7\sqrt{4^2 + 6^2} = 5.05m$$

Yapılan bu hesaplara göre çaprazın şekildeğiştirmesi;

$$\varepsilon = \frac{\Delta_{br}}{L_y} = \frac{71.2}{5050} = 1.41\%$$

olarak hesaplanmıştır.

Normal şartlarda çapraz tasarımı yapılırken, hesaplanan bu şekildeğiştirme değeri, çapraz üreticisine de danışılarak, β ve ω katsayılarının hesaplanmasında kullanılır. Bu katsayılar malzemenin davranışı ile ilgili katsayılardır ve Bölüm 2'de nasıl bulundukları açıklanmıştır.

AISC Tasarım Kılavuzu'nda ki çapraz tasarımı göz önüne alındığında, yaklaşık olarak aynı şekil değiştirme oranları elde edildiğinden orada kullanılan katsayılar esas alınacaktır.

Buna göre,

ω= 1.36

β= 1.1

olarak, hesaplarda kullanılacaktır.

4.5.2.2. Burkulması önlenmiş çaprazlı çerçevelerde kolon tasarımı

Burkulması önlenmiş çaprazlı çerçevelerin kolonları için dayanım esaslı tasarım yapılması söz konusudur.Burada çaprazların dayanımları hesaplanırken, maksimum akma gerilmesi olan $F_{y\max} = 305\,\mathrm{N/mm^2}$ hesaplarda kullanılacaktır.

Kolonların dayanım hesaplarında kullanılacak kombinasyon;

$$G + 0.3Q + E_{BÖÇD} \qquad \textbf{(4.38)}$$

Olacaktır **(4.38)**.

Burada, $E_{BÖÇD}$, burkulması önlenmiş çubuğun dayanım kuvvetinin kolon üzerindeki etkisini belirtmektedir.

Çaprazın çekme ya da basınç olması durumunda iki farklı hesap söz konusu olacaktır.

Burkulması önlenmiş çapraz basınç durumundayken çaprazda meydana gelecek kuvvet aşağıdaki formülle **(4.39)** hesaplanacaktır.

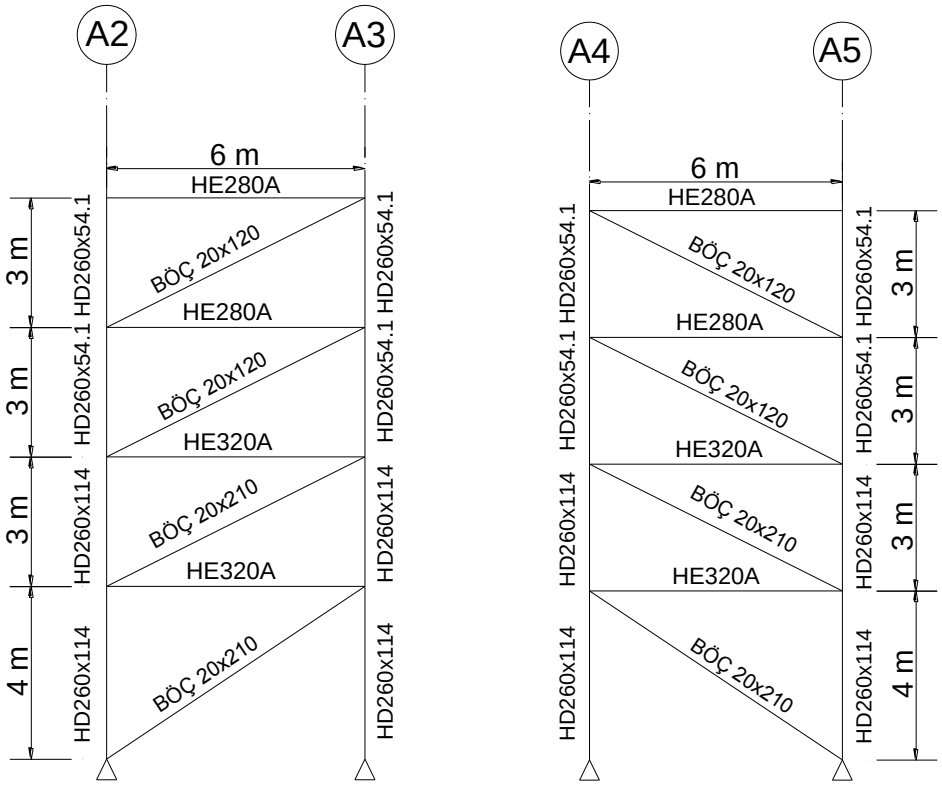
$$\beta\omega F_{y\max} A_{sc} \quad \textbf{(4.39)}$$

Çekme durumunda ise çaprazda oluşacak kuvvet;

$$\omega F_{y\max} A_{sc} \quad \textbf{(4.40)}$$

olacaktır **(4.40)**.

Şekil 4.10'da verilen 4 katlı yapının XZ düzlemiş çerçevelerinde çaprazların dayanım hesapları yapılacaktır.



Şekil 4.10. XZ Düzlemi çaprazlı çerçeveler.

Buna göre, basınç durumunda iken çaprazda meydana gelen kuvvetler;

$$\beta\omega F_{y\max} A_{sc,1} = 1.1(1.36)(20\times 210)305 = 1916.38\,\text{kN}$$

$$\beta\omega F_{y\max} A_{sc,2} = 1.1(1.36)(20\times 210)305 = 1916.38\,\text{kN}$$

$$\beta\omega F_{y\max} A_{sc,3} = 1.1(1.36)(20\times 120)305 = 1095.07\,\text{kN}$$

$$\beta\omega F_{y\max} A_{sc,4} = 1.1(1.36)(20\times 120)305 = 1095.07\,\text{kN}$$

şeklinde hesaplanır.

Çaprazlarda meydana gelecek kuvvetlerden dolayı A2 kolonunda oluşacak basınç kuvveti,

$$\sum \beta\omega F_{y\max} A_{sc} \sin\theta = (1916.38 + 1095.07 + 1095.07)\sin(26.57^o) = 1836.8\,\text{kN}$$

olacaktır.

Kolondaki toplam kuvvet;

$$P_a = G + 0.3Q + E_{BÖÇD}$$

$$P_a = 595.0 + 58.8 + 1836.8 = 2490.6\,\text{kN}$$

Mevcut kolon,

HD260x93 → $P_n = 2651.90\,\text{kN}$

Kolon kesiti, A aksı 2-3 çerçeveleri arasındaki çaprazlarda basınç kuvveti varken, en elverişsiz durumda A-2 kolonunda basınç hakimken, uygundur.

Çaprazlarda çekme kuvveti varken meydana gelen kuvvetler;

$$\omega F_{y\max} A_{sc,1} = (1.36)(20\times 210)305 = 1742.16\,\text{kN}$$

$$\beta\omega F_{y\max} A_{sc,2} = (1.36)(20\times 210)305 = 1742.16\,\text{kN}$$

$$\beta\omega F_{y\max} A_{sc,3} = (1.36)(20\times 120)305 = 995.52\,\text{kN}$$

$$\beta\omega F_{y\max} A_{sc,4} = (1.36)(20\times 120)305 = 995.52\,\text{kN}$$

Çaprazlarda meydana gelecek çekme kuvvetinden dolayı A3 kolonunda oluşacak basınç kuvveti;

$$\sum \omega F_{y\max} A_{sc} \sin\theta = 1742.16\sin(33.59^o) + (1742.16 + 995.52 + 995.52)\sin(26.57^o) = 2633.66\ \ kN$$

Kolondaki toplam kuvvet;

$$P_a = G + 0.3Q + E_{BÖÇD}$$

$$P_a = 510 + 50.4 + 2633.66 = 3212.30\,\text{kN}$$

Mevcut kolon,

HD260x93 → $P_n = 2651.90\,\text{kN}$

Mevcut kolon, HD 260x93 ‘tür. Ancak kolonun kapasitesi yeterli değildir. Bu nedenle x-doğrultusundaki 1 ve 2. Kat kolonları HD 260x114 ile değiştirilecektir.

HD260x114 → $P_n = 3279.42kN$

Burada, kesitler için dayanım hesabı yapıldığından, enkesitlerin kapasite kuvvetleri ayrıca güvenlik gerilmesine bölünmeden kontrol edilmiştir.

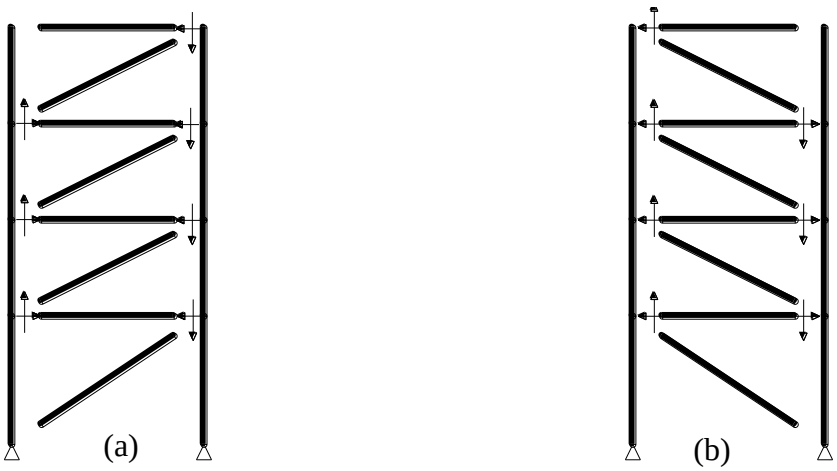
Aynı şekilde, her iki doğrultuda her kat için çaprazlı çerçevelerin kolon kesitleri yukarıdaki gibi kontrol edilmiştir.

4.5.2.3. Burkulması önlenmiş çaprazlı çerçevelerde kiriş tasarımı

Çaprazlı çerçevelerin kolonları dayanım esaslı tasarım esaslarına göre kontrol edildiği gibi, aynı şekilde kirişlerde de bu kontrol yapılacaktır. Burada da dayanım esaslı tasarım söz konusu olduğundan, kirişlerin kapasite dayanımları ayrıca güvenlik gerilmesine bölünmeyecektir. Hesaplarda kullanılacak süperpozisyonlar, kolonlarda da olduğu gibi, $G + 0.3Q + E_{BÖÇD}$ olacaktır.

Kirişlerimizin üst başlıkları rijit döşeme ile tutuludur. Kirişler eğilme momenti ve normal kuvvet etkisi altındadır. Burada örnek olarak, 1. Kat A aksı çerçevesi 2-3 aksları arasındaki kiriş göz önüne alınacaktır. En olumsuz durum, aynı aralıktaki akslarda basınç varken meydana gelmektedir.

Şekil 4.11’de, serbest cisim diyagramları üzerinde, burkulması önlenmiş çubuklar basınç ve çekme durumlarında iken kolon ve kirişlerde meydana gelecek ek kuvvetler gösterilmiştir.



Şekil 4.11 : Tasarımda 4 Katlı yapı için esas alınan serbest cisim diyagramları (a) Çekme durumu (b) Basınç durumu.

Kirişte;

1. kat çaprazının meydana getirdiği çekme kuvveti;

$$\beta\omega F_{y\max} A_{sc,1} \cos(33.57^o) = 1596.38\,\text{kN}$$

2. kat çaprazının meydana getirdiği çekme kuvveti;

$$\beta\omega F_{y\max} A_{sc,1} \cos(26.57^o) = 1713.99\,\text{kN}$$

Kat yükseklikleri farklı olduğundan, kirişin her iki ucunda da farklı çekme kuvveti meydana gelmektedir. Bu nedenle her iki kuvvetin ortalaması normal kuvvet olarak hesaplarda kullanılacaktır.

$$\frac{1596.38 + 1713.99}{2} = 1655.19\,\text{kN}$$

İç kuuvetler;

$$M_a = M_G + 0.3M_Q = 91.9 + 9.6 = 101.5\,\text{kNm}$$

$$P_a = 1655.19\,\text{kN}$$

Kullanılan kesit;

HE320A;

$$\frac{P_a}{P_n} + \frac{8}{9}\left(\frac{M_a}{M_n}\right) \le 1.0$$

$$\frac{1655.19}{2395.43} + \frac{8}{9}\left(\frac{101.50}{447.7}\right) = 0.893$$

Seçilen kesit uygundur.

4.6. Taşıyıcı Sistem Elemanları Enkesit Profilleri

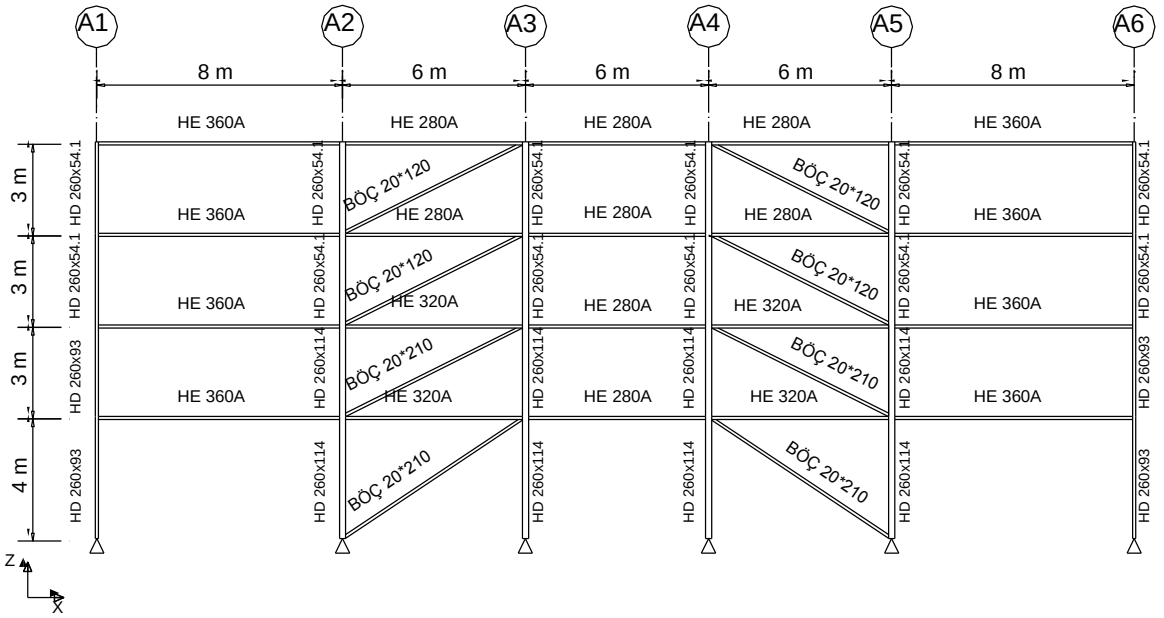
Bu bölümde 4,6,8,10 katlı yapılarda kullanılacak olan taşıyıcı sistem enkesit profilleri ve bu enkesit profillerinin işletme gerilmelerinin emniyet gerilmelerine oranları çizelgelerde yer almaktadır. Daha rahat anlaşılması açısından, yapıların şematik enkesitlerine de yer verilmiştir.

4 Katlı yapı ile ilgili taşıyıcı sistem elemanları enkesit profilleri listesi Çizelge 4.20'de yer almaktadır. 4 Katlı yapının tipik enkesitleri sırasıyla Şekil 4.12, Şekil 4.13, Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'te yer almaktadır.

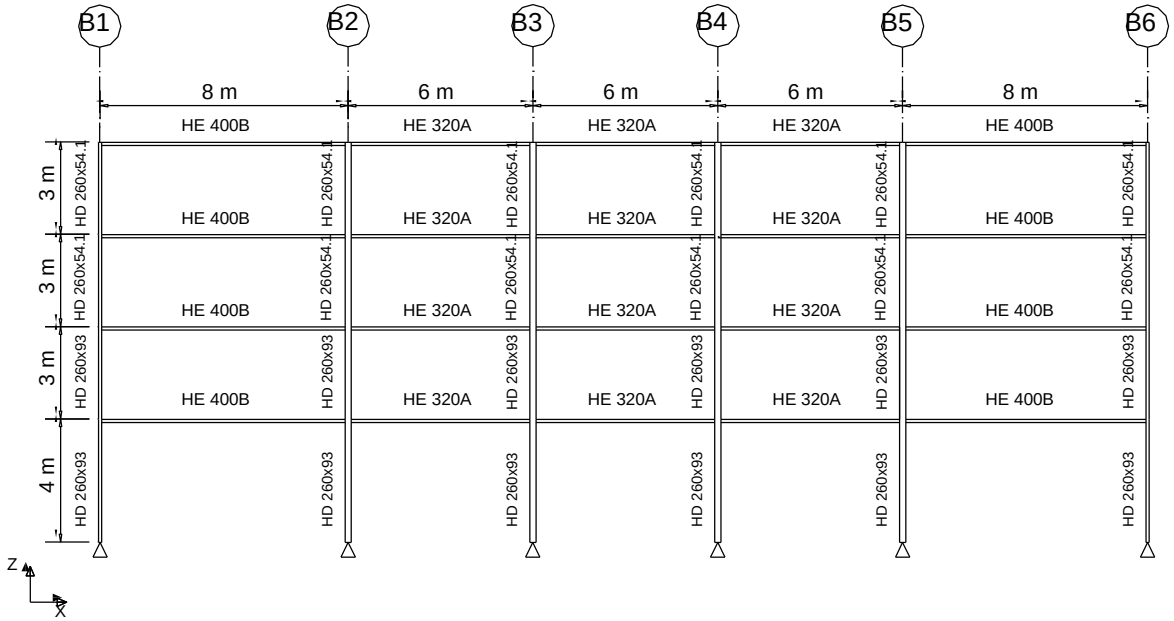
Çizelge 4. 20 : 4 Katlı yapı taşıyıcı sistem elemanları enkesit profilleri.

Taşıyıcı Sistem Elemanı	**Enkesit Profili**	**İşletme Gerilmeleri/Emniyet Gerilmeleri**
İkincil kirişler (Tüm Katlarda)	IPE 360	0.658
A ve E çerçeveleri 1-2.5-6 Aksları Ana kirişleri (Tüm Katlarda)	HE360A	0.625
A ve E çerçeveleri 2-3,4-5 Aksları Ana Kirişleri (1 ve 2. Katlarda)	HE320A	0.893
A ve E çerçeveleri 2-3,4-5 Aksları Ana Kirişleri (3 ve 4. Katlarda)	HE280A	0.857
A ve E çerçeveleri 3-4 Aksları Ana Kirişleri (Tüm Katlarda)	HE280A	0.682
B,C ve D Çerçeveleri 2-3,3-4,4-5 Aksları Ana Kirişleri (Tüm Katlarda)	HE320A	0.680
B,C,D Çerçeveleri 1-2 ve 5-6 Aksları ana kirişleri (Tüm Katlarda)	HE400B	0.682
1 ve 6 Çerçeveleri A-B, D-E Aksları ana kirişleri (1 ve 2. Katlarda)	HE340A	0.937
1 ve 6 Çerçeveleri A-B, D-E Aksları ana kirişleri (3 ve 4. Katlarda)	HE300A	0.758
1 ve 6 Çerçeveleri B-C,C-D Aksları Ana kirişleri (Tüm Katlarda)	HE240A	0.494
2,3,4,5 Çerçeveleri A-B-C-D-E Aksları Ana Kirişleri (Tüm Katlarda)	IPE360	0.658
±0.00/+7.00 kotları arasındaki A-2,A-3,A-4,A-5 ve E-2,E-3,E-4,E-5 akslarındaki kolonlar	HD260x114	0.979
±0.00/+7.00 kotları arasındaki A-2,A-3,A-4,A-5 ve E-2,E-3,E-4,E-5 aksları dışındaki kolonlar	HD260x93	0.804
+7.00/+13.00 kotları arasındaki tüm kolonlar	HD260x54.1	0.678
1 ve 2. Kat x-doğrultusu Burkulması Önlenmiş Çaprazlar	20x210	0.992
3 ve 4. Kat x-doğrultusu Burkulması Önlenmiş Çaprazlar	20x120	0.987
1 ve 2. Kat y-doğrultusu Burkulması Önlenmiş Çaprazlar	20x190	0.969
3 ve 4. Kat y-doğrultusu Burkulması Önlenmiş Çaprazlar	23x100	0.970

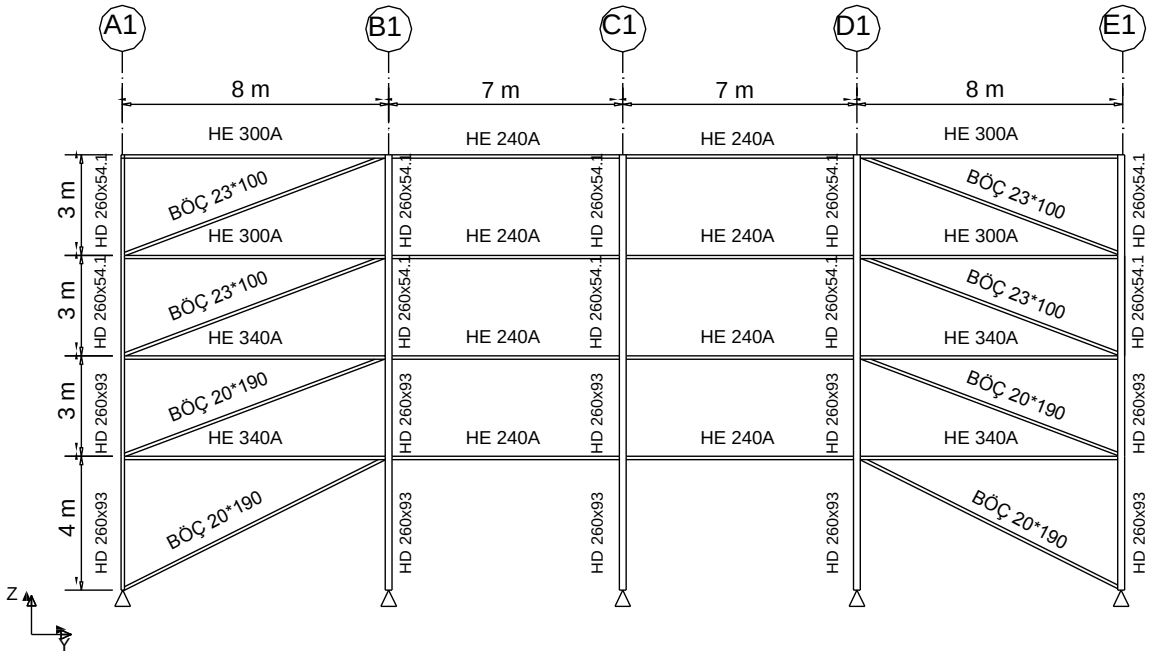
Şekil 4.12 ve Şekil 4.13'te verilen XZ düzlemi enkesitlerinde, çaprazlı çerçevelerin kolon ve kirişlerinde profilin büyüdüğü gözlenebilir.



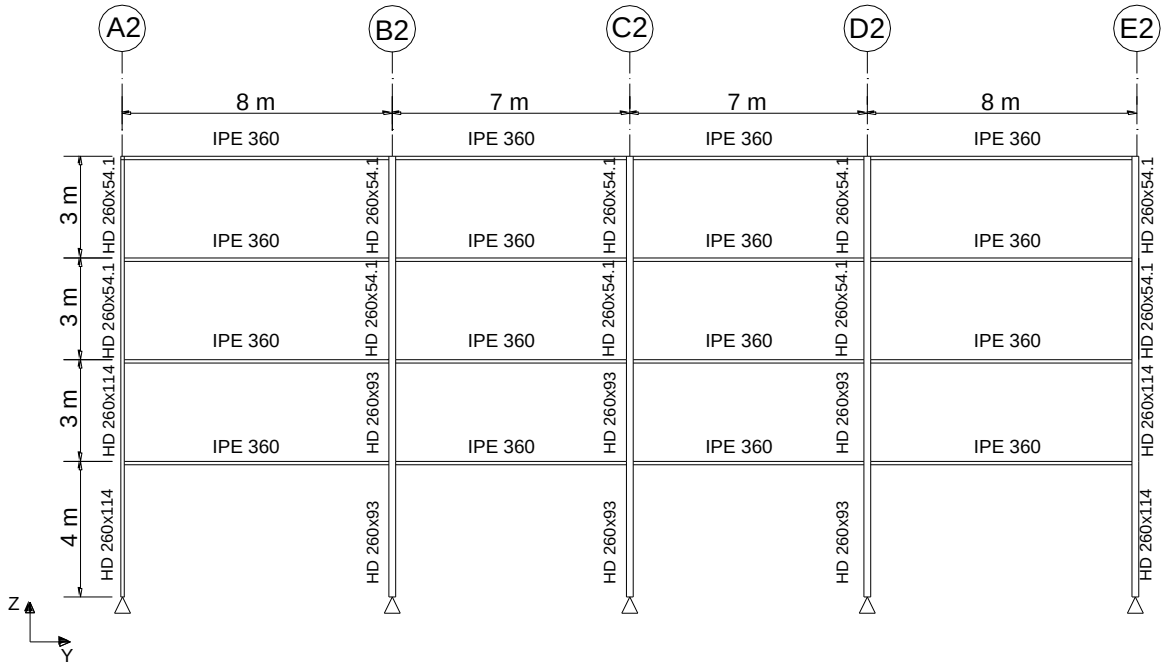
Şekil 4.12 : 4 Katlı yapı XZ düzlemi tipik enkesiti (A Aksı Çerçevesi).



Şekil 4.13 : 4 Katlı yapı XZ düzlemi tipik enkesiti (B Aksı Çerçevesi).



Şekil 4.14 : 4 Katlı yapı YZ düzlemi tipik enkesiti (1 Aksı Çerçevesi).

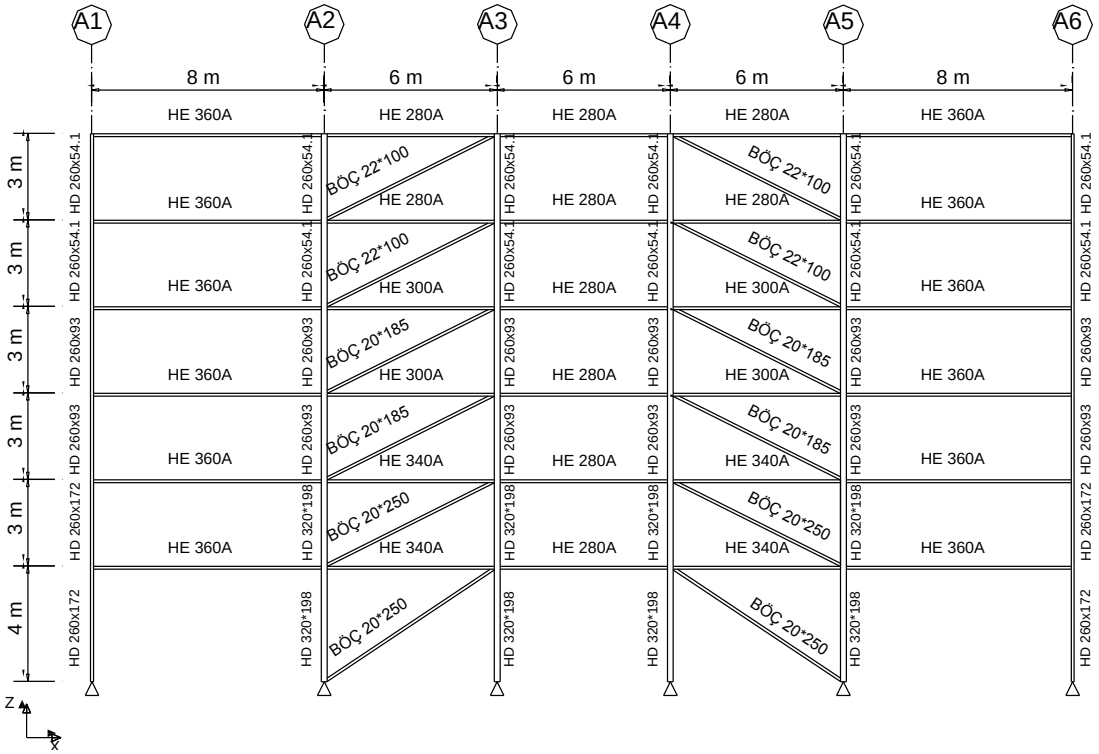


Şekil 4.15 : 4 Katlı yapı YZ düzlemi tipik enkesiti (2 Aksı Çerçevesi).

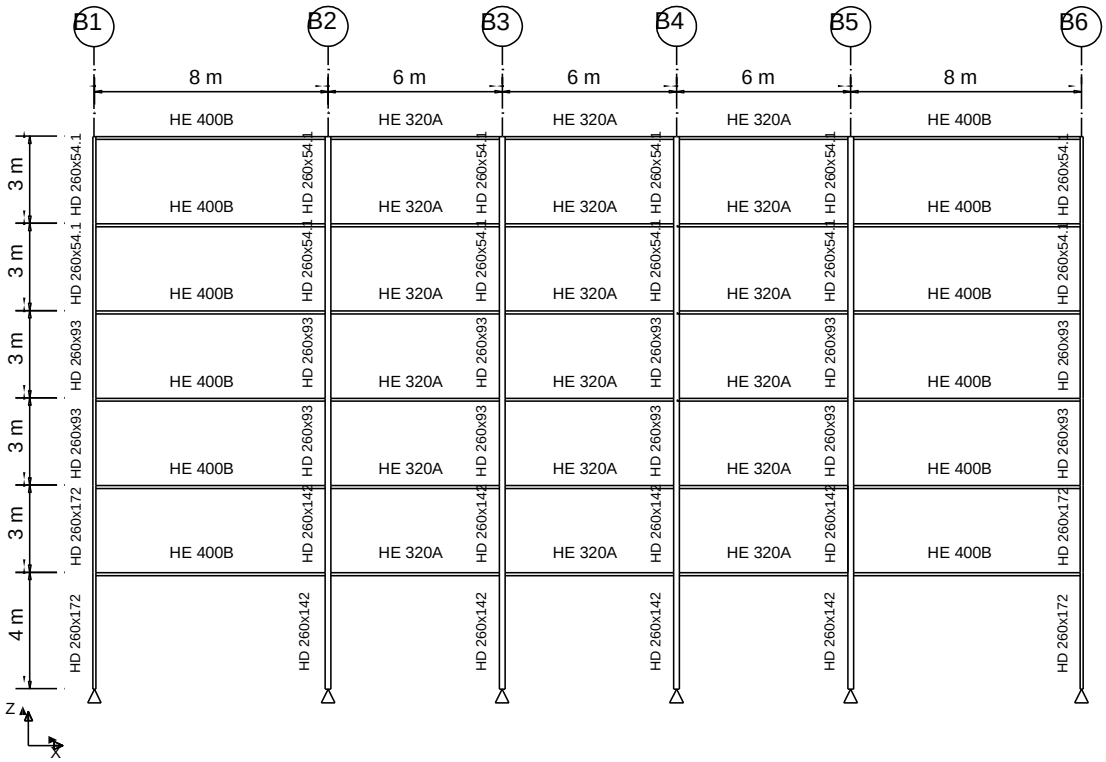
6 Katlı yapı ile ilgili taşıyıcı sistem elemanı enkesit profilleri Çizelge 4.21'de özetlenmiştir. Çizelgede verilen kesitlerin daha anlaşılır olabilmesi için Şekil 4.16, Şekil 4.17, Şekil 4.18 ve Şekil 4.19'da yapı ile ilgili kesitler verilmiştir.

Çizelge 4. 21 : 6 Katlı yapı taşıyıcı sistem elemanları enkesit profilleri.

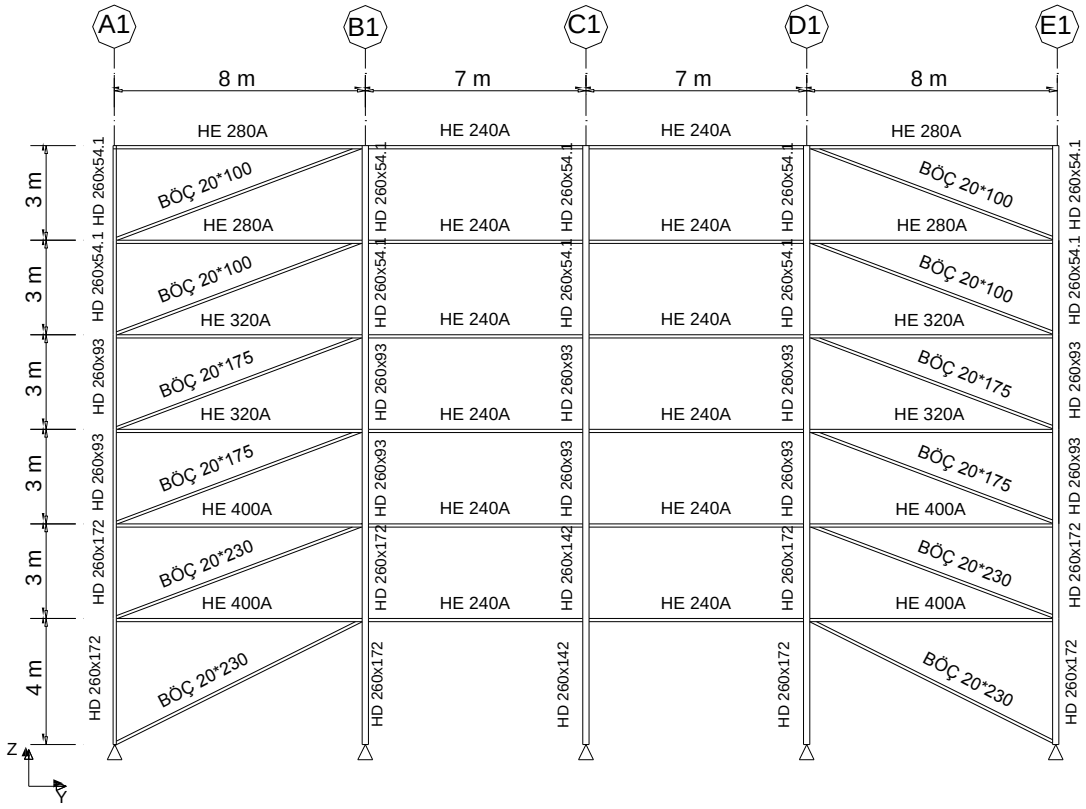
Taşıyıcı Sistem Elemanı	**Enkesit Profili**	**İşletme Gerilmeleri/Emniyet Gerilmeleri**
İkincil kirişler (Tüm Katlarda)	IPE 360	0.658
A ve E çerçeveleri 1-2.5-6 Aksları Ana kirişleri (Tüm Katlarda)	HE360A	0.625
A ve E çerçeveleri 2-3,4-5 Aksları Ana Kirişleri (1 ve 2. Katlarda)	HE340A	0.946
A ve E çerçeveleri 2-3,4-5 Aksları Ana Kirişleri (3 ve 4. Katlarda)	HE300A	0.935
A ve E çerçeveleri 2-3,4-5 Aksları Ana Kirişleri (3, 4, 5 ve 6. Katlarda)	HE280A	0.801
A ve E çerçeveleri 3-4 Aksları Ana Kirişleri (Tüm Katlarda)	HE280A	0.682
B,C ve D Çerçeveleri 2-3,3-4,4-5 Aksları Ana Kirişleri (Tüm Katlarda)	HE320A	0.680
B,C,D Çerçeveleri 1-2 ve 5-6 Aksları ana kirişleri (Tüm Katlarda)	HE400B	0.682
1 ve 6 Çerçeveleri A-B, D-E Aksları ana kirişleri (1 ve 2. Katlarda)	HE400A	0.778
1 ve 6 Çerçeveleri A-B, D-E Aksları ana kirişleri (3 ve 4. Katlarda)	HE320A	0.983
1 ve 6 Çerçeveleri A-B, D-E Aksları ana kirişleri (5 ve 6. Katlarda)	HE280A	0.859
1 ve 6 Çerçeveleri B-C,C-D Aksları Ana kirişleri (Tüm Katlarda)	HE240A	0.494
2,3,4,5 Çerçeveleri A-B-C-D-E Aksları Ana Kirişleri (Tüm Katlarda)	IPE360	0.658
±0.00/+7.00 kotları arasındaki A-2,A-3,A-4,A-5 ve E-2,E-3,E-4,E-5 akslarındaki kolonlar	HD320x198	0.852
±0.00/+7.00 kotları arasındaki A-1,B-1,D-1, E-1, A-6,B-6,D-6,E-6 aksları dışındaki kolonlar	HD260x172	0.838
±0.00/+7.00 kotları arasındaki diğer akslardaki kolonlar	HD260x142	0.810
+7.00/+13.00 kotları arasındaki tüm kolonlar	HD260x93	0.741
+13.00/+19.00 kotları arası tüm kolonlar	HD260x54.1	0.621
1 ve 2. Kat x-doğrultusu Burkulması Önlenmiş Çaprazlar	20x250	0.993
3 ve 4. Kat x-doğrultusu Burkulması Önlenmiş Çaprazlar	20x185	0.994
5 ve 6. Kat x-doğrultusu Burkulması Önlenmiş Çaprazlar	22x100	0.966
1 ve 2. Kat y-doğrultusu Burkulması Önlenmiş Çaprazlar	20x230	0.986
3 ve 4. Kat y-doğrultusu Burkulması Önlenmiş Çaprazlar	20x175	0.996
5 ve 6. Kat y-doğrultusu Burkulması Önlenmiş Çaprazlar	20x100	0.999



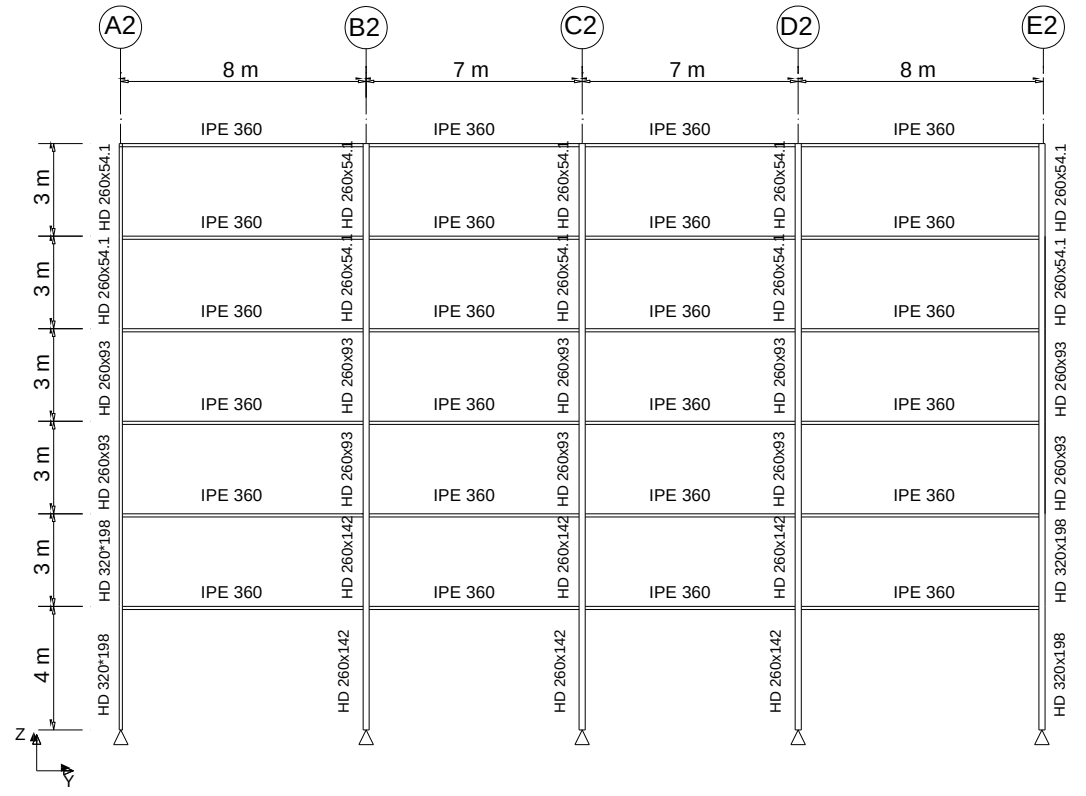
Şekil 4.16 : 6 Katlı yapı XZ düzlemi tipik enkesiti (A Aksı Çerçevesi).



Şekil 4.17 : 6 Katlı yapı XZ düzlemi tipik enkesiti (B Aksı Çerçevesi).



Şekil 4.18 6 Katlı yapı YZ düzlemi tipik enkesiti (1 Aksı Çerçevesi).

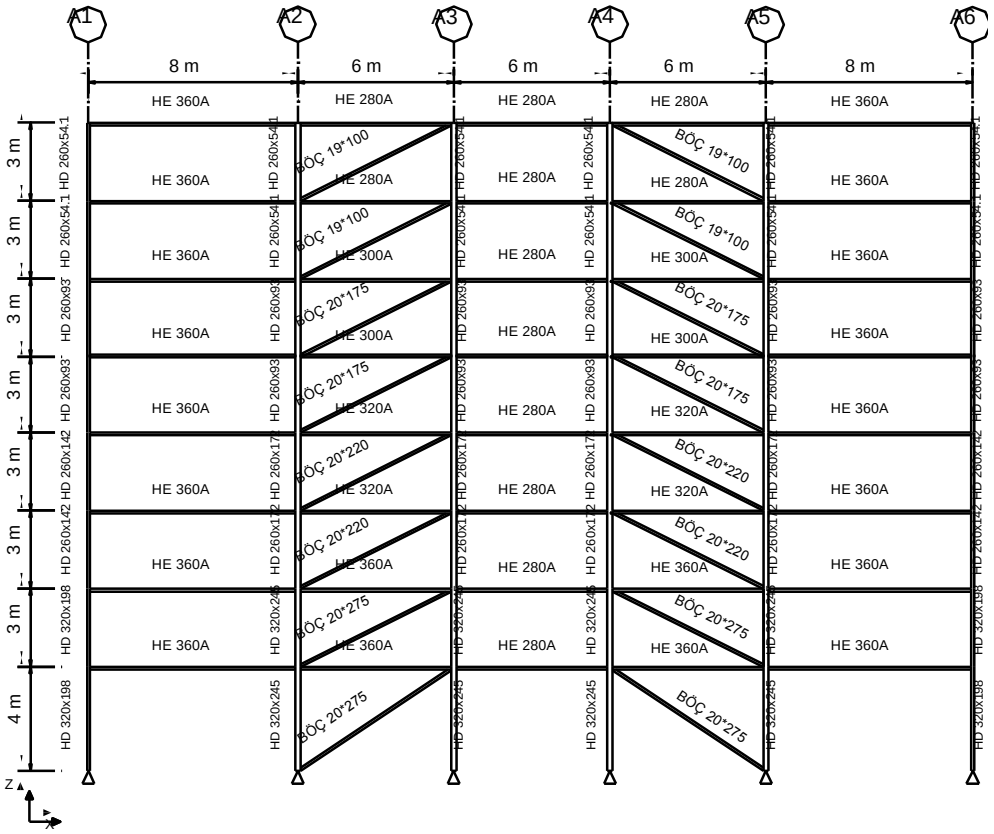


Şekil 4.19 6 Katlı yapı YZ düzlemi tipik enkesiti (2 Aksı Çerçevesi).

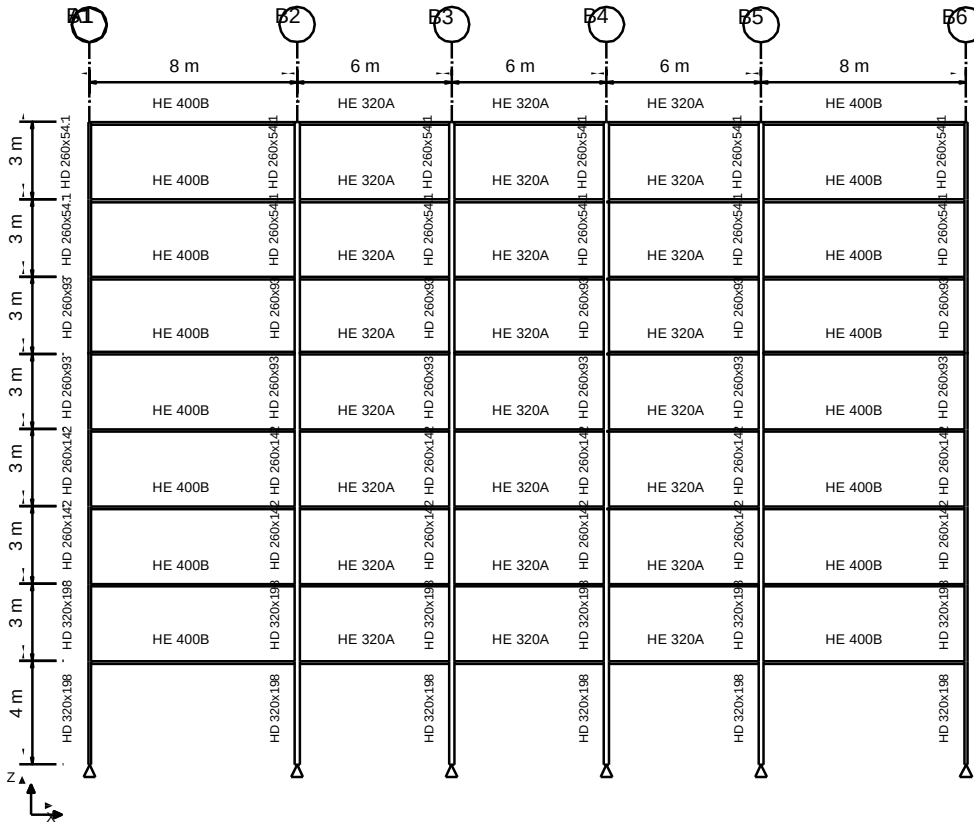
8 Katlı yapı ile ilgili enkesit özellikleri Çizelge 4.22'de belirtilmiştir. Bu enkesitler Şekil 4.20, Şekil 4.21, Şekil 4.22 ve Şekil 4.23'teki kesitlerde şematik olarak gösterilmiştir.

Çizelge 4. 22 : 8 Katlı yapı taşıyıcı sistem elemanları enkesit profilleri.

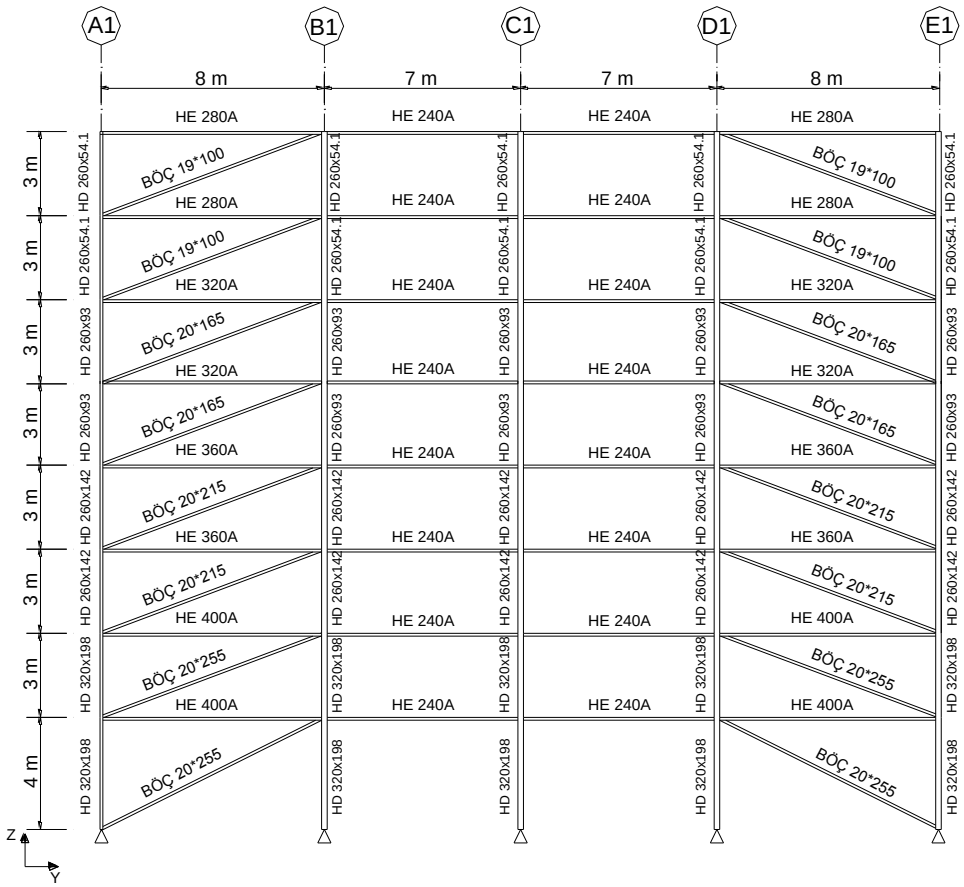
Taşıyıcı Sistem Elemanı	**Enkesit Profili**	**İşletme Gerilmeleri/Emniyet Gerilmeleri**
İkincil kirişler (Tüm Katlarda)	IPE 360	0.685
A ve E çerçeveleri 1-2.5-6 Aksları Ana kirişleri (Tüm Katlarda)	HE360A	0.625
A ve E çerçeveleri 2-3,4-5 Aksları Ana Kirişleri (1 ve 2. Katlarda)	HE360A	0.949
A ve E çerçeveleri 2-3,4-5 Aksları Ana Kirişleri (3 ve 4. Katlarda)	HE320A	0.951
A ve E çerçeveleri 2-3,4-5 Aksları Ana Kirişleri (5 ve 6. Katlarda)	HE300A	0.897
A ve E çerçeveleri 2-3,4-5 Aksları Ana Kirişleri (7 ve 8. Katlarda)	HE280A	0.732
A ve E çerçeveleri 3-4 Aksları Ana Kirişleri (Tüm Katlarda)	HE280A	0.682
B,C ve D Çerçeveleri 2-3,3-4,4-5 Aksları Ana Kirişleri (Tüm Katlarda)	HE320A	0.680
B,C,D Çerçeveleri 1-2 ve 5-6 Aksları ana kirişleri (Tüm Katlarda)	HE400B	0.682
1 ve 6 Çerçeveleri A-B, D-E Aksları ana kirişleri (1 ve 2. Katlarda)	HE400A	0.854
1 ve 6 Çerçeveleri A-B, D-E Aksları ana kirişleri (3 ve 4. Katlarda)	HE360A	0.996
1 ve 6 Çerçeveleri A-B, D-E Aksları ana kirişleri (5 ve 6. Katlarda)	HE320A	0.912
1 ve 6 Çerçeveleri A-B, D-E Aksları ana kirişleri (5 ve 6. Katlarda)	HE280A	0.827
1 ve 6 Çerçeveleri B-C,C-D Aksları Ana kirişleri (Tüm Katlarda)	HE240A	0.494
2,3,4,5 Çerçeveleri A-B-C-D-E Aksları Ana Kirişleri (Tüm Katlarda)	IPE360	0.658
±0.00/+7.00 kotları arasındaki A-2,A-3,A-4,A-5 ve E-2,E-3,E-4,E-5 akslarındaki kolonlar	HD320x245	0.950
±0.00/+7.00 kotları arasındaki A-2,A-3,A-4,A-5 ve E-2,E-3,E-4,E-5 aksları dışındaki kolonlar	HD260x198	0.865
+7.00/+13.00 kotları arasındaki A-2,A-3,A-4,A-5 ve E-2,E-3,E-4,E-5 akslarındaki kolonlar	HD260x172	0.827
+7.00/+13.00 kotları arasındaki A-2,A-3,A-4,A-5 ve E-2,E-3,E-4,E-5 aksları dışındaki kolonlar	HD260*142	0.732
+13.00/+19.00 kotları arası tüm kolonlar	HD260x93	0.738
+19.00/+25.00 kotları arası tüm kolonlar	HD260x54.1	0.621
1 ve 2. Kat x-doğrultusu (BÖÇ)	20x275	0.992
3 ve 4. Kat x-doğrultusu BÖÇ	20x220	0.988
5 ve 6. Kat x-doğrultusu BÖÇ	22x175	0.978
7 ve 8. Kat x-doğrultusu BÖÇ	19x100	0.992
1 ve 2. Kat y-doğrultusu BÖÇ	20x255	0.991
3 ve 4. Kat y-doğrultusu BÖÇ	20x215	0.979
5 ve 6. Kat y-doğrultusu BÖÇ	20x165	0.989
7 ve 8. Kat y-doğrultusu BÖÇ	19x100	0.961



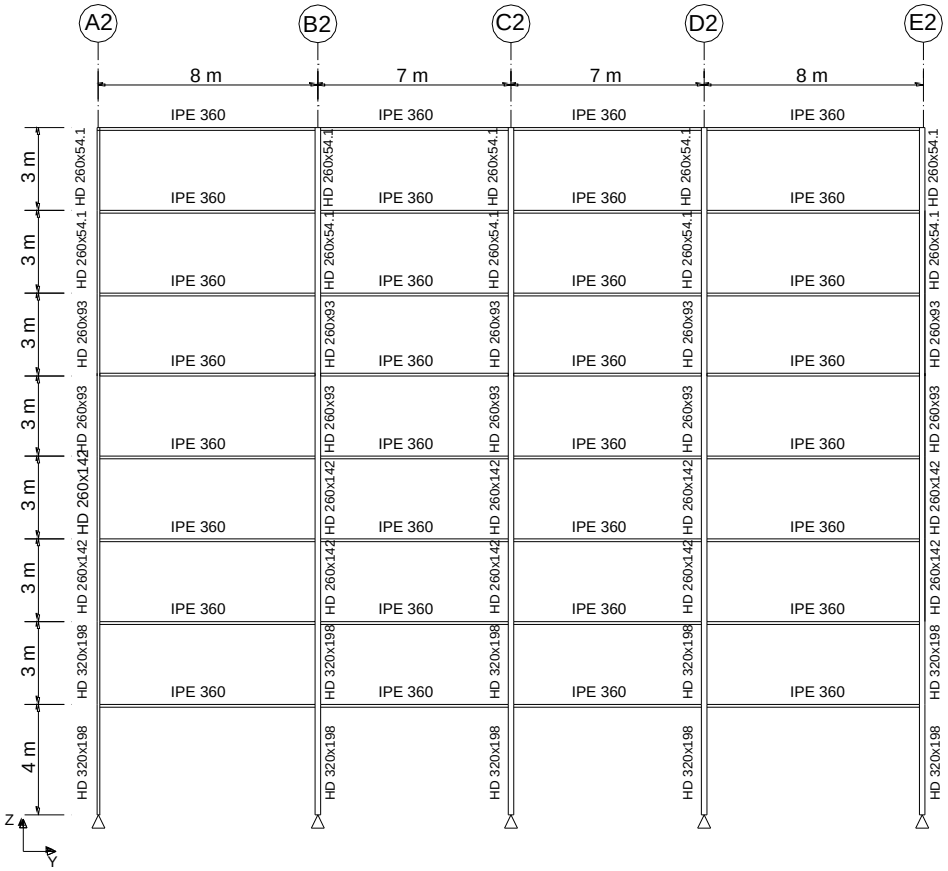
Şekil 4.20 : 8 Katlı yapı XZ düzlemi tipik enkesiti (A Aksı Çerçevesi).



Şekil 4.21 : 8 Katlı yapı XZ düzlemi tipik enkesiti (B Aksı Çerçevesi).



Şekil 4.22 : 8 Katlı yapı YZ düzlemi tipik enkesiti (1 Aksı Çerçevesi).



Şekil 4.23 : 8 Katlı yapı YZ düzlemi tipik enkesiti (2 Aksı Çerçevesi).

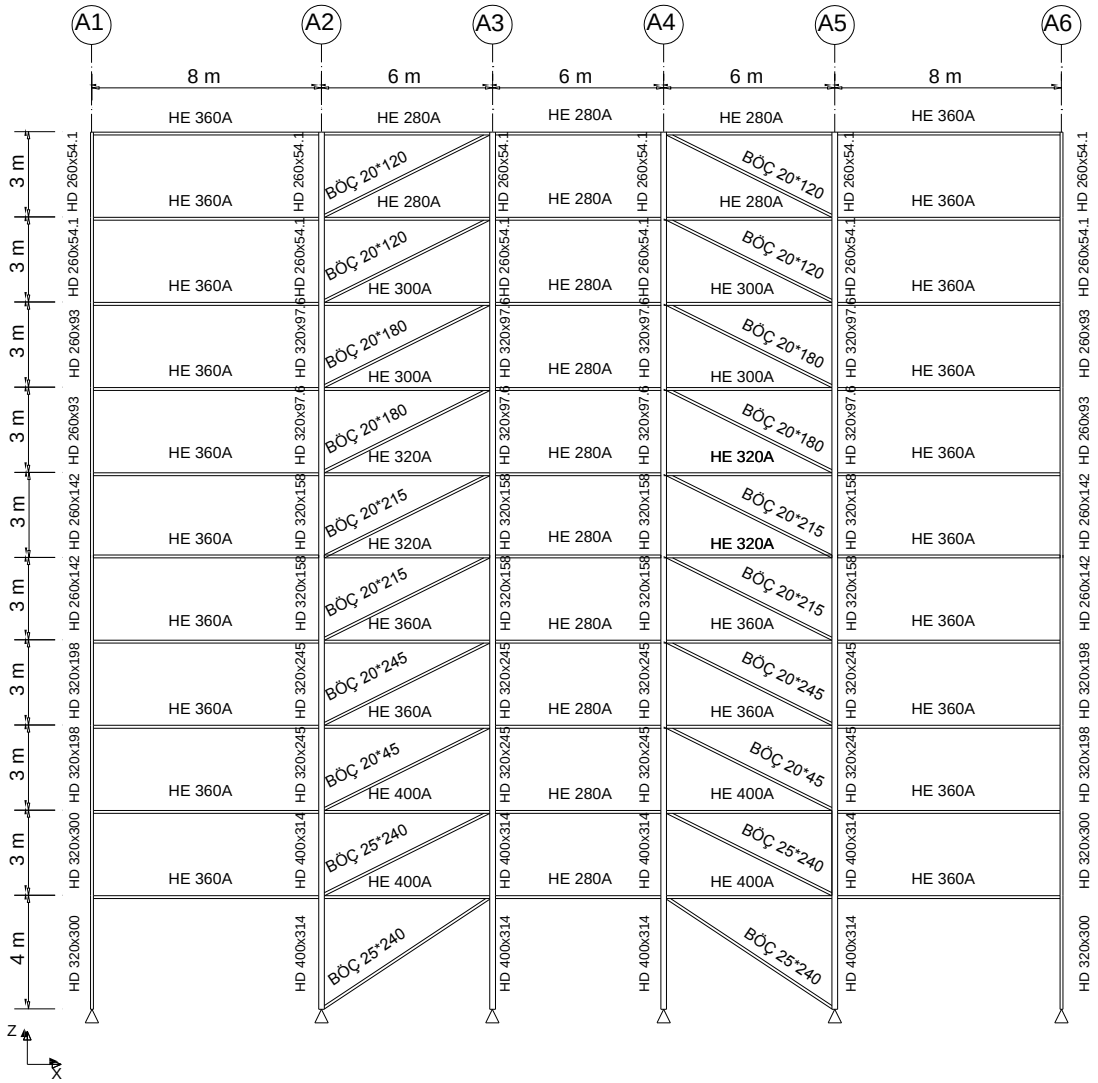
Çizelge 4. 23 : 10 Katlı yapı taşıyıcı sistem elemanları enkesit profilleri.

Taşıyıcı Sistem Elemanı	Enkesit Profili	İşletme Gerilmeleri/Emniyet Gerilmeleri
İkincil kirişler (Tüm Katlarda)	IPE 360	0.658
A ve E çerçeveleri 1-2.5-6 Aksları Ana kirişleri (Tüm Katlarda)	HE360A	0.625
A ve E çerçeveleri 2-3,4-5 Aksları Ana Kirişleri (1 ve 2. Katlarda)	HE400A	0.912
A ve E çerçeveleri 2-3,4-5 Aksları Ana Kirişleri (3 ve 4. Katlarda)	HE360A	0.889
A ve E çerçeveleri 2-3,4-5 Aksları Ana Kirişleri (5 ve 6. Katlarda)	HE320A	0.934
A ve E çerçeveleri 2-3,4-5 Aksları Ana Kirişleri (7 ve 8. Katlarda)	HE300A	0.916
A ve E çerçeveleri 2-3,4-5 Aksları Ana Kirişleri (9 ve 10. Katlarda)	HE280A	0.847
A ve E çerçeveleri 3-4 Aksları Ana Kirişleri (Tüm Katlarda)	HE280A	0.682
B,C ve D Çerçeveleri 2-3,3-4,4-5 Aksları Ana Kirişleri (Tüm Katlarda)	HE320A	0.680
B,C,D Çerçeveleri 1-2 ve 5-6 Aksları ana kirişleri (Tüm Katlarda)	HE400B	0.682
1 ve 6 Çerçeveleri A-B, D-E Aksları ana kirişleri (1,2,3 ve 4 Katlarda)	HE400A	0.929
1 ve 6 Çerçeveleri A-B, D-E Aksları ana kirişleri (5 ve 6. Katlarda)	HE360A	0.975
1 ve 6 Çerçeveleri A-B, D-E Aksları ana kirişleri (7 ve 8. Katlarda)	HE300A	0.864
1 ve 6 Çerçeveleri A-B, D-E Aksları ana kirişleri (9 ve 10. Katlarda)	HE280A	0.966
1 ve 6 Çerçeveleri B-C,C-D Aksları Ana kirişleri (Tüm Katlarda)	HE240A	0.494
2,3,4,5 Çerçeveleri A-B-C-D-E Aksları Ana Kirişleri (Tüm Katlarda)	IPE360	0.658
±0.00/+7.00 kotları arasındaki A-2,A-3,A-4,A-5 ve E-2,E-3,E-4,E-5 akslarındaki kolonlar	HD400x314	0.950
±0.00/+7.00 kotları arasındaki A-1,B-1,D-1, E-1, A-6,B-6,D-6,E-6 aksları dışındaki kolonlar	HD320x300	0.847
±0.00/+7.00 kotları arasındaki diğer akslardaki kolonlar	HD320x245	0.770
+7.00/+13.00 kotları arasındaki A-2,A-3,A-4,A-5 ve E-2,E-3,E-4,E-5 akslarındaki kolonlar	HD320x245	0.857
+7.00/+13.00 kotları arasındaki A-2,A-3,A-4,A-5 ve E-2,E-3,E-4,E-5 aksları dışındaki kolonlar	HD320x198	0.700
+13.00/+19.00 kotları arasındaki A-2,A-3,A-4,A-5 ve E-2,E-3,E-4,E-5 akslarındaki kolonlar	HD320x158	0.921
+13.00/+19.00 kotları arasındaki A-2,A-3,A-4,A-5 ve E-2,E-3,E-4,E-5 aksları dışındaki kolonlar	HD260x142	0.739
+19.00/+25.00 kotları arasındaki A-2,A-3,A-4,A-5 ve E-2,E-3,E-4,E-5 akslarındaki kolonlar	HD320x97.6	0.890
+19.00/+25.00 kotları arasındaki A-2,A-3,A-4,A-5 ve E-2,E-3,E-4,E-5 aksları dışındaki kolonlar	HD260x93	0.741
+25.00/+31.00 kotları arasındaki tüm kolonlar	HD260x54.1	0.685
1 ve 2. Kat x-doğrultusu BÖÇ	25x240	0.988
3 ve 4. Kat x-doğrultusu BÖÇ	20x245	0.990

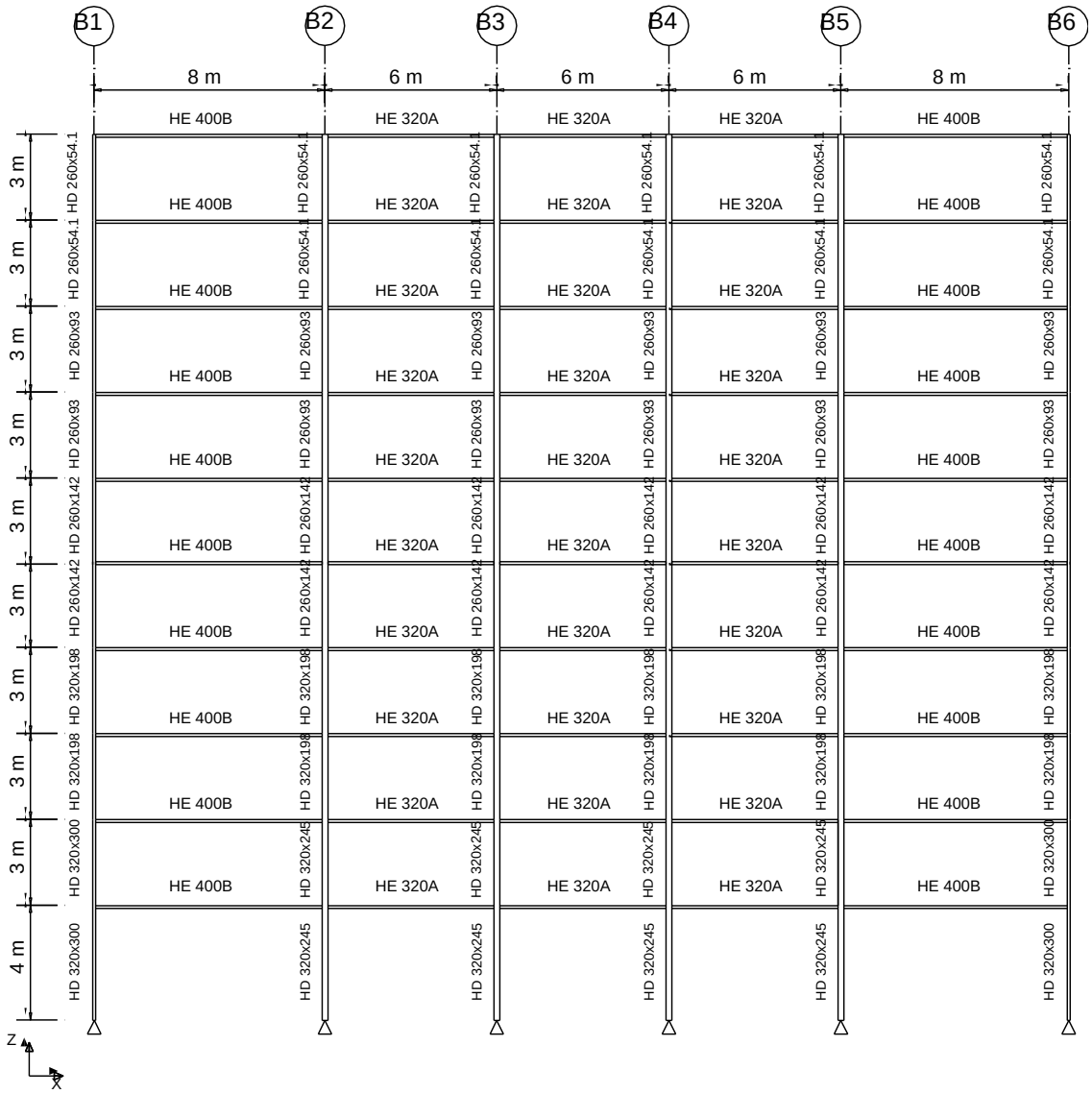
Çizelge 4. 23 : 10 Katlı yapı taşıyıcı sistem elemanları enkesit profilleri (devam).

5 ve 6. Kat x-doğrultusu BÖÇ	20x215	0.994
7 ve 8. Kat x-doğrultusu BÖÇ	20x180	0.898
9 ve 10. Kat x-doğrultusu BÖÇ	20x120	0.758
1 ve 2. Kat y-doğrultusu BÖÇ	28x200	0.993
3 ve 4. Kat y-doğrultusu BÖÇ	20x240	0.993
5 ve 6. Kat y-doğrultusu BÖÇ	20x210	0.989
7 ve 8. Kat y-doğrultusu BÖÇ	20x155	0.997
9 ve 10. Kat y-doğrultusu BÖÇ	19x100	0.919

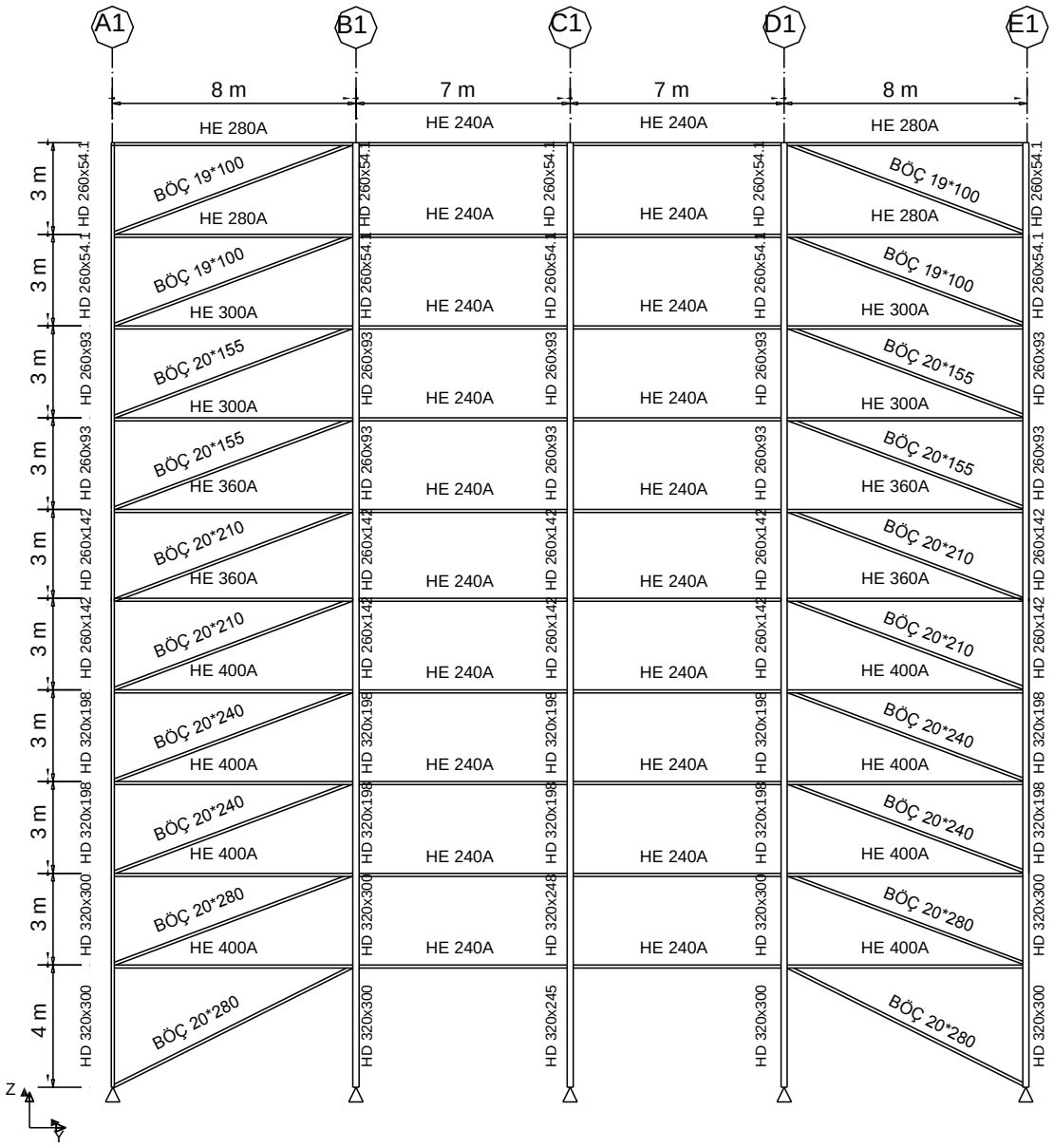
10 Katlı yapının taşıyıcı sistem elemanları enkesit profilleri Çizelge 4.23'te belirtildiği gibidir. Bu enkesitler Şekil 4.24, Şekil 4.25, Şekil 4.25 ve Şekil 4.26'daki kesitler üzerinde şematik olarak gösterilmiştir.



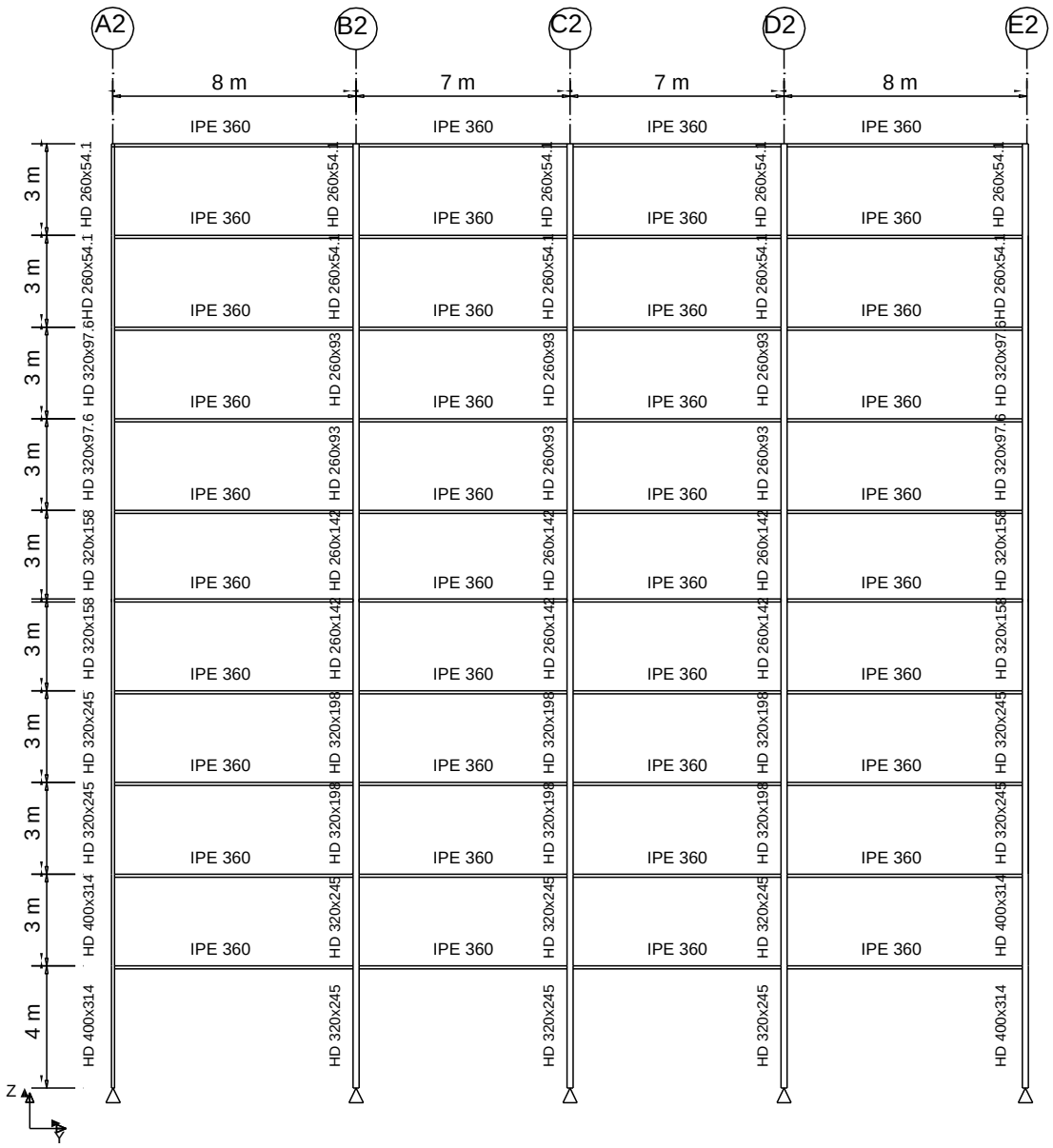
Şekil 4.24 : 10 Katlı yapı XZ düzlemi tipik enkesiti (A Aksı Çerçevesi).



Şekil 4.25 : 10 Katlı yapı XZ düzlemi tipik enkesiti (B Aksı Çerçevesi).



Şekil 4.26 : 10 Katlı yapı YZ düzlemi tipik enkesiti (1 Aksı Çerçevesi).



Şekil 4.27 : 10 Katlı yapı YZ düzlemi tipik enkesiti (2 Aksı Çerçevesi).

Sonuç olarak, SAP 2000 programı yardımı ile iç kuvvetleri belirlenen 4,6,8,10 katlı yapıların doğrusal analizleri yapılarak, taşıyıcı sistem enkesit profilleri belirlenmiştir. Bu boyutlar kullanılarak, doğrusal olmayan statik itme analizi gerçekleştirilecektir.

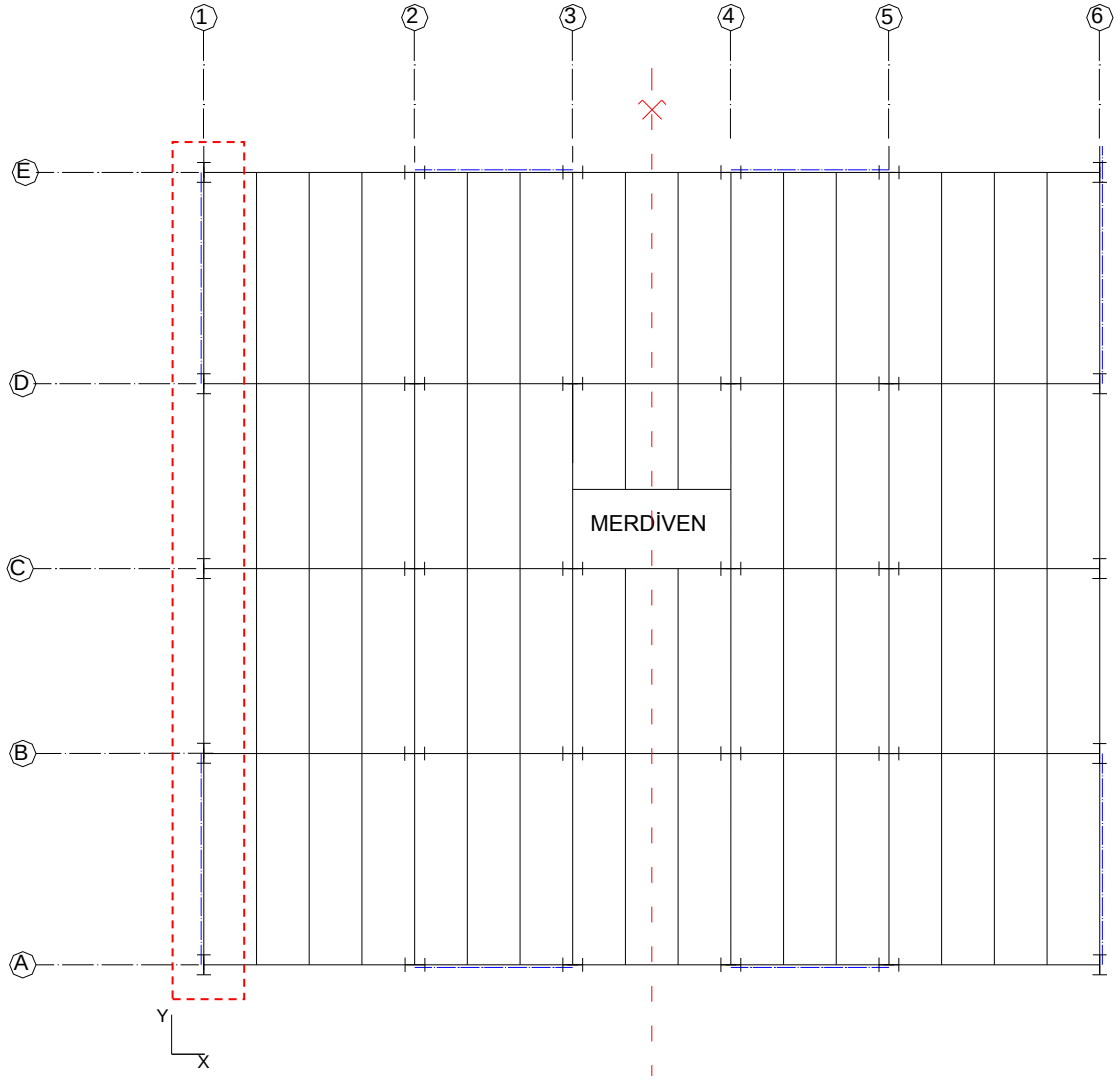
5. MODEL YAPILARIN DOĞRUSAL OLMAYAN STATİK İTME ANALİZİ

Bu bölüm, boyutlandırması yapılan 4,6,8,10 katlı yapıların, iki boyutlu yapı modellerinin OpenSEES (Open System for Earthquake Engineering Simulation) programı yardımıyla modellenmesini ve doğrusal olmayan statik itme analizini kapsamaktadır. Burkulması önlenmiş çaprazlı çerçevelerin yapısal performansını elde etmek için, doğrusal olmayan analiz gerçekleştirmemiz gerekmektedir. Bu çalışmada, doğrusal olmayan statik itme analizi sonucunda sistemin yük – yerdeğiştirme eğrisi elde edilerek, büyütme katsayıları farklı kat yükseklikleri için elde edilecektir.

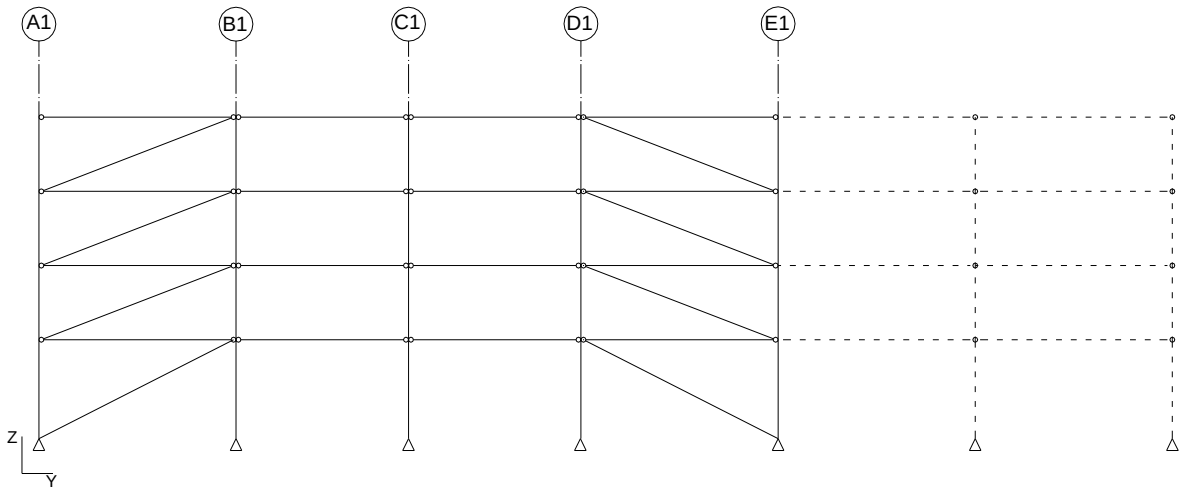
OpenSEES programı, yapısal sistemlerin sismik tepkilerinin elde edilmesini sağlayan açık kaynak kodlu, sonlu eleman yazılımıdır. Yapıların doğrusal olmayan davranışlarını modelleme ve analiz etmede ileri düzey imkanlar sunan, geniş malzeme modeli, elemanları ve çözüm algoritmaları olan bir programdır.

Tasarlanan yapıların her iki doğrultusunda da burkulması önlenmiş çaprazlar bulunmaktadır. Bu nedenle, her iki doğrultu için ayrı ayrı modeller oluşturulmuştur. Çerçevelerde, diyagonal çaprazlar bulunduğundan, sisteme gelen yatay yük sonucunda çaprazların biri basınç diğeri çekme etkisi altında olacaktır. Bu nedenle, oluşturulan iki boyutlu modellerde, çaprazlı çerçevelerin tamamı göz önüne alınmıştır. Ayrıca, çaprazlı çerçevelerin dışında kalan diğer taşıyıcı elemanların düşey yüklerinin de hesaba katılabilmesi için, “leaning column” adı verilen, yanal yük taşıma kapasitesi olmayan fiktif kolonlar tanımlanmıştır. Fiktif kolonlar, göz önüne alınan doğrultu için o aks dışında kalan aksların düşey yüklerini kapsamaktadır.

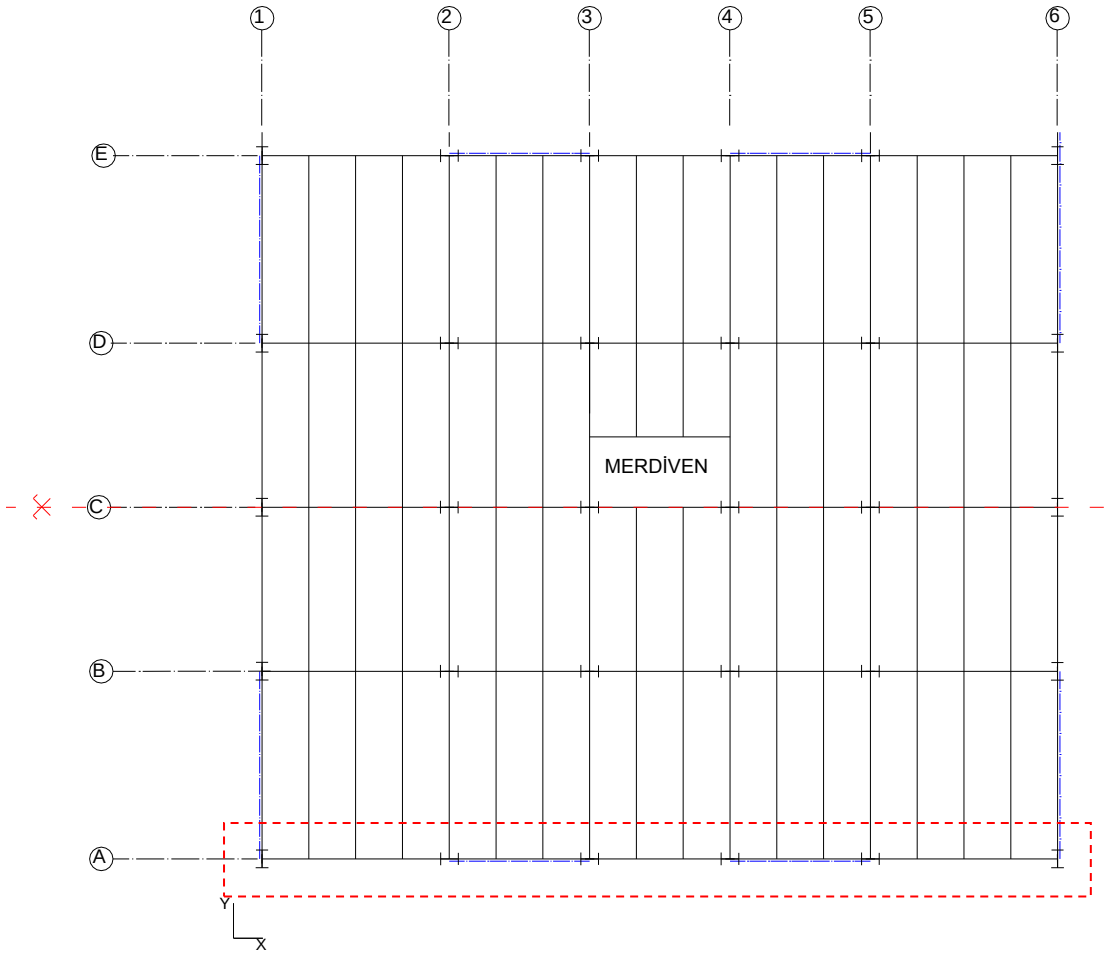
Şekil 5.1’de örnek olarak seçilmiş 4 katlı yapının planı görülmektedir. Bu plan üzerinde y- doğrultusu için hazırlanmış iki boyutlu çerçeve modeli, etkili olduğu alan tanımlanacaktır. YZ düzlemindeki çerçeve ve fiktif kolonları Şekil 5.2’de belirtildiği gibi OpenSEES modeli oluşturulmuştur. Şekil 5.3 ve Şekil 5.4’te de aynı şekilde x-doğrultusu için hazırlanış çerçeve modeli ve etkili olduğu alan mevcuttur.



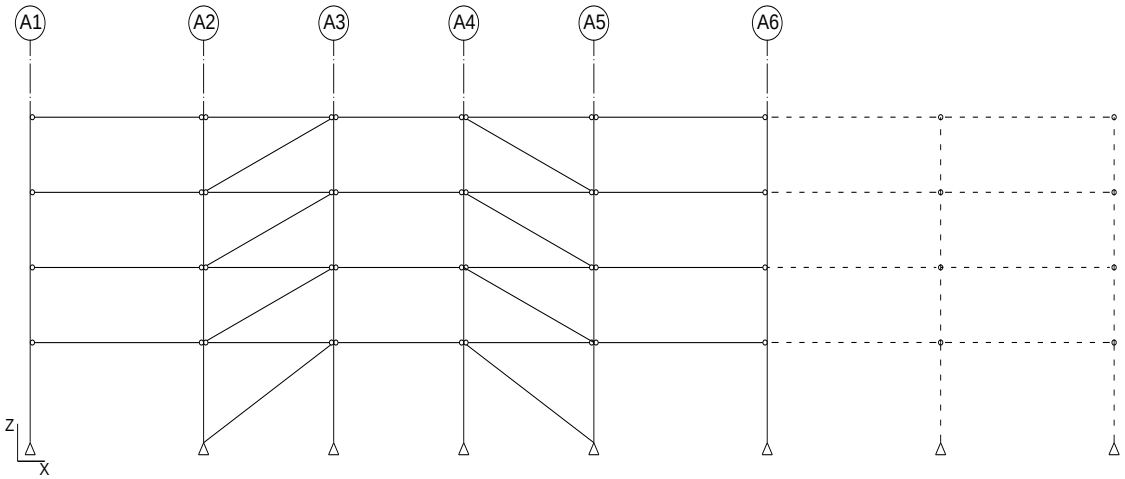
Şekil 5.1 : Sistem planında y – doğrultusu için göz önüne alınan çerçevenin gösterimi ve etkili alanı.



Şekil 5.2 : 1 Çerçevesi (YZ Düzlemi) OpenSEES modeli gösterimi.



Şekil 5.3 : Sistem planında x – doğrultusu için göz önüne alınan çerçevenin planda gösterimi ve çerçevenin etkili alanı.



Şekil 5.4 : A Çerçevesi (XZ Düzlemi) OpenSEES modeli gösterimi.

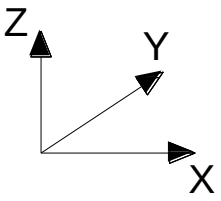
5.1. Yapı Elemanlarının OpenSEES'de Modellenmesi

Doğrusal olmayan statik itme analizi için kullanılacak program OpenSEES yazılımıdır. Bu program özellikle deprem etkisi altında yapıların ya da zeminin davranışını elde etmek için tasarlanmıştır. Elemanların doğrusal olmayan davranışlarını temsil etmek içim bir takım varsayımlar yapılmıştır. Ayrıca burkulması önlenmiş çubuk davranışı için tek katlı yalnızca bir çaprazın kullanıldığı bir modelin tekrarlı tersinir yükleme etkisindeki davranışı elde edilerek, bu kabullerin doğruluğu gösterilmiştir.

OpenSEES programındaki genel koordinat sistemi, Şekil 5.5'te gösterildiği gibidir ve bir elemanın koordinatları sisteme tanımlanacağı zaman x,y,z sırası ile tanımlanmaktadır. Düğüm noktalarının tanımlanması için "node" adı verilen komut kullanıldıktan sonra sırası ile o düğüm noktası numarası ve koordinatları girilir.

node 1 0.0 0.0 0.0;(1 numaralı düğüm noktasının koordinatlarının sırasıyla x,y,z olacak şekilde (0,0,0) olduğunu gösterir.)

node 2 0.0 120. 0.0; (2 numaralı düğüm noktasının koordinatlarının sırasıyla x,y,z olacak şekilde (0,0,0) olduğunu gösterir.)



Şekil 5.5 : OpenSEES genel eksen takımı.

Tüm yapı sistemlerinde her iki doğrultuda da, kolonlar temele mafsallı olarak bağlanmıştır. Bunun OpenSEES de tanımlanması için kullanılan komut "fix" komutudur ve sınır koşulları 0 ya da 1 ile temsil edilerek sistem modeline girilir. Burada 0, sınırlandırılmamış hareketi temsil ederken, 1 engellenmiş hareketi temsil etmektedir. Buna göre mafsallı bağlantının y ekseni etrafındaki dönmesi serbest bırakılacağından, komut aşağıdaki örnekteki gibi düzenlenmiştir.

fix 3 1 1 1 1 0 1; (3 numaralı düğüm noktasında sırasıyla dx,dy,dz,Θx, Θy, Θz serbestliklerinin nasıl engellendiği gösterilmektedir.

Yapı sisteminde, çaprazların olmadığı iç çerçeveleri temsilen oluşturulan fiktif kolonlar, yapı sisteminde yalnızca eksenel yük taşıyan elemanlar olarak tanımlanacağından tüm doğrultulardaki ötelenme ve dönme hareketleri engellenmiştir yani ankastre olarak bağlanmıştır. Burada kolonlar yalnızca düşey yük aktaracak şekilde ayarlandığından, mafsallı olarak tanımlanması gerekmemiştir.

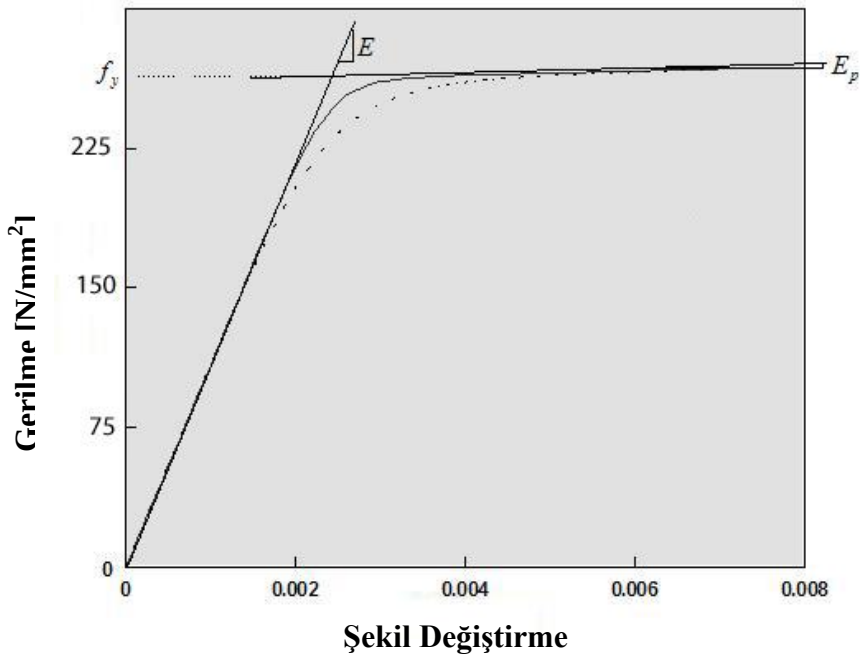
3 boyutlu olan yapı sistemi 2 boyutlu olarak modellendiğinden, bu sistemdeki düğüm noktalarının y doğrultusundaki hareketleri de ilgili indis 1 atanarak engellenmiştir.

Tüm yapı sistemlerinde her iki doğrultudaki ana çerçeve kirişlerinin bağlantıları da mafsallı olarak düzenlenmiştir. Bu düzenlemenin gerçekleştirilmesi için kirişlerin kolonlarla birleştiği noktada "elasticBeamColumn" komutu ile birleşimin elastik olmasının sağlanacağı bir eleman tanımlanmıştır. Bu eleman bir nevi kolonun ekseninin yarısı ile kirişin başladığı nokta arasını temsil eden rijit kısımdır. Bu kısmın malzemesi tanımlanırken elastisite modülü yüksek bir malzeme tanımlanmıştır. Bu rijit kısımla kiriş uç noktası arasında da iki düğüm noktasının aynı nokta üzerinde olduğunu belirten sıfır uzunluklu bir "ZeroLength" elemanı tanımlanmıştır. Burada da mafsallı bağlantının gerçekleşmesi için bu elemanın elastisite modülü düşük tutulmuştur.

5.1.1. Burkulması önlenmiş çapraz modeli

Burkulması önlenmiş çapraz modelinin tanımlanması için OpenSEES programında kullanılan malzeme modeli "Steel02" olarak adlandırılan, pekleşme etkilerinin de göz önüne alındığı Giuffré-Menegotto Pinto modelidir. Bu modelin gerilme – şekil değiştirme grafiği Şekil 5.6'da belirtildiği gibidir. Burada pekleşme katsayısı olarak tanımlanan, "b" katsayısı için 0.002 değerinin alınması uygun görülmüştür. Grafikteki E katsayısı malzemenin doğrusal elastik bölgede elastisite modülünü temsil etmektedir. E_p ise pekleşen bölgedeki elastisiteyi temsil etmektedir. F_y çeliğin akma dayanımı olarak belirtilmiştir.

Burkulması önlenmiş çapraz elemanını OpenSEES modelinde tanımlamak için "CorotTruss" komutu kullanılmıştır. Bu komut ile malzemesi tanımlanan çaprazın, eleman numarasından sonra iki uç düğüm noktası numaraları ve çapraz alanı girilerek çaprazın tanımı yapılmıştır.



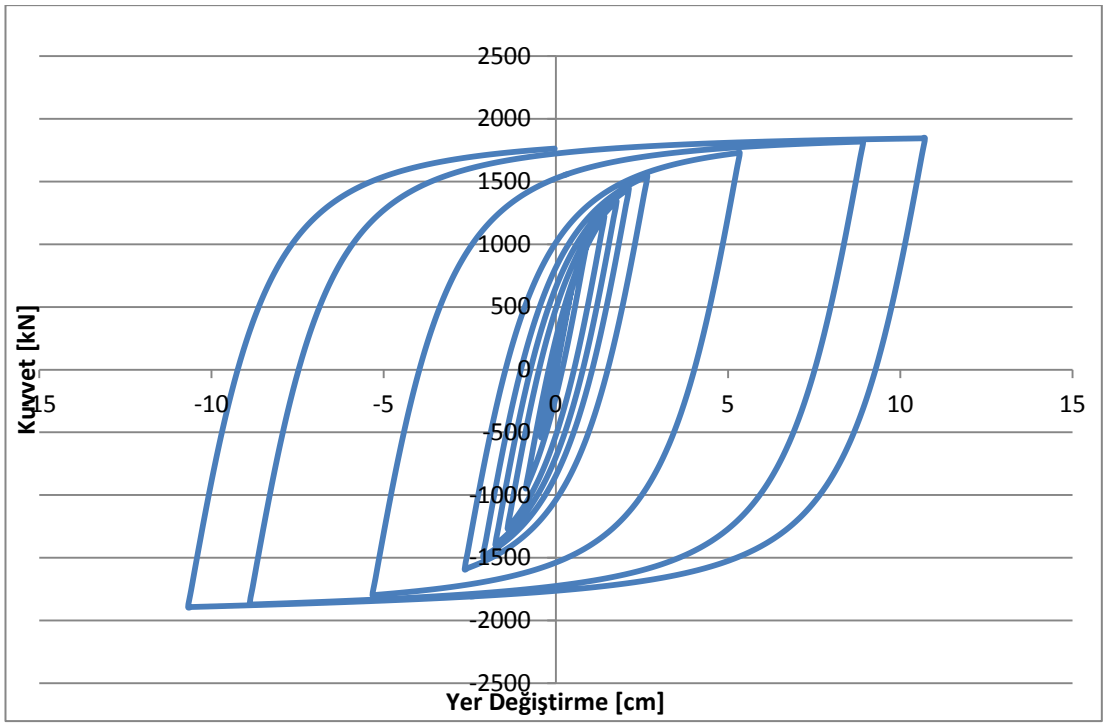
Şekil 5.6 : OpenSEES Steel02 malzemesi gerilme – şekil değiştirme grafiği.

Bu şekilde malzeme modeli oluşturulan çapraz elemanı kullanılarak, tek katlı bir model üzerine tekrarlı tersinir yük uygulanarak kuvvet – yerdeğiştirme eğrisi elde edilmiştir. Elde edilen bu eğri sayesinde, burkulması önlenmiş çapraz olarak tanımlanacak çapraz malzemesinin uygunluğu kontrol edilmiştir.

Oluşturulan tek katlı çerçeve modelinin şematik gösterimi Şekil 5.7'de yer almaktadır. Burada, yapıda kullanılacak olan burkulması önlenmiş çapraz malzemesi modeli tanımlanarak, çaprazın kuvvet – yerdeğiştirme eğrisi Şekil 5.8'deki gibi elde edilmiştir. Elde edilen bu grafik ile çapraz modelinin davranışının gerçekçi olarak tanımlandığı doğrulanmıştır. Buna göre, burkulması önlenmiş çaprazlar için oluşturulacak malzeme modeli bu şekilde kullanılacaktır.



Şekil 5.7 : Burkulması Önlenmiş Çaprazın tekrarlı tersinir yükleme altındaki davranışını elde etmek için hazırlanan modelin şematik gösterimi.



Şekil 5.8 : Modellenen çaprazın tekrarlı tersinir yükleme altındaki kuvvet – yerdeğiştirme grafiği.

5.1.2. Kiriş ve kolon modelleri

Kiriş ve kolon için kullanılacak malzeme modeli de Şekil 5.6 'da tanımlanan Steel02 malzemesidir. Ancak burada pekleşme katsayısı olan b değeri 0.01 alınmıştır.

5.1.3. Fiktif eleman modelleri

Üç boyutlu olan yapı sistemlerinin OpenSEES modelleri iki boyutlu olarak tanımlanmıştır. Bu tanım yapılırken, tüm sistem planda iki alana ayrılarak, dış akslara yerleştirilmiş çaprazların sorumlu oldukları alanlar belirlenmiştir. Buna göre çaprazlı sistemlerin taşıması gereken iç akslar, OpenSEES'de modeli oluşturulan çaprazlı çerçevelere yalnızca eksenel yük taşıyan, hiçbir yatay taşıyıcılığı olmayan çubuk elemanlarla eklenerek bu akslara gelen düşey yükler de sistemde göz önüne alınmıştır. Yapıdaki çaprazsız iç aksları temsil etmesi için modellenen bu fiktif kolonlar ve kirişler için kesit alanı ve elastisite modülü büyük olan bir makas elemanı tanımlanarak yalnızca eksenel kuvvet aktarması gerektiği sistem modeline girilmiştir.

5.1.4. Doğrusal olmayan analizde kullanılacak düşey yükler

Yapıda, çerçevelerin düğüm noktalarına gelen düşey yükler, hareketli yükün tamamının sistemde bulunması olasılığı da göz önünde tutularak, G+0.3Q olacak şekilde hesaplanmıştır. Bu hesaplama yapılırken düğüm noktasına gelen düşey yükler, her aksta kolon üzerinde kesişen kirişlerin kesişme noktasındaki kesme kuvvetleri toplanarak hesaplanmıştır. Çizelge 5.1'de 4 katlı yapının y – doğrultusundaki çaprazlı çerçevesi için hesaplanmış düşey yükler belirtilmiştir. İç aksların her biri için bir kolon tanımlanmış, tüm akstaki normal kuvvetler bu kolonların düğüm noktalarına etkitilmiştir.

Çizelge 5.1: OpenSEES'de tanımlanacak 4 katlı y-doğrultusu çerçevesi için esas alınacak (G+0.3Q) düşey yükler.

KAT	Kolon	N	Kolon	N	Σ	Kolon	N	Σ
Çatı	A1	73.6	A2	128.8	966	A3	110.4	828
	B1	138	B2	241.5		B3	207	
	C1	128.8	C2	225.4		C3	193.2	
	D1	138	D2	241.5		D3	207	
	E1	73.6	E2	128.8		E3	110.4	
3.NK	A1	112	A2	175	1197	A3	150	1026
	B1	187.5	B2	288.75		B3	247.5	
	C1	175	C2	269.5		C3	231	
	D1	187.5	D2	288.75		D3	247.5	
	E1	112	E2	175		E3	150	
2.NK	A1	112	A2	175	1197	A3	150	1026
	B1	187.5	B2	288.75		B3	247.5	
	C1	175	C2	269.5		C3	231	
	D1	187.5	D2	288.75		D3	247.5	
	E1	112	E2	175		E3	150	
1.NK	A1	112	A2	175	1197	A3	150	1026
	B1	187.5	B2	288.75		B3	247.5	
	C1	175	C2	269.5		C3	231	
	D1	187.5	D2	288.75		D3	247.5	
	E1	112	E2	175		E3	150	

5.1.5. Doğrusal olmayan statik itme analizi için gerekli yatay yük dağılımları

Doğrusal olmayan statik itme analizi yapılırken, deprem hesabında kullandığımız yatay yük dağılımı katsayıları kullanılacaktır. Bu dağılım için aşağıda verilen formül kullanılmaktadır **(5.1).** Burada, w_i , kattaki ağırlık, H_i ise kat yüklekliğidir.

$$\frac{w_i H_i}{\sum_{i=1}^{n} w_i H_i} \qquad \textbf{(5.1)}$$

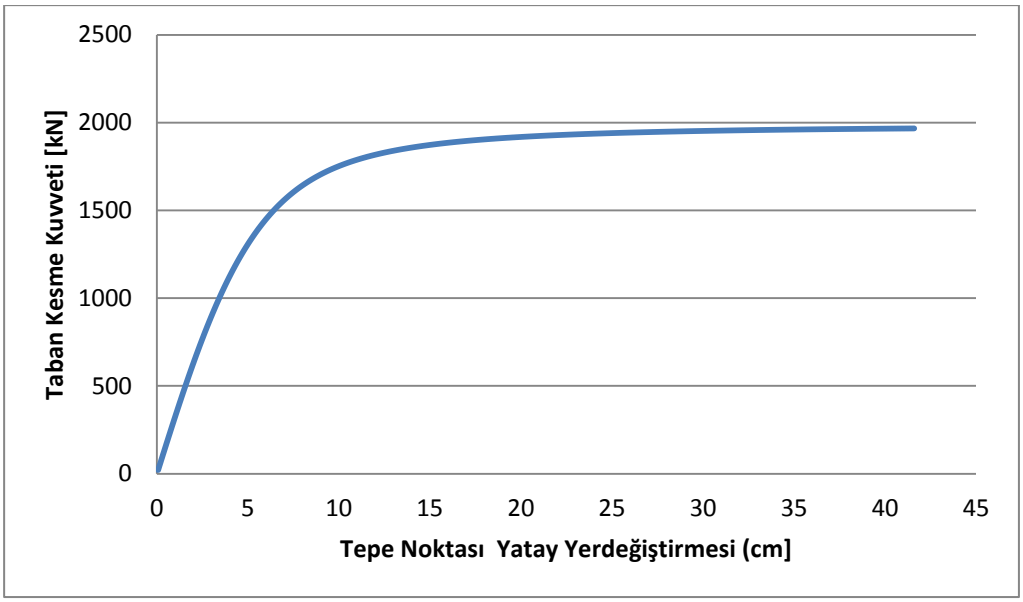
Her kat için hesaplanan bu oran, sonrasında düğüm noktalarına orantılı olacak şekilde dağıtılmış ve analizler gerçekleştirilmiştir.

5.2. Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi Sonuçları

Yukarıdaki açıklamalar göz önüne alınarak, 3 boyutlu yapı sistemlerinin modelleri OpenSEES programında her iki doğrultu için ayrı ayrı tanımlanara doğrusal olmayan statik itme analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu analizler gerçekleştirilirken, yapıların tepe noktaları yerdeğiştirmeleri ve taban kesme kuvvetleri göz önünde tutularak, kuvvet – yerdeğiştirme eğrileri elde edilmiştir.

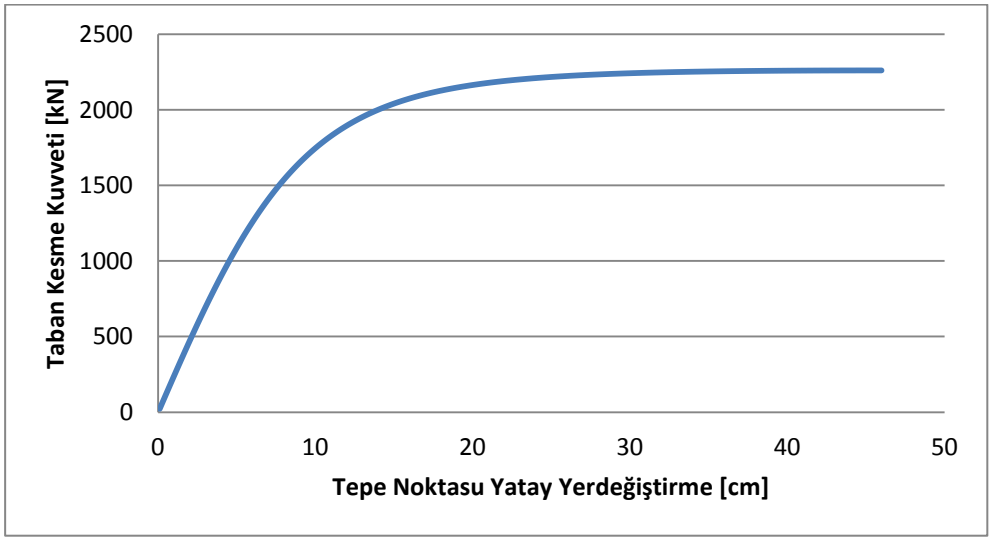
5.2.1. y – Doğrultusu çerçevesi için doğrusal olmayan statik itme analizi sonuçları

4 katlı yapının y – doğrultusu için doğrusal olmayan statik itme analizi sonucu elde edilen tepe noktası yerdeğiştirmesi ve taban kesme kuvvetinin değişimini gösteren grafik Şekil 5.9'da verilmiştir. Buna göre elde edilen maksimum taban kesme kuvveti V_y = 1966.242 kN'dur ve bu yüklemeye karşı gelen tepe noktası yerdeğiştirmesi 41.60 cm dir. Bu da yapı yüksekliği 19 m olan 4 katlı yapı için 0.021xH olan yatay yerdeğiştirmeye karşılık gelmektedir.



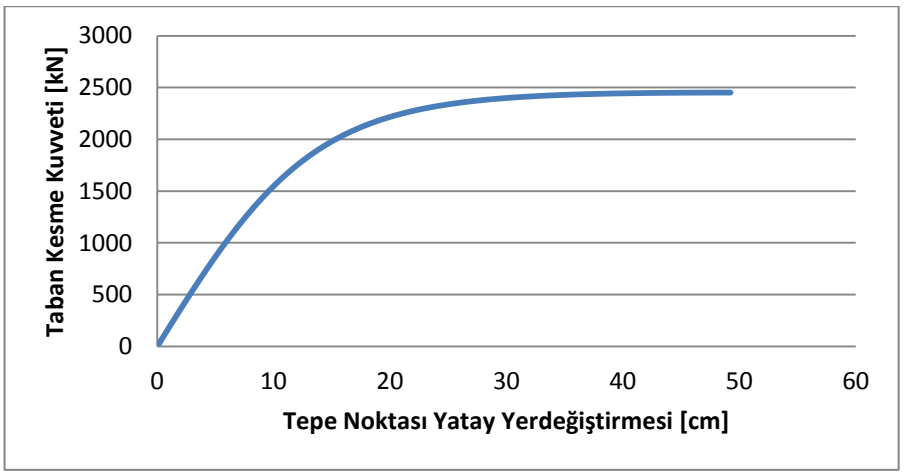
Şekil 5.9 : 4 Katlı yapı y-doğrultusu doğrusal olmayan statik itme eğrisi.

6 katlı yapının y – doğrultusundaki çerçevelerinden biri göz önüne alınarak yapılan doğrusal olmayan statik itme analizi sonucunda elde edilen eğri de Şekil 5.10'da verilmiştir. Bu taşıyıcı sistem modelinin itme analizi sonucu ulaştığı maksimum taban kesme kuvveti değeri V_y=2260.50 kN'dur. Bu kuvvet altındaki tepe noktası yatay yerdeğiştirmesi ise 45.98 cm olarak ölçülmüştür. 6 katlı yapının toplam kat yüksekliği 19 m olan yapının 0.024xH'lık yatay yerdeğiştirmesine karşılık gelmektedir.



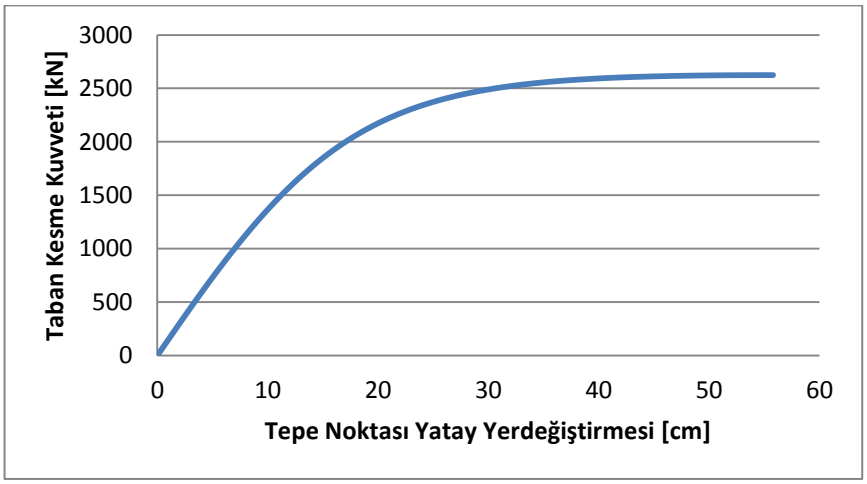
Şekil 5.10 : 6 Katlı yapı y – doğrultusu doğrusal olmayan statik itme eğrisi.

8 Katlı yapının y – doğrultusu çerçevesi için gerçekleştirilen doğrusal olmayan statik itme sonucunda elde edilen statik itme eğrisi Şekil 5.11 ‘de verildiği gibidir. Maksimum taban kesme kuvveti V_y = 2450.89 kN ve bu yüke karşılık gelen yatay yerdeğiştirme ise 49.25 cm’dir. 8 katlı yapının toplam yüksekliği 25 m’dir ve bu yerdeğiştirme 0.0197xH’lık yerdeğiştirmeye karşılık gelmektedir.



Şekil 5.11 : 8 Katlı yapı y – doğrultusu doğrusal olmayan statik itme eğrisi.

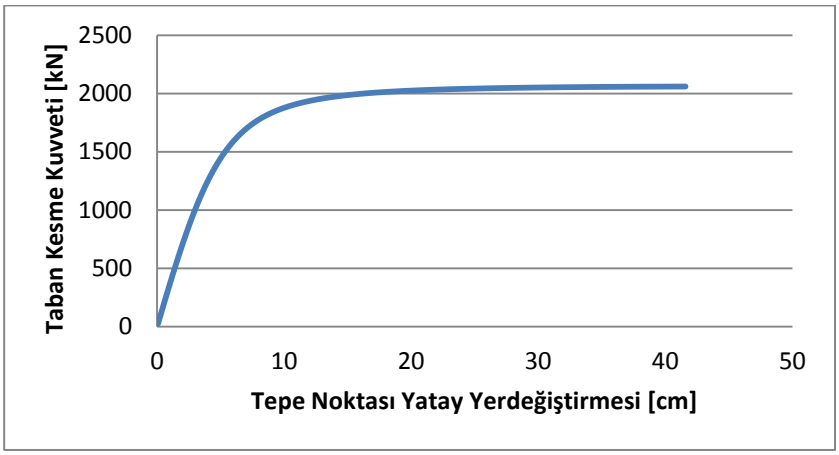
10 Katlı yapının y-doğrultusu çaprazlı çerçevesinin doğrusal olmayan statik itmesi sonucu elde edilen eğri de Şekil 5.12’de verilmiştir. Bu yapıda itme analizi sonucu elde edilen maksimum taban kesme kuvvetine 55.80 cm’lik itme sonucunda ulaşılmıştır. Bu itmeye karşılık gelen maksimum taban kesme kuvveti V_y = 2624.38 kN’dur. Bu yerdeğiştirme toplam kat yüksekliği 31 m olan 10 katlı yapının %18’i kadardır.



Şekil 5.12 : 10 Katlı yapı y – doğrultusu doğrusal olmayan statik itme eğrisi.

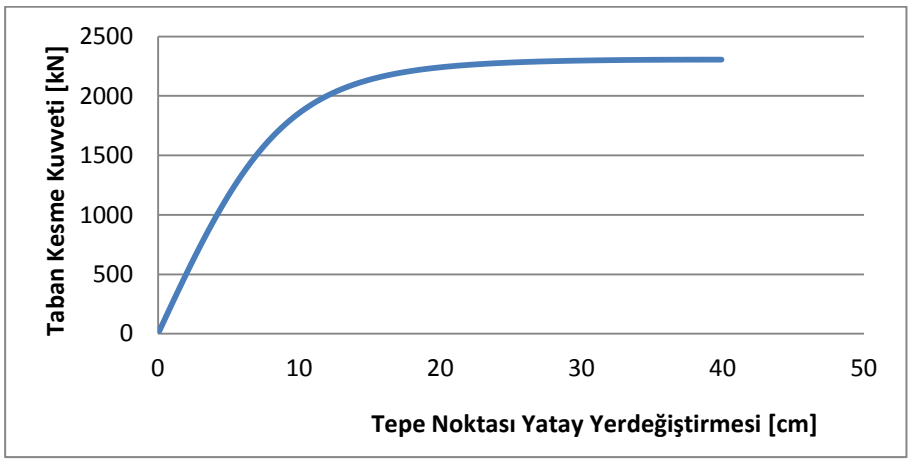
5.2.2. x – Doğrultusu doğrusal olmayan statik itme analizi sonuçları

4 Katlı yapının x – doğrultusu için yapılan doğrusal olmayan statik itme analizi sonucunda elde edilen yük – yerdeğiştirme eğrisi Şekil 5.13'te verilmiştir. Bu doğrultu için itme analizi sonucunda elde edilen maksimum kesme kuvveti değeri V_y = 2060.57 kN'dur. Elde edilen maksimum yatay yerdeğiştirme ise 19 m olan toplam yapı yüksekliğinin %2.2'si kadar olan 41.60 cm'dir.



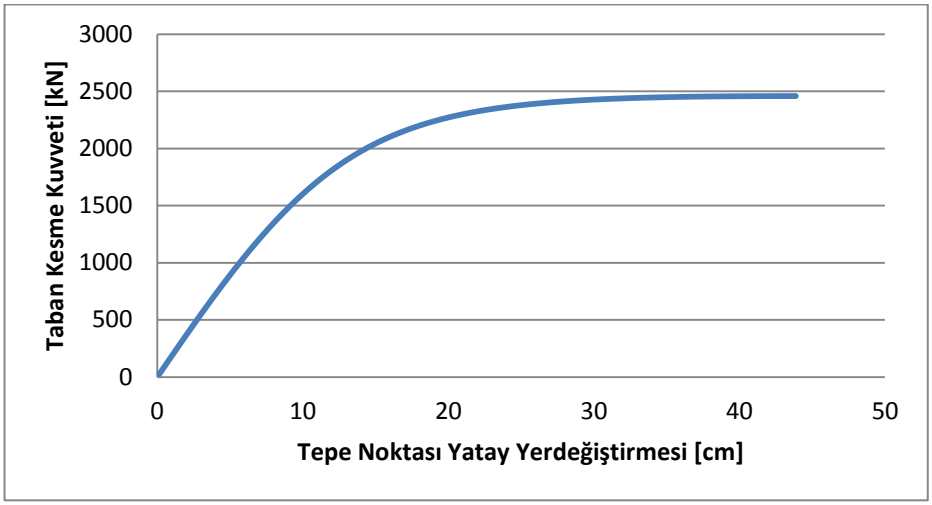
Şekil 5.13 : 4 Katlı yapı x – doğrultusu doğrusal olmayan statik itme eğrisi.

6 Katlı yapının x – doğrultusundaki çaprazlı çerçevesinde gerçekleştirilen doğrusal olmayan statik itme analizi sonucunda elde edilen maksimum taban kesme kuvveti V_y=2305.00 kN'dur ve bu analiz sonucu elde edilen eğri Şekil 5.14'te gösterildiği gibidir. Bu yükleme altında 19 m yapı yüksekliğinin %2.1 kadar olan yerdeğiştirmesi 39.90 cm olarak hesaplanmıştır.



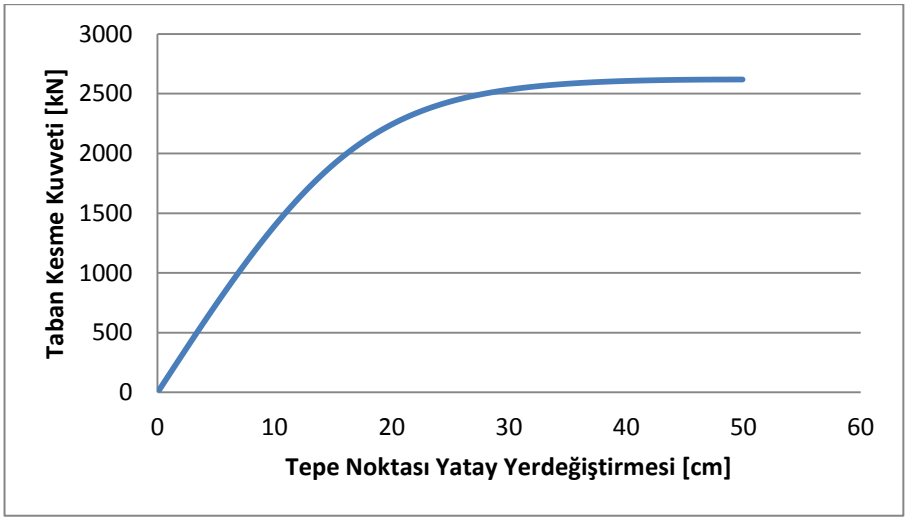
Şekil 5.14 : 6 Katlı yapı x – doğrultusu doğrusal olmayan statik itme eğrisi.

8 Katlı yapının x- doğrultusundaki çaprazlı çerçevesinin doğrusal olmayan statik itme analizi sonucu elde edilen grafiği Şekil 5.15'te verilmiştir. Buna göre elde edilen maksimum taban kesme kuvveti V_y=2459.20 kN'dur. 8 katlı yapının toplam yüksekliği 25 m'dir ve itme analizi sonucu tepe noktası maksimum yatay yerdeğiştirmesi 43.88 cm olarak elde edilmiştir. Bu da toplam yapı yüksekliğinin %2'si kadar bir yerdeğiştirmeye karşılık gelmektedir.



Şekil 5.15 : 8 Katlı yapı x – doğrultusu doğrusal olmayan statik itme eğrisi.

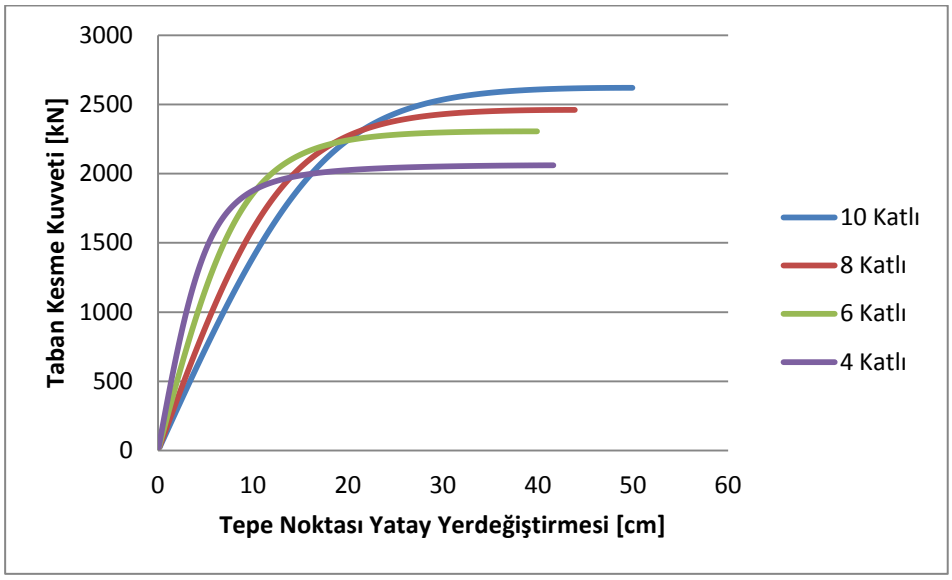
10 Katlı yapının doğrusal olmayan statik itme analizi sonucunda elde edilen taban kesme kuvveti – yatay yerdeğiştirme eğrisi Şekil 5.16'da verilmiştir. 49.91 cm'lik itme sonucunda maksimum taban kesme kuvveti olan V_y=2618.65 kN değeri elde edilmektedir. Bu itme toplam yapı yüksekliğinin %1.6'sı kadardır.



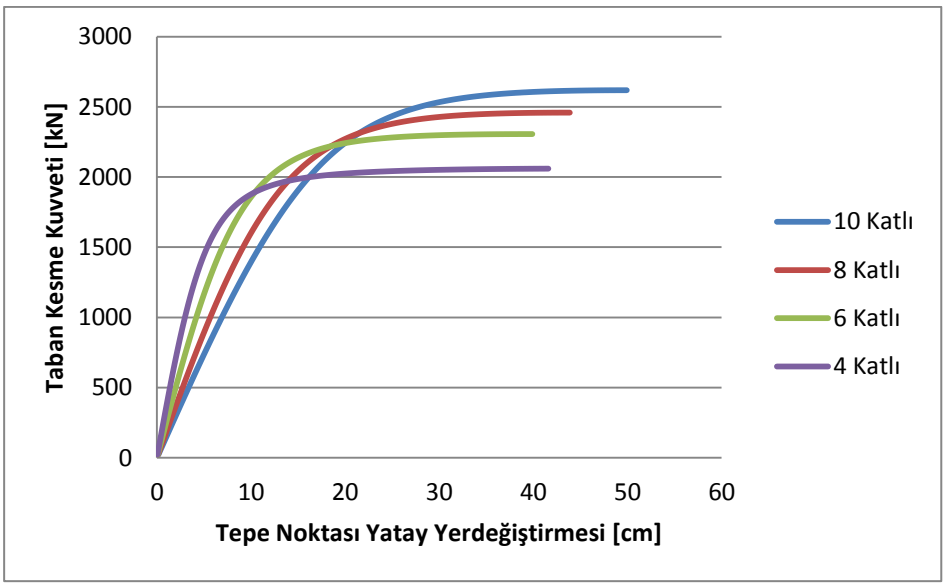
Şekil 5.16 : 10 Katlı yapı x – doğrultusu doğrusal olmayan statik itme eğrisi.

5.3. Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması

4,6,8 ve 10 katlı yapıların, doğrusal olmayan statik itme sonucundaki davranışları tek bir grafikte karşılaştırmalı olarak verilirse y – doğrultusu için Şekil 5.17'deki gibi, x – doğrultusu için de Şekil 5.18'deki gibi grafikler elde edilir. Elde edilen bu doğrusal olmayan davranışa göre, farklı kat yükseklikleri için büyütme katsayıları ve taşıyıcı sistem davranış katsayıları hesaplanmış, karşılaştırmaları yapılmıştır.



Şekil 5.17 : 4,6,8 ve 10 Katlı yapıların y-doğrultusu için karşılaştırmalı kapasite eğrileri.



Şekil 5.18 : 4,6,8 ve 10 Katlı yapıların x-doğrultusu için karşılaştırmalı kapasite eğrileri.

5.3.1. Sistemlerin büyütme katsayısının (Ω) karşılaştırılması

Doğrusal olmayan statik itme analizi yapılan yapı sistemlerinin büyütme katsayılarının hesabı için, doğrusal olmayan analiz sonucunda elde edilen ve göçme moduna karşılık gelen maksimum taban kesme kuvvetinin, V_y, doğrusal hesap için kullanılan tasarım taban kesme kuvvetine, V_d, oranlanması gerekmektedir.

4,6,8 ve 10 katlı yapıların doğrusal olmayan statik itme analizleri gerçekleştirilirken, iki boyutlu yapı modelleri oluşturulmuştu. Bu yapı sistemlerinin her iki doğrultuda da en dış akslarında çaprazlı çerçeveler bulunduğundan, OpenSEES programında analizi yapılan sistemler, tüm sistemin yarısı olarak düşünülmelidir. Bu nedenle, doğrusal hesaplarda kullanılan V_d, taban kesme kuvvetinin yarısı alınarak büyütme katsayılarının hesabı gerçekleştirilecektir.

Buna göre, 4 Katlı yapının x – doğrultusu çerçevesi için elde edilen büyütme katsayısı değeri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$V_d = 1869.91 kN$

$V_d / 2 = 934.95 kN$

$V_y = 2060.57 kN$

olduğundan, büyütme katsayısı, Ω ,

$$\Omega = \frac{V_y}{V_d} = \frac{2060.57}{934.95} = 2.20$$

olarak hesaplanmıştır.

4 Katlı yapının y – doğrultusu için hesaplanan büyütme katsayısı ise;

$V_d = 1793.76 kN$

$V_d / 2 = 896.88 kN$

$V_y = 1966.16 kN$

$$\Omega = \frac{V_y}{V_d} = \frac{1966.16}{896.88} = 2.19$$

6 katlı yapı için hesaplanan büyütme katsayıları da aşağıda hesaplanmıştır.

x- doğrultusu için;

$$\Omega = \frac{V_y}{V_d} = \frac{2305.00}{1086.34} = 2.12$$

y – doğrultusu için;

$$\Omega = \frac{V_y}{V_d} = \frac{2260.50}{1058.83} = 2.13$$

8 katlı yapı için hesaplanan büyütme katsayıları da aşağıda hesaplanmıştır.

x- doğrultusu için;

$$\Omega = \frac{V_y}{V_d} = \frac{2459.20}{1163.59} = 2.11$$

y – doğrultusu için;

$$\Omega = \frac{V_y}{V_d} = \frac{2450.89}{1152.15} = 2.13$$

10 katlı yapı için hesaplanan büyütme katsayıları da aşağıda hesaplanmıştır.

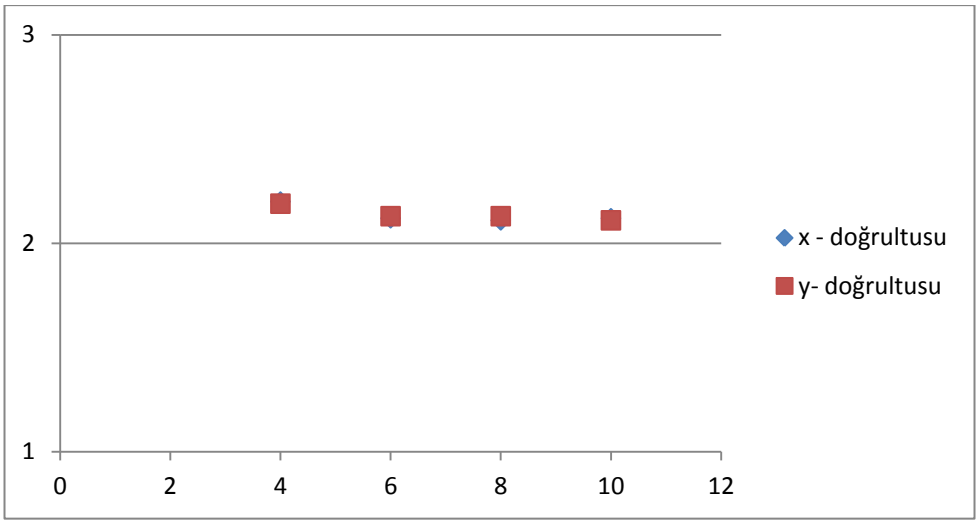
x- doğrultusu için;

$$\Omega = \frac{V_y}{V_d} = \frac{2618.65}{1236.67} = 2.12$$

y – doğrultusu için;

$$\Omega = \frac{V_y}{V_d} = \frac{2624.38}{1242.24} = 2.11$$

Büyütme katsayıları yukarıdaki gibi elde edilen yapı sistemlerinde karşılaştırma yapabilmek için, elde edilen bu büyütme katsayıları bir grafikte toplanırsa Şekil 5.19'daki grafik elde edilir.



Şekil 5.19 : 4, 6, 8 ve 10 katlı yapıların büyütme katsayıları karşılaştırması.

5.3.2. Sistemlerin taşıyıcı sistem davranış katsayılarının (R) karşılaştırılması

Sistemlerin taşıyıcı sistem davranış katsayılarının hesaplanması için gerekli olan birkaç bileşen bulunmaktadır. Bunlar, periyoda bağlı hesaplanan dayanım faktörü, R_s, periyoda bağlı süneklik faktörü R_μ ve hiperstatiklik katsayısı adı verilen R_R bileşenleridir. Taşıyıcı sistem davranış katsayısı R, bu üç bileşenin çarpımı sonucu elde edilir **(5.2)**.

$$R = R_S R_\mu R_R \tag{5.2}$$

Periyoda bağlı olan dayanım katsayısının tanımı, doğrusal olmayan statik itme analizi sonucunda elde edilen göçme durumuna karşılık gelen maksimum taban kesme kuvvetinin, V_o, doğrusal hesapta kullanılan taban kesme kuvvetine, V_d oranı olarak verilmiştir. ATC 19 (Applied Technology Council) 'nin bu tanımı yukarıda hesaplanan büyütme katsayıları ile aynı olduğundan, bu faktör hesaplanırken büyütme katsayısı kullanılacaktır **(5.3)**.

$$R_S = \frac{V_o}{V_d} \tag{5.3}$$

Periyoda bağlı süneklik faktörünün hesabı için, Miranda ve Barberto (1994) 'nun yaptığı çalışmalar sonucu elde ettikleri $R_\mu - \mu - T$ ilişkisinden faydalanılacaktır. Miranda ve Barberto, çalışmalarını geniş zemin koşullarında 124 ayrı yer hareketi kaydını kullanarak ve kritik sönüm oranını %5 kabul ederek gerçekleştirerek aşağıdaki formülasyonları elde etmişlerdir. Burada, μ süneklik olarak

tanımlanmaktadır ve maksimum yerdeğiştirmenin, doğrusal yerdeğiştirmeye oranıdır. R_μ süneklik faktörü, T ise periyottur **(5.5)**.

$$\mu = \frac{\Delta_u}{\Delta_y} \qquad \textbf{(5.4)}$$

Süneklik, μ, formülündeki Δ_u, göçme durumunda meydana gelen yerdeğiştirme, Δ_y de maksimum doğrusal yerdeğiştirmedir **(5.4)**.

$$R_\mu = \frac{\mu - 1}{\phi} + 1 \qquad \textbf{(5.5)}$$

5.13 denkleminde verilen süneklik katsayısı ifadesinde yer alan ϕ katsayısı da, zemin çeşidine göre farklılık gösteren bir katsayıdır **(5.6)**. Bu çalışmada zeminin kaya olduğu kabulü ile 5.14 'teki denklem kullanılmıştır.

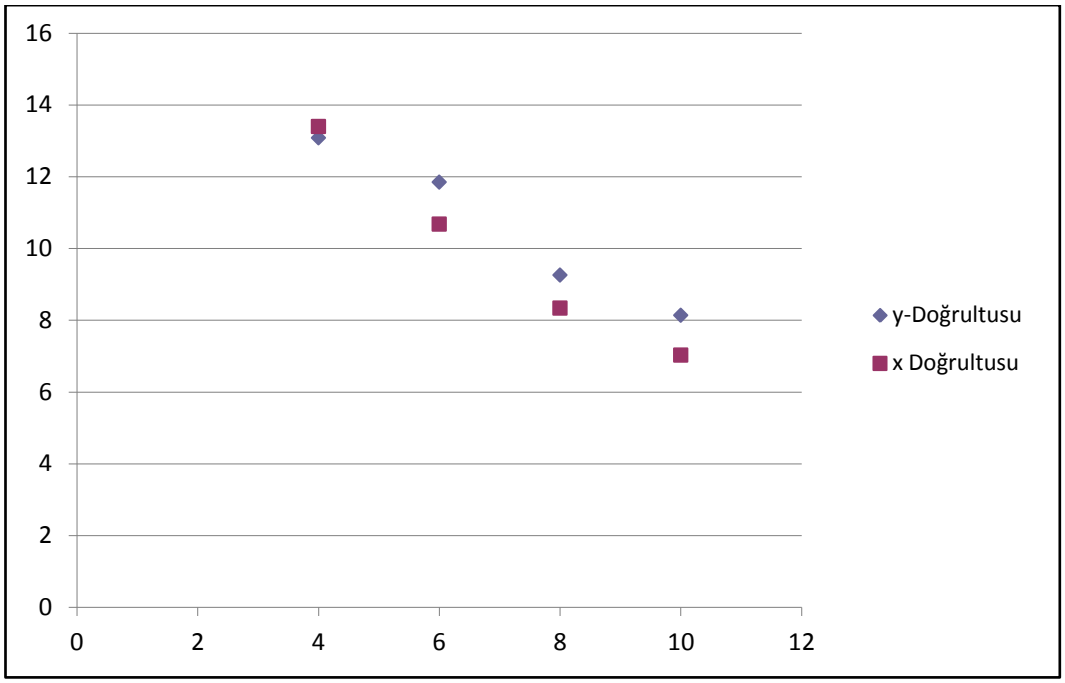
$$\phi = 1 + \frac{1}{10T - \mu T} - \frac{1}{2T} e^{-1.5(\ln(T) - 0.6)^2} \qquad \textbf{(5.6)}$$

R_R katsayısı ise, tanımlanması zor olan ve konuyla ilgili fazla çalışmanın bulunmadığı bir bileşendir. Moses (1974), yaptığı çalışmalarda bu hiperstatiklik faktörünün düşey aksların fazlalığıyla arasında bir bağıntı olduğunu söylemektedir. Özetle, sismik direncin fazlalığında göçme mekanizmasının oluşması için gerekli plastik mafsal sayısı bu katsayıyı etkilemektedir. R_R genellikle 1 ya da 1'den küçük olarak alınmaktadır. Bu çalışmada elverişsiz durumu elde etmek için 1.0 olarak alınacaktır.

Yukarıda yapılan tanımlar göz önünde bulundurularak, yapıların her iki doğrultusu için de taşıyıcı sistem davranış katsayıları elde edilmiştir. Hesaplanan bu değerler, her kat ve her doğrultu için Çizelge 5.2'de belirtilerek, Şekil 5.20'deki grafikte karşılaştırılmalı olarak gösterilmiştir.

Çizelge 5.2 : 4,6,8 ve 10 Katlı yapılarda, x ve y doğrultuları için belirlenen taşıyıcı sistem davranış katsayıları ve ilgili bileşenler.

	R		**R_S**		**Rμ**	
Kat	**x-doğrultusu**	**y-doğrultusu**	**x-doğrultusu**	**y-doğrultusu**	**x-doğrultusu**	**y-doğrultusu**
4	13.40	13.08	2.20	2.19	6.09	5.97
6	10.68	11.85	2.12	2.13	5.04	5.56
8	8.34	9.26	2.11	2.13	3.95	4.35
10	7.03	8.14	2.12	2.11	3.32	3.86



Şekil 5.20 : 4,6,8 ve 10 katlı yapıların taşıyıcı sistem davranış katsayılarının Karşılaştırması.

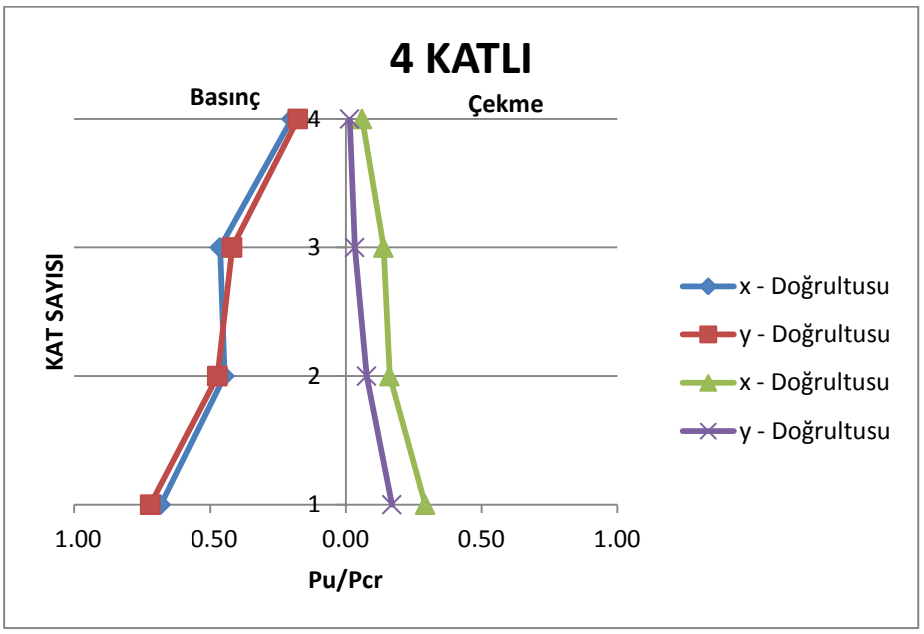
5.3.3. Kolonların eksenel kuvvetlerinin karşılaştırılması

Bu çalışmada, burkulması önlenmiş çaprazların bağlı olduğu çerçevelerin kolonlarında, dayanım esaslı iç kuvvetler kullanılarak tasarım yapılmıştır. Bunun amacı, sistemde burkulması önlenmiş çaprazlar dayanımlarına ulaştıklarında, birincil taşıyıcı eleman olan kolonların yük taşımaya devam etmesinin istenmesidir. Dayanım esaslı iç kuvvetler hesaplanırken, burkulması önlenmiş çaprazların dayanımlarına ulaşıldığında kolonlarda meydana gelen normal kuvvetin yanında, kolona etkiyen düşey sabit ve hareketli yükler de hesaba katılmıştır. Sabit yükler sistemde her zaman bulunduğu için herhangi bir azaltma yapılmamıştır. Ancak hareketli yüklerin hepsinin sistemde aynı anda bulunması olasılığı düşük olduğundan, AISC Tasarım Kılavuzu'nda kullanılan katsayı ile aynı mertebede olmasına dikkat edilerek, mevcut deprem yönetmeliğimizde de bulunan 0.3 katsayısı ile azaltma yapılmıştır.

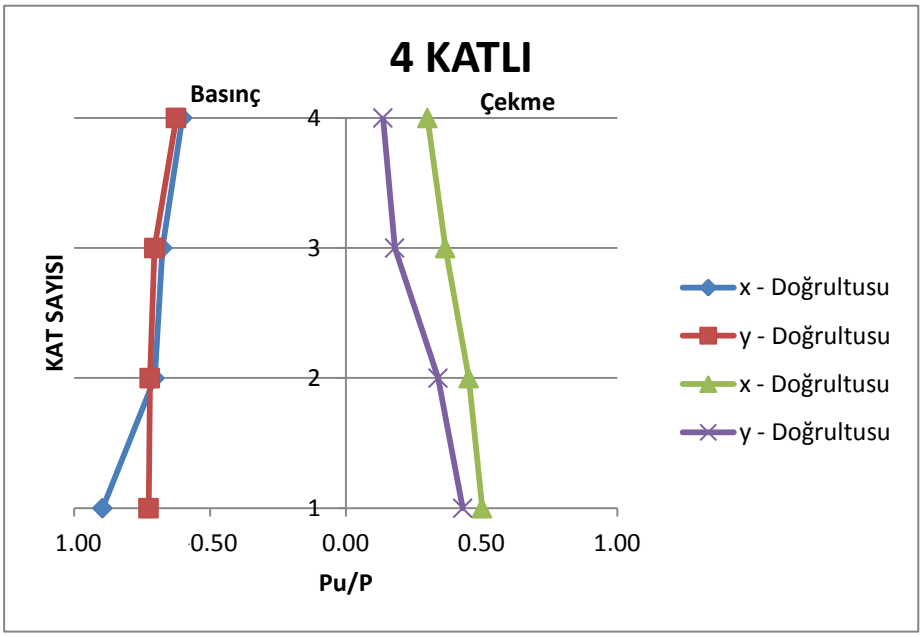
Bu bölümde, 4,6,8 ve 10 katlı binaların her iki doğrultusunda da kullanılan burkulması önlenmiş çaprazlı çerçevelerin kolonlarında, statik itme sonucunda meydana gelen normal kuvvetler, P_u, hem tasarımda kullanılan iç kuvvetler ile, P, hem de kolon enkesitlerinin nominal eksenel basınç/çekme kuvveti dayanımlari ile , P_{cr}, karşılaştırılmıştır.

Yapılarda statik itme analizi altında, çaprazlarda meydana gelen kuvvetin durumuna göre kolonlarda çekme ya da basınç kuvvetleri oluşmaktadır. Burada karşılaştırma yapılırken maksimum oranı verecek kolon aksları dikkate alınmıştır.

4 katlı yapının nominal eksenel kuvvet dayanımları ve statik itme analizi sonucunda elde edilen kuvvetleri, P_u, Şekil 5.21'deki grafikte karşılaştırılmıştır. Tasarımda kullanılan iç kuvvetler, P, ile statik itme analizi sonuçlarında elde edilen iç kuvvetler de, P_u, Şekil 5.22'deki grafikte karşılaştırılmıştır.

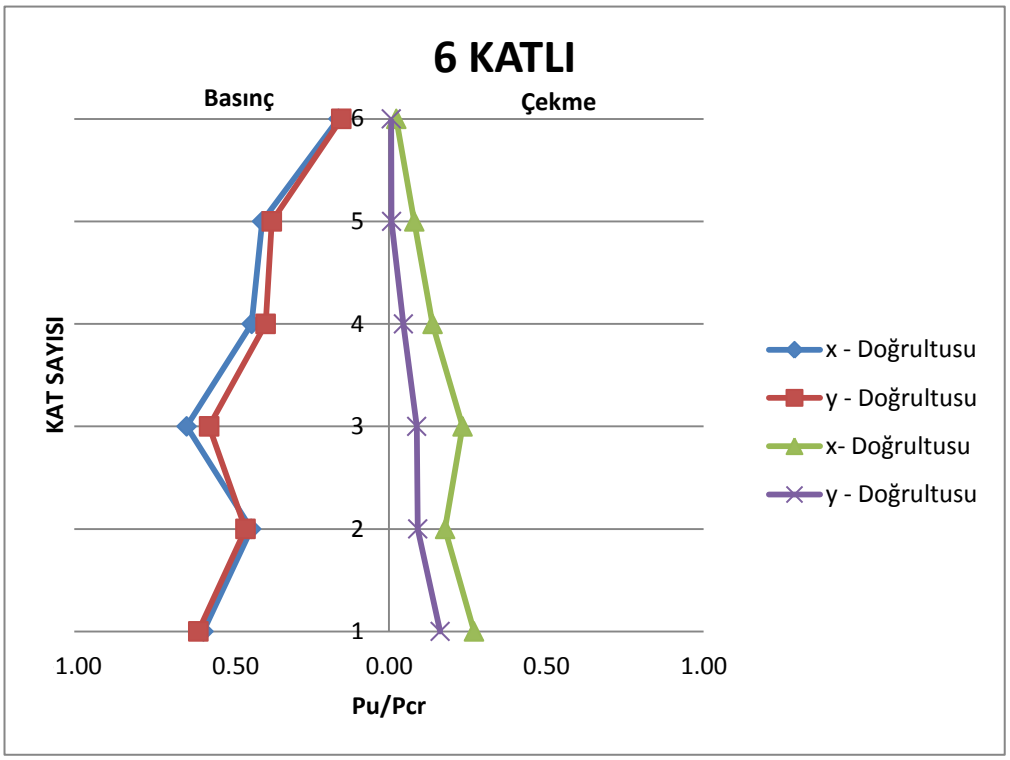


Şekil 5.21 : 4 Katlı yapı P_u/P_{cr} oranları.

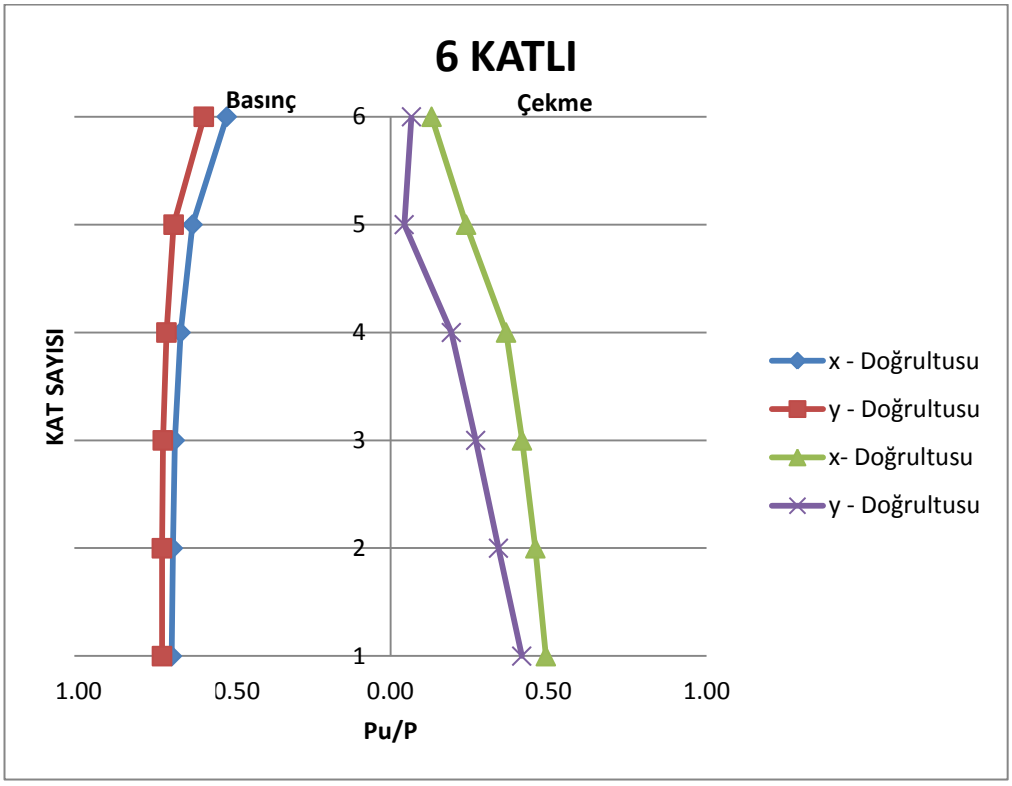


Şekil 5.22 : 4 Katlı yapı P_u/Poranları.

6 Katlı yapı için P_{cr}/P_u oranları grafiği Şekil 5.23'te, P/P_u grafiği ise Şekil 5.24'te verilmiştir.

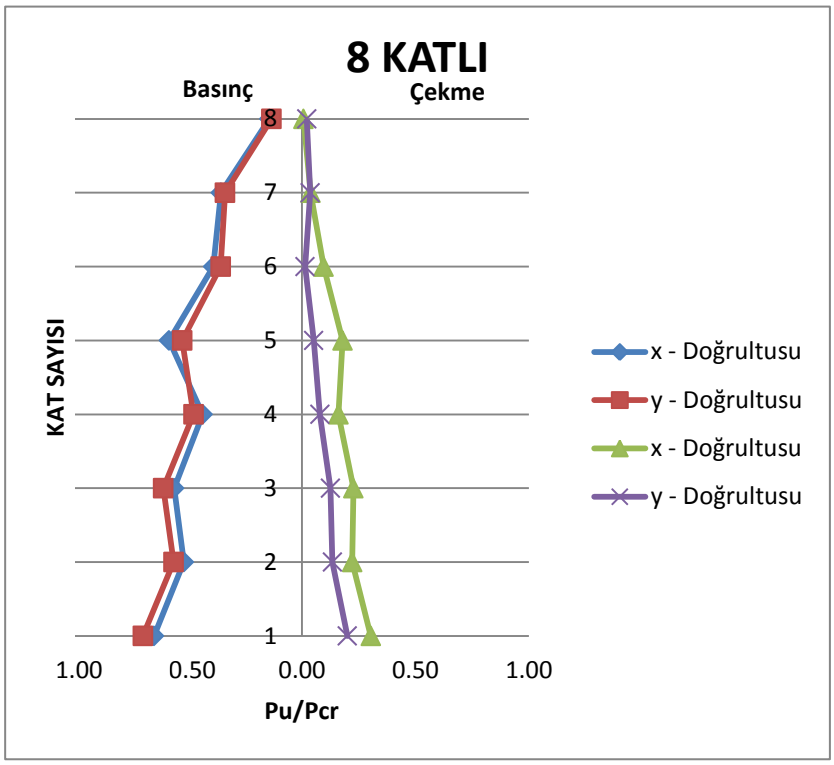


Şekil 5.23 : 6 Katlı yapı P_u/P_{cr} oranları

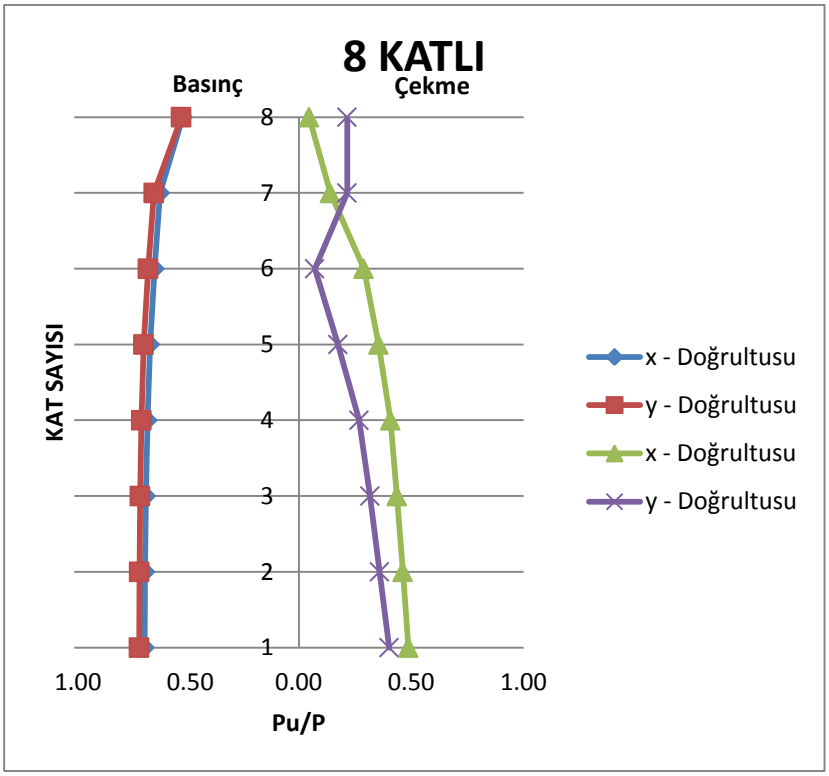


Şekil 5.24 : 6 Katlı yapı P_u/P oranları

8 Katlı yapı için P_{cr}/P_u oranları grafiği Şekil 5.25'te, P/P_u grafiği ise Şekil 5.26'da verilmiştir.

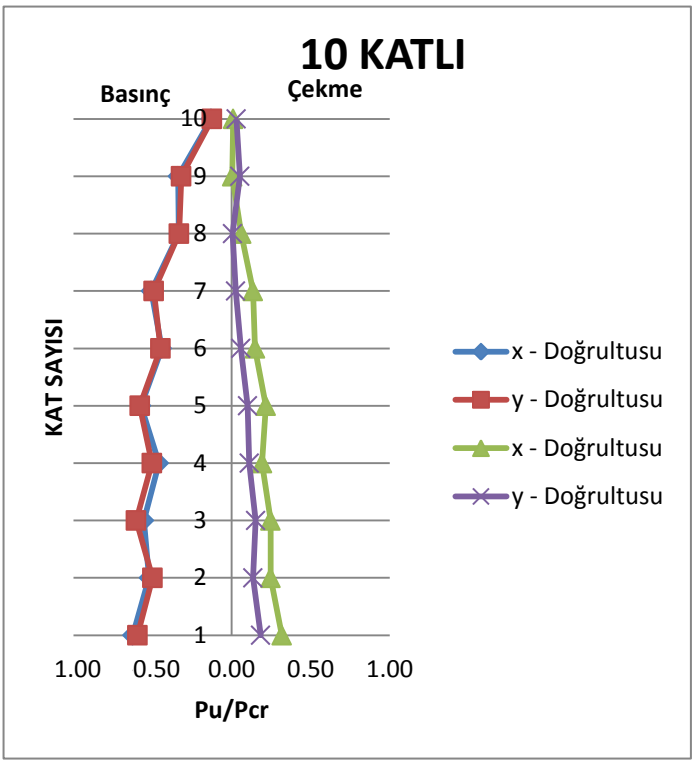


Şekil 5.25 : 8 Katlı yapı P_u/P_{cr} oranları.

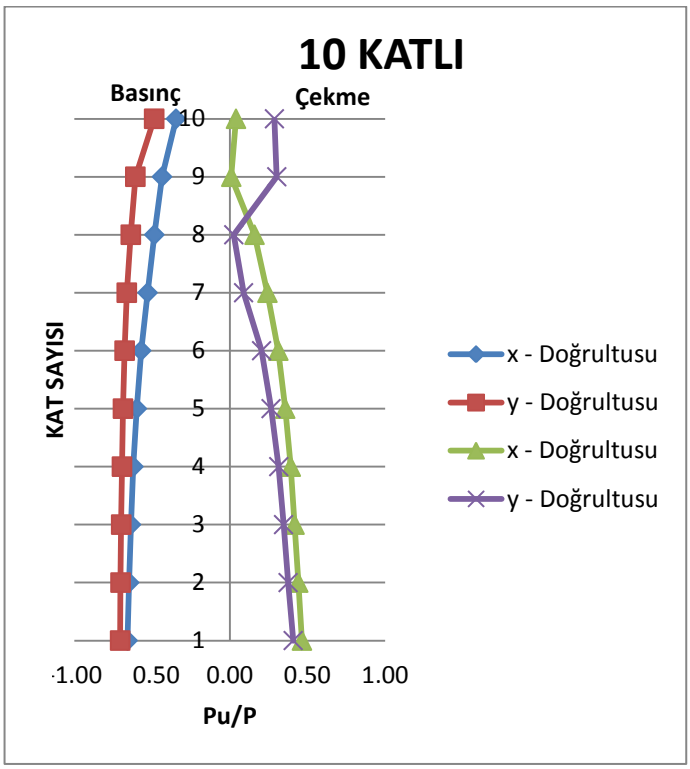


Şekil 5.26 : 8 Katlı yapı P_u/P oranları.

10 Katlı yapı için P_{cr}/P_u oranları grafiği Şekil 5.27'te, P/P_u grafiği ise Şekil 5.28'de verilmiştir.



Şekil 5.27 : 10 Katlı yapı P_u/P_{cr} oranları

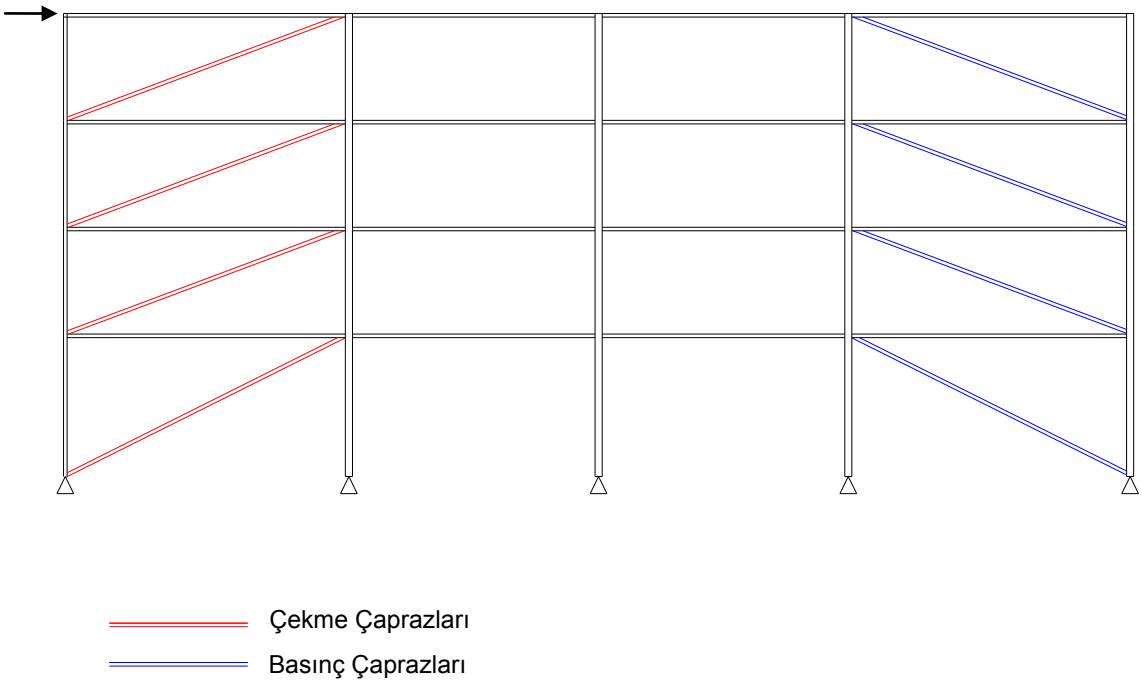


Şekil 5.28 : 10 Katlı yapı P_u/P oranları

5.3.4. Burkulması önlenmiş çaprazların (BÖÇ) kuvvet – yerdeğiştirme eğrileri

OpenSEES programında gerçekleştirilen artan yükler altındaki analiz sonucunda, burkulması önlenmiş çaprazlarda meydana gelen eksenel kuvvet ve deformasyonlar incelenmiştir. Her binada iki doğrultu için de iki katta bir enkesit değişikliği olan çaprazlardaki kuvvet – yer değiştirme eğrileri elde edilmiştir.

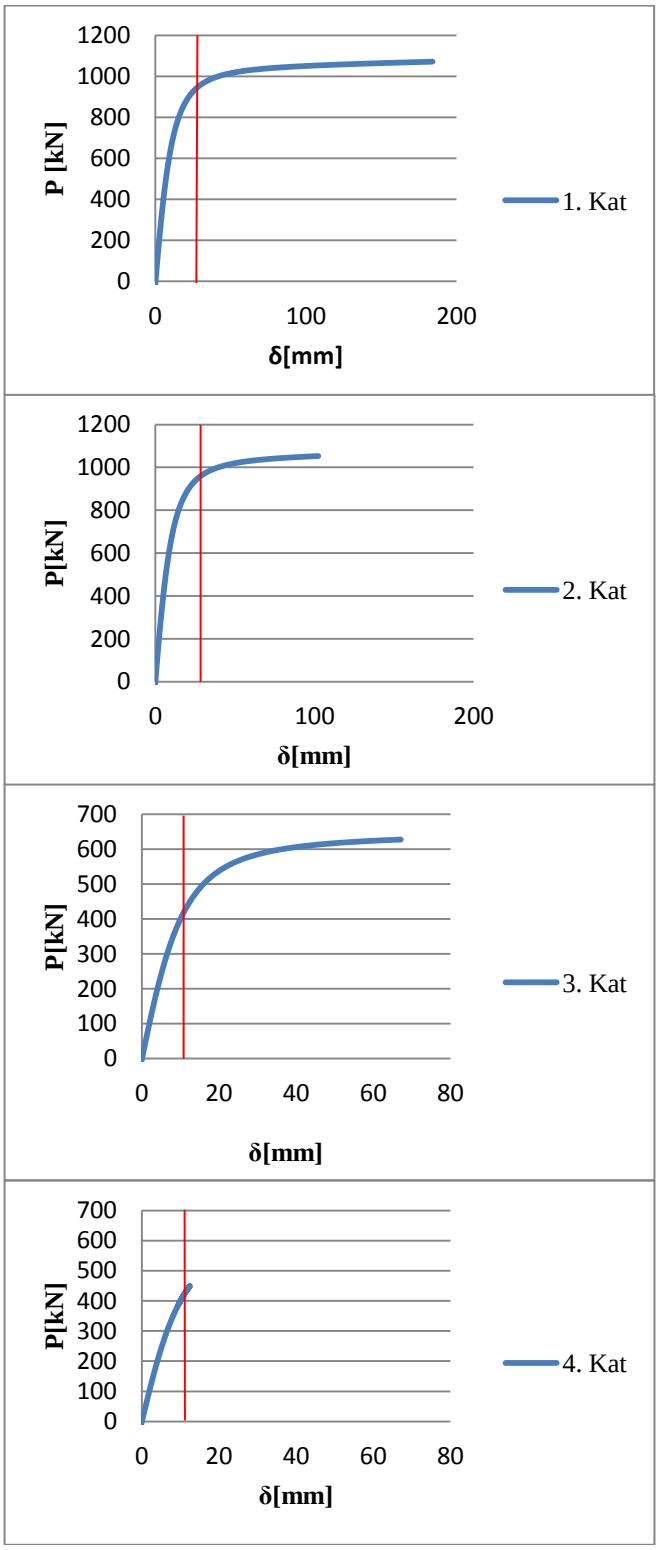
Bir yönde uygulanan artan yükler sonucu, çaprazların bir bölümünde çekme meydana gelirken, diğer bölümünde de basınç meydana gelmektedir. Şekil 5.29'da çaprazlardaki eksenel kuvvetlerin durumu şematik olarak gösterilmiştir.



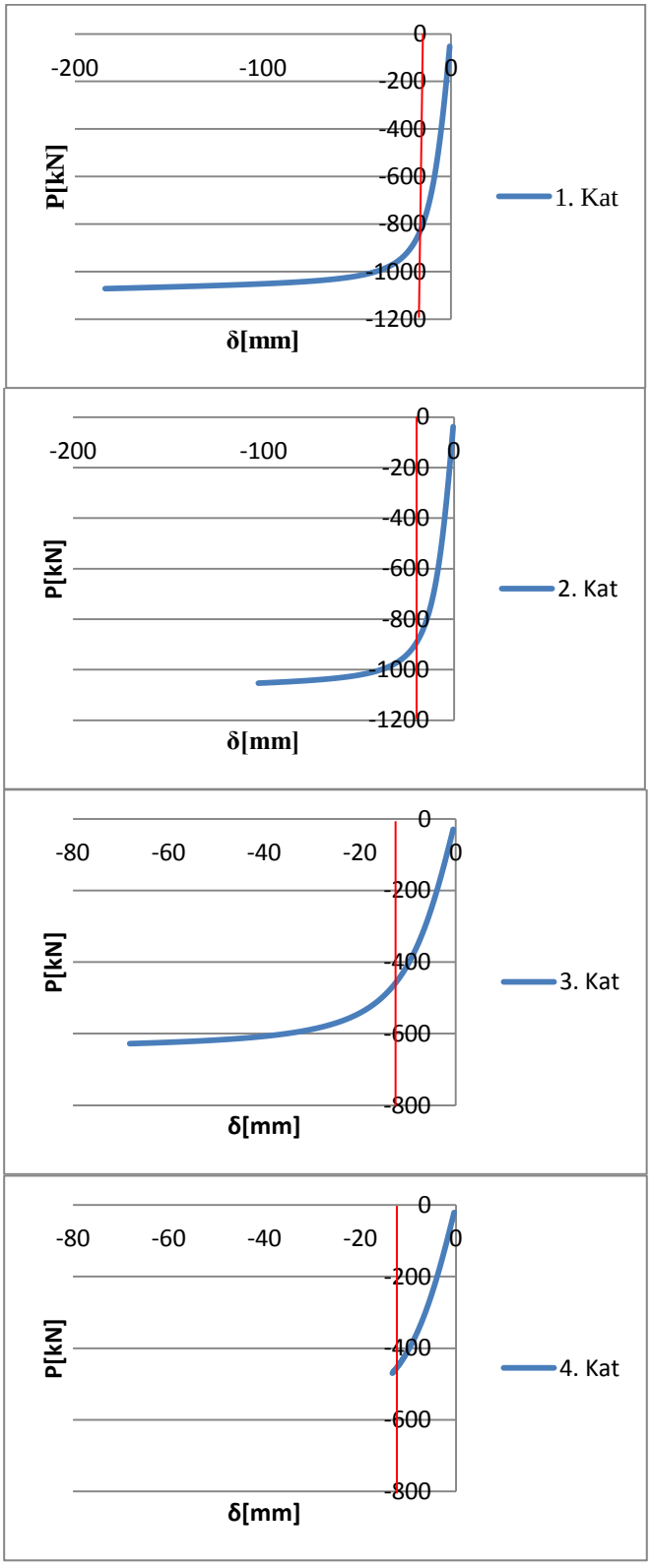
Şekil 5.29 Uygulanan yük yönüne bağlı olarak çaprazlardaki eksenel kuvvet durumunun şematik gösterimi.

Bu bölümde yalnızca 4 katlı binanın çaprazları ile ilgili eğriler mevcuttur. Şekil 5.30'da 4 katlı yapının y-doğrultusunda çekme kuvveti etkisi altındaki çaprazlarının kuvvet-yerdeğiştirme eğrileri, Şekil 5.31'de aynı doğrultunun basınç kuvveti etkisi altındaki kuvvet-yerdeğiştirme eğrileri görülebilir. Şekil 5.32 ve Şekil 5.33'te de x doğrultusunun sırasıyle çekme kuvveti etkisi altında ve basınç kuvveti etkisi altındaki çaprazlarının kuvvet-yerdeğiştirme eğrileri gösterilmiştir.

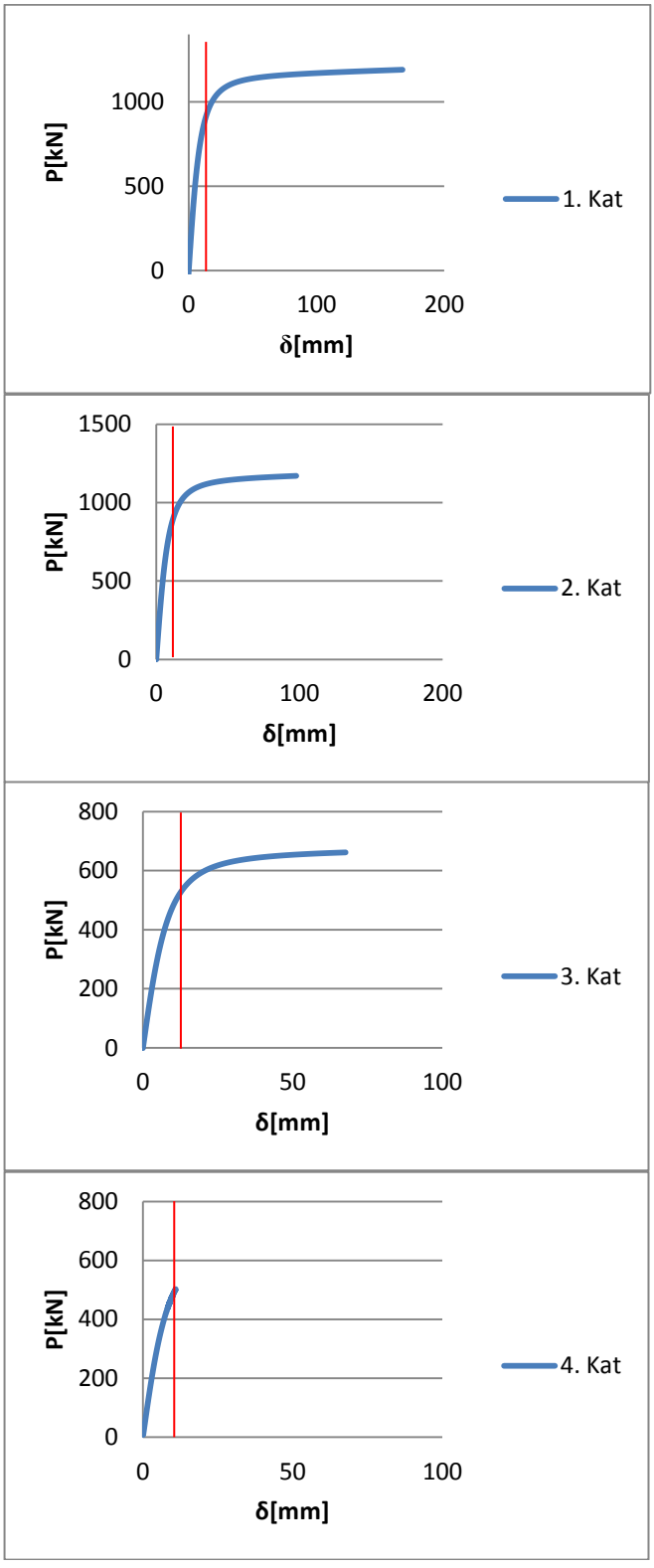
6, 8 ve 10 katlı binaların çaprazlarına ait kuvvet-yerdeğiştirme grafikleri EK-A'da verilmiştir.



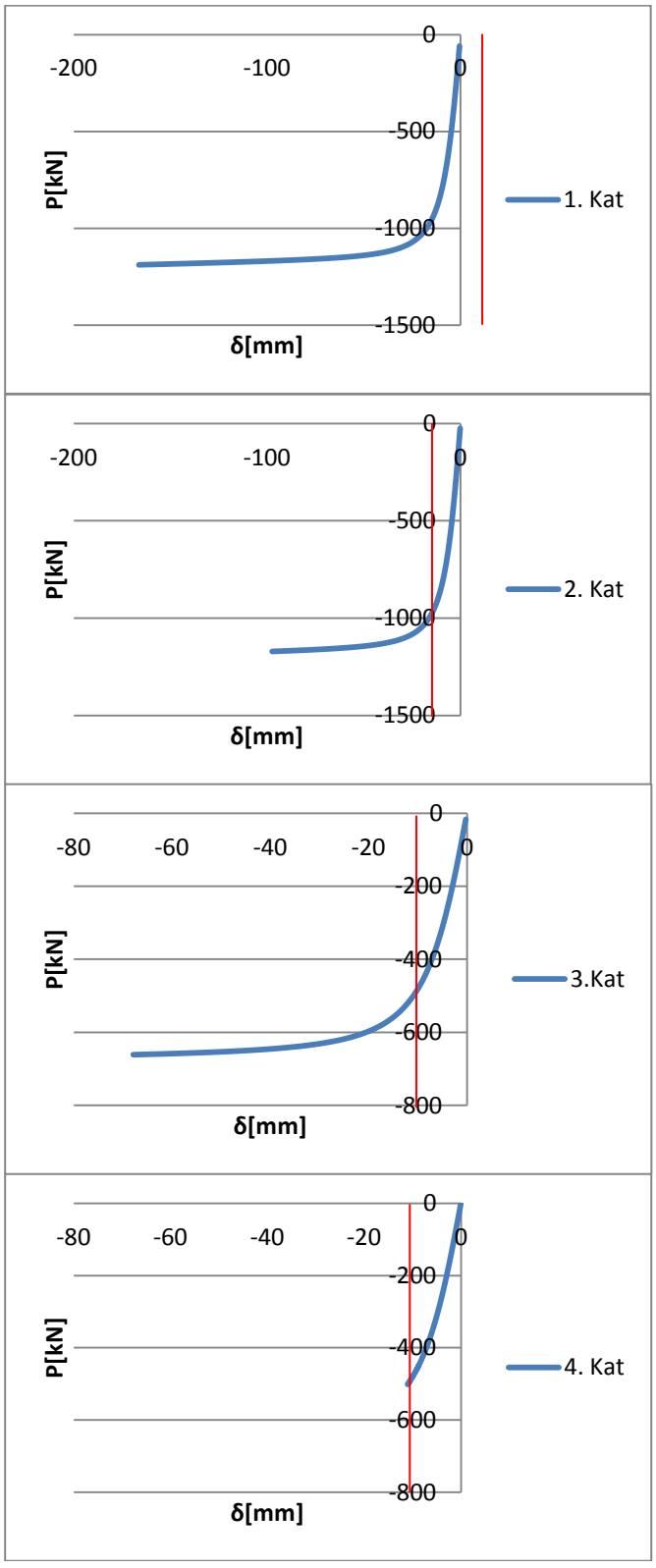
Şekil 5.30 4 Katlı yapı y-doğrultusu çaprazları P-δ eğrileri (çekme çaprazları).



Şekil 5.31 4 Katlı yapı y-doğrultusu çaprazları P-δ eğrileri (basınç çaprazları).



Şekil 5.32 4 Katlı yapı x-doğrultusu çaprazları P-δ eğrileri (çekme çaprazları).



Şekil 5.33 4 Katlı yapı x-doğrultusu çaprazları P-δ eğrileri (basınç çaprazları).

6. SONUÇLAR

Bu çalışma, burkulması önlenmiş çaprazlı çelik çerçeve sistemlerin ülkemizde kullanılan mevcut deprem yönetmeliğindeki esaslar göz önünde tutularak tasarlanmasını ve ardından gerçekleştirilen doğrusal olmayan statik itme analizlerini kapsamaktadır. Çalışmada incelenmek üzere, her iki doğrultusunda da burkulması önlenmiş diyagonal çaprazlar bulunan 4,6,8 ve 10 katlı çelik yapılar tasarlanmıştır. Bu yapıların her iki doğrultudaki açıklıkları, buna bağlı olarak çapraz enkesitleri ve uzunlukları farklı olacak şekilde düzenlenmiştir. Tasarım esnasında deprem yüklerinin hesabında prensip olarak DBYBHY-2007'da ki esaslar göz önünde bulundurulmuştur. Ancak, bu yönetmelik burkulması önlenmiş çaprazlı çerçeveleri kapsamaması nedeniyle, sistem davranış katsayıları ve genel esaslar için AISC 341-10 yönetmeliğine başvurulmuştur. Burkulması önlenmiş çaprazların tasarım esasları için AISC 341-10 yönetmeliğinin yanı sıra AISC Tasarım Kılavuzu 'ndan faydalanılmıştır. Tasarımları tamamlanan sistemlerin, iki boyutlu yapı modelleri oluşturularak, doğrusal olmayan statik itme analizi gerçekleştirilmiştir. Bu hesapların sonucunda, her iki doğrultu için de hazırlanan iki boyutlu yapı modellerinin sistem davranış eğrileri elde edilmiştir.

Çalışmada esas olarak üzerinde durulan konu, burkulması önlenmiş çaprazların, karakteristik sistem üzerindeki etkisidir. Elde edilen kuvvet – yerdeğiştirme eğrileri yardımı ile sistemin büyütme katsayıları incelenmiştir. Bunun yanında,burkulması önlenmiş çaprazlı sistemlerin taşıyıcı sistem davranış katsayıları da elde edilmiştir.

Bu parametrik çalışma sonucunda elde edilen başlıca sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

1. Yapılan doğrusal olmayan analiz sonucunda, büyütme katsayıları sırasıyla x ve y doğrultuları için, 4 katlı yapı için 2.20 ve 2.19, 6 katlı yapı için 2.12 ve 2.13, 8 katlı yapı için 2.11 ve 2.13, 10 katlı yapı için de 2.12 ve 2.11 değerleri arasında değiştiği görülmüştür. Böylece, büyütme katsayılarının kat yüksekliğine bağlı olarak çok büyük değişiklikler göstermediği anlaşılmıştır.

2. Elde edilen büyütme katsayıları, AISC 341-10 standardında kirişlerin kolonlara mafsallı olarak bağlandığı sistemler için verilen 2.0 değeri ile karşılaştırıldığında farkın %10 ile %6 arasında değiştiği görülmektedir. Buna göre, bu tür yatay yük taşıyıcı sistemler için büyütme katsayısı değeri, Ω = 2.0 olarak uygulanabilir.
3. Yapıların taşıyıcı sistem davranış katsayıları elde edilmiştir. Elde edilen taşıyıcı davranış katsayılarının 13 ve 7 arasında değiştiği ve yapı yüksekliği arttıkça azaldığı sonucuna ulaşılmıştır.
4. Doğrusal olmayan analiz sonucuna göre, en büyük taban kesme kuvvetine ulaşılması durumunda kolonlarda elde edilen en büyük eksenel basınç ve çekme kuvvetlerinin, kolon eksenel kuvvet taşıma kapasitelerine oranı incelendiğinde, bu oranların 1.0 de küçük olduğu, dolayısıyla kolon eksenel basınç ve çekme kapasitelerinin aşılmadığı görülmektedir. Diğer bir deyişle, kolonların, çapraz elemanların akmaya ulaşması durumunda etkisinde oldukları eksenel basınç ve çekme kuvvetlerini güvenle aktarabilmektedirler.
5. Doğrusal olmayan analiz sonucuna göre enkesitleri her iki katta bir değişen çaprazların eksenel kuvvet – yerdeğiştirme eğrileri incelendiğinde, sadece en üst kattaki çaprazın elastik bölgede kaldığı, diğer tüm çapraz elemanlarının akmaya ulaştığı gözlemlenmiştir.

Bunlara ek olarak aşağıda belirtilen değerlendirmeler de yapılabilir:

Doğrusal olmayan analiz sonucunda, çaprazlı çerçevelerin bağlı olduğu kolonların eksenel kuvvetleri incelenerek, dayanım esaslı tasarım göz önüne alınarak elde edilen eksenel kuvvete ne kadar yaklaştığı incelenmiştir. Bunun yanında aynı şekilde, çaprazların bağlı olduğu kirişler de dayanım esaslı tasarımla boyutlandırıldığından, benzer yaklaşımla kirişlerde de kontrol yapılmalıdır.

Bu çalışmada doğrusal olmayan statik itme analizi gerçekleştirilmiştir. Çalışma, doğrusal olmayan analizi zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesapla mevcut deprem kayıtları kullanılarak tekrarlanabilir.

Bu çalışmada yalnızca merkezi bağlı burkulması önlenmiş çaprazlar yer almaktadır. Aynı çalışma dış merkezli burkulması önlenmiş çaprazlar için de yapılabilir.

KAYNAKLAR

AISC 341-10. Seismic Provisions for Structural Steel Buildings, American Institute of Steel Construction, 2010, Chicago, Illinois 60601-1802

AISC 360-10. Specification for Structural Steel Buildings, American Institute of Steel Construction, 2010, Chicago, Illinois 60601-1802

Annan, C.D. ve Youssef M.A. ve El Naggar, M. H. (2009). Seismic Overstrength in Braced Frames of Modular Steel Buildings. *Journal of Earthquake Engineering*, Sayı 13 Sf. 11 – 21

Ariyaratana C. ve Fahnestock, L.A., (2011). Evaluation of buckling-restrained braced frame seismic performance considering reserve strength. *Engineering Structures*, Sayı 33 Sf. 77-89.

Asgarian, B. ve Shokrgozar, H.R. (2009). BRBF Response Modification Factor. *Journal of Constructional Steel Research*, K.N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran

ATC 19 (1995)**.** Stuructural Responce Modification Factors, Applied Technology Council, California 94065

Christopulos, A. S., (2005). Improved Seismic Performance of Buckling Restrained Braced Frames, Master of Science in Civil Engineering, University of Washington, Washington, DC

DBYBHY. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelik 2007, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara

Eşsiz, Ö. (2005). Deprem Bölgelerindeki Çelik Çapraz Çerçeve Sistemlerin Avantajları. *Deprem Sempozyumu*, 23-25 Mart 2005, Kocaeli

Guo, Y.L., Liu, J.B., Hu, D.B. ve Deng, K. (2005). The Restraining Requirements for the Buckling-Restrained Brace. *Advances in Steel Structıres*, Sayı I, Beijing, China

Hussain, S., Benschoten, P.V., Satari, M. A. ve Lin, S., (2005). Buckling Restrained Braced Frame (BRBF) Structures: Analysis, *Design and Approvals Issues*, Los Angeles, CA.

Karataş, Ç. A. ve Çelik C. O., (2009). Burkulması Önlenmiş Çaprazlı (BÖÇ) Çelik Çerçeve Sistemlerin İncelenmesi. *3. Çelik Yapılar Sempozyumu*, İMO Gaziantep Şubesi, Gaziantep/Türkiye

Kim, J. ve Choi, H., (2003). Behavior and design of structures with buckling-restrained braces, *Engineering Structures* Sayı 26 Sf. 693-706, Suwon, South Korea

Kyaw Kyaw, P.T., (2010). Study on Nonlinear-Performance Behavior of the Six-Storey Framed Building in Yangon Under Design Earthquake using Pushover Analysis. World Academy of Science, *Engineering and Technology* Sayı 48

Özer, E., 2008 İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Yapı Mühendisliği İleri Yapı Statiği Ders Notları, 2008, İstanbul

Prinz, G. S. ve Richards, P. W., (2012). Seismic Performance of Buckling-Restrained Braced Frames with Eccentric Configuration. *Journal of Structural Engineering ASCE* (American Society of Civil Engineers), March 2012, sf.345-353

Sabelli, R. ve Lopez, W. A., (2004). Design of Buckling-Restrained Braced Frames. *The Steel Conference, Modern Steel Construction*, March 2004

Sabelli, R. ve Lopez, W. A., (2004). Seismic Design of Buckling-Restrained Braced Frames, *Structural Steel Educational Council Technical Information And Product Service*, July 2004

Sahoo, D. R. ve Chao, S.H., (2010). Performance-based plastic design method for buckling-restrained braced frames. *Engineering Structures* Sayı 32 Sf. 2950-2958

Segui W.T. (2007) *Steel Design,* Fourth Edition, The University of Memphis

Tremblay, R., Poncet, L., Bolduc, P., Neville R. ve DeVall, R., (2004). Testing and Design of Buckling Restrained Braces for Canadian Application, *13th World Conference on Earthquake Engineering*, Paper No. 2893, Vancover, B.C., Canada

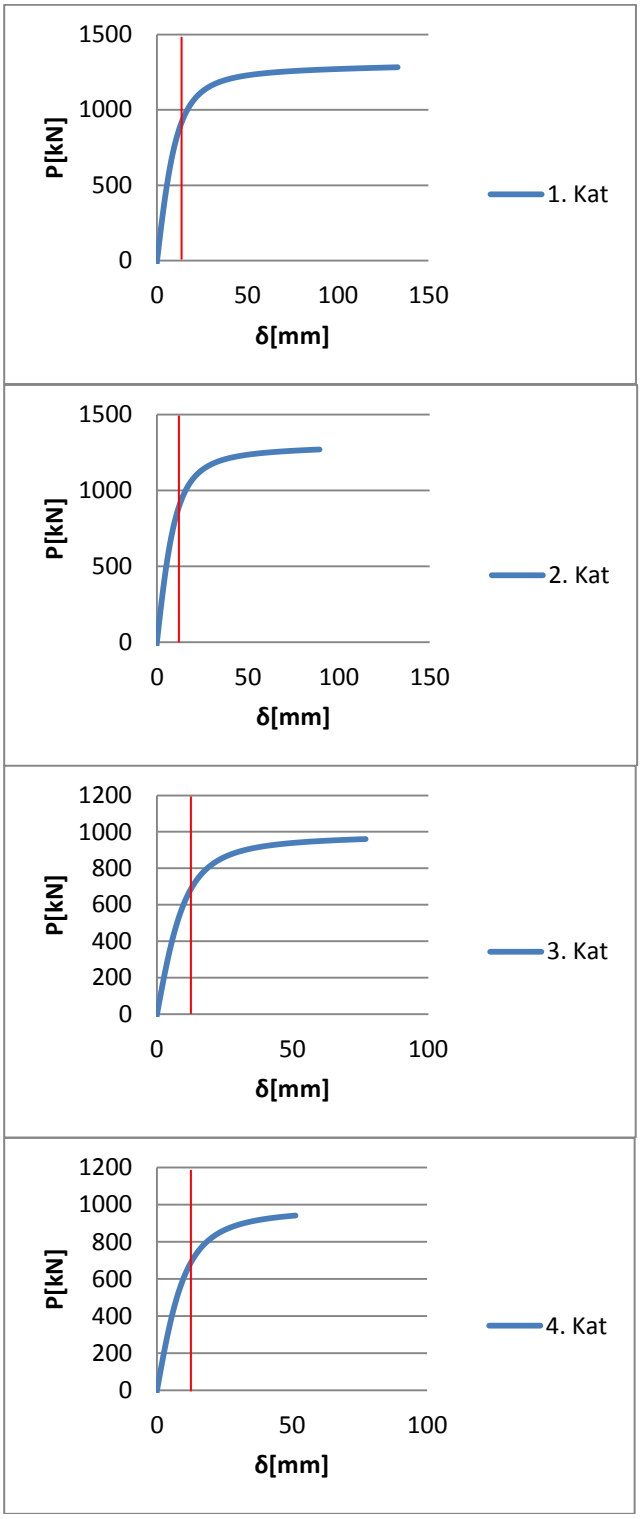
Zona, A. ve Ragni, L. ve Dall'Asta, A., (2011). Sensivity-based study of the influence of brace over-strength distributions on the seismic response of steel frames with BRB's. *Engineering Structures* Sayı 37 Sf.179-192

Xie, Q. (2005). State of the art of Buckling-Restrained Braces in Asia. *Journal of Constructional Steel Research*, Tongji University, Shangai, China

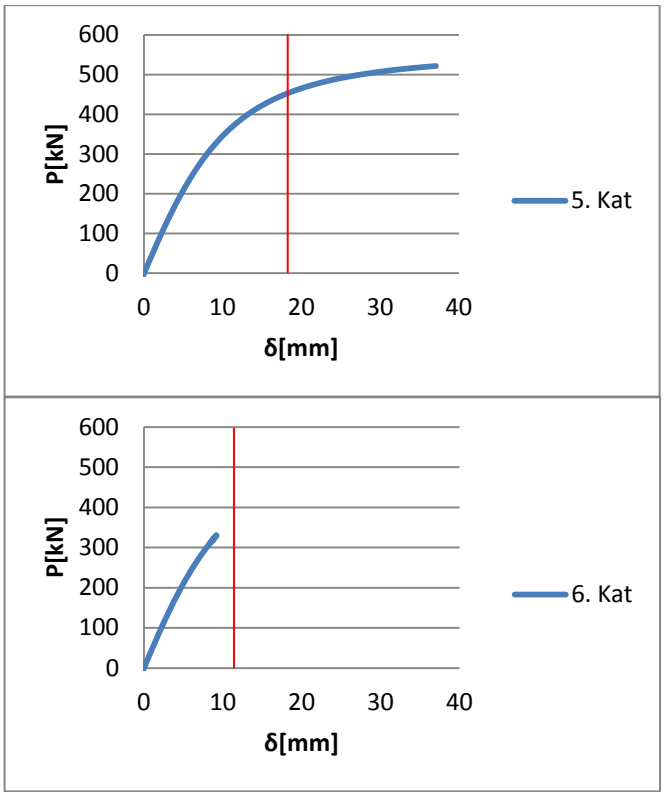
EKLER

EK A: 6, 8 ve 10 Katlı binaların çaprazlarının kuvvet – yerdeğiştirme eğrileri

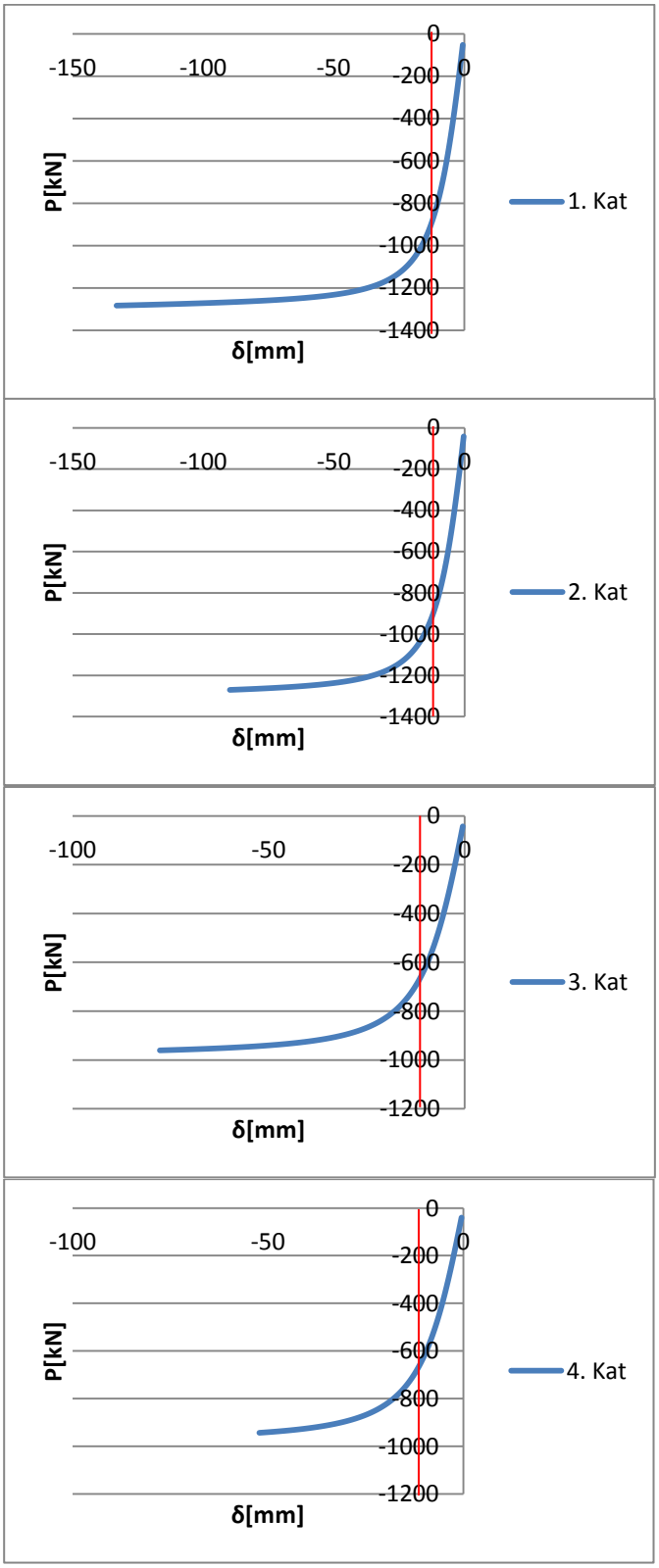
EK A



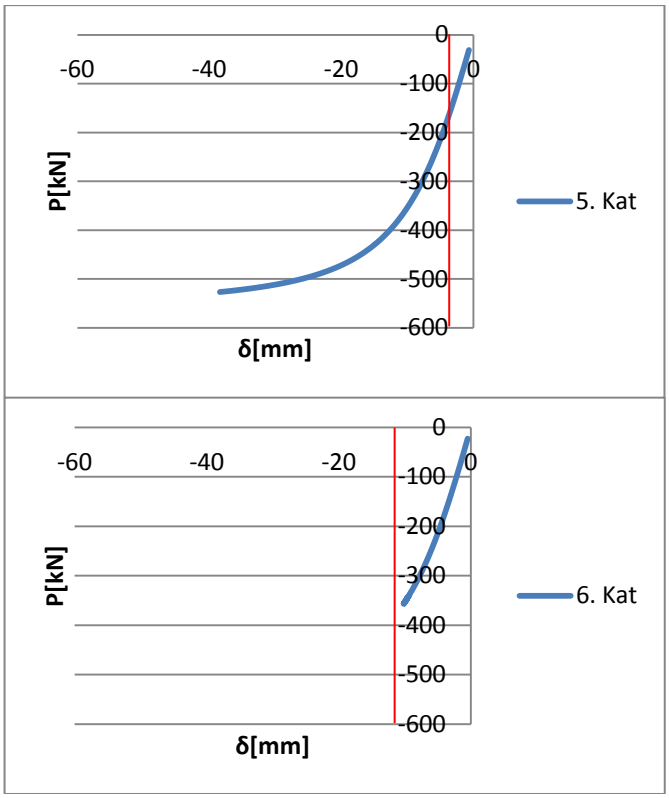
Şekil A.1 6 Katlı yapı y-doğrultusu çaprazları P-δ eğrileri (çekme çaprazları).



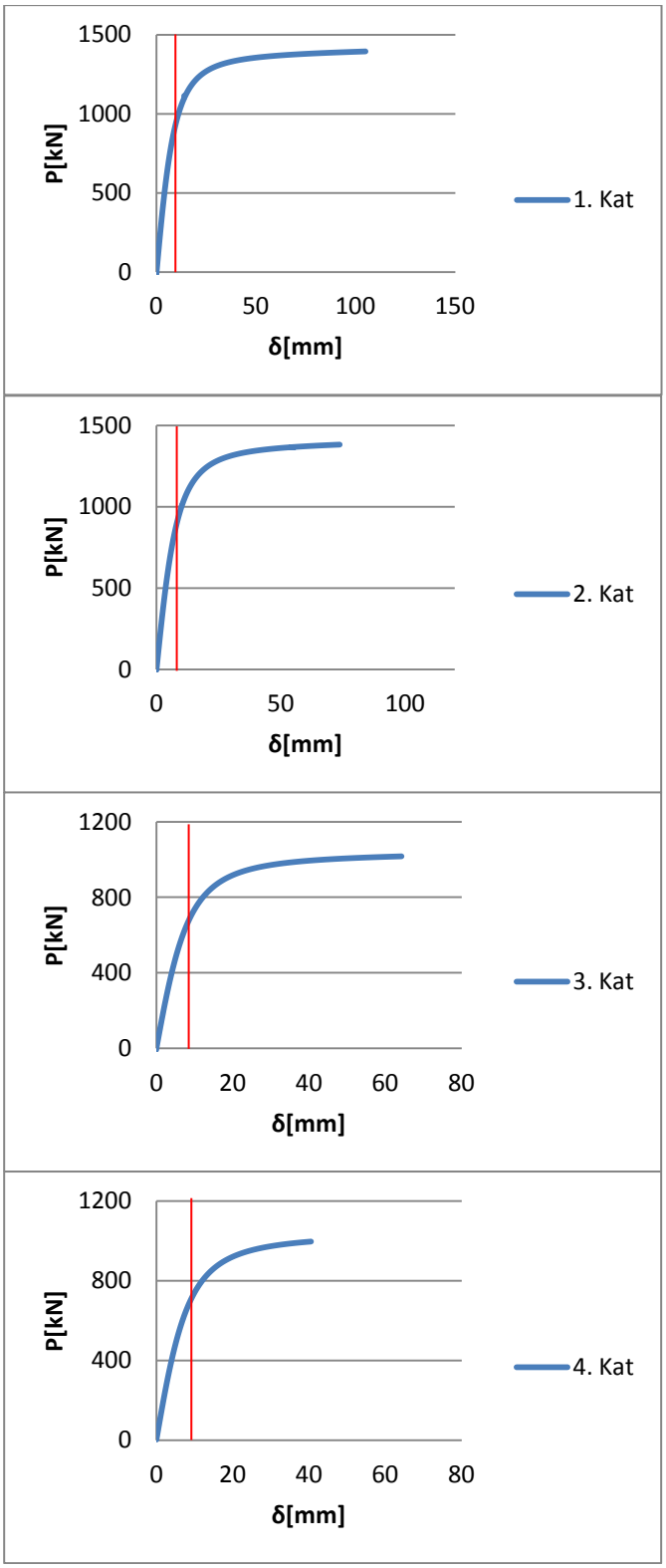
Şekil A.1 6 Katlı yapı y-doğrultusu çaprazları P-δ eğrileri (çekme çaprazları) (devamı).



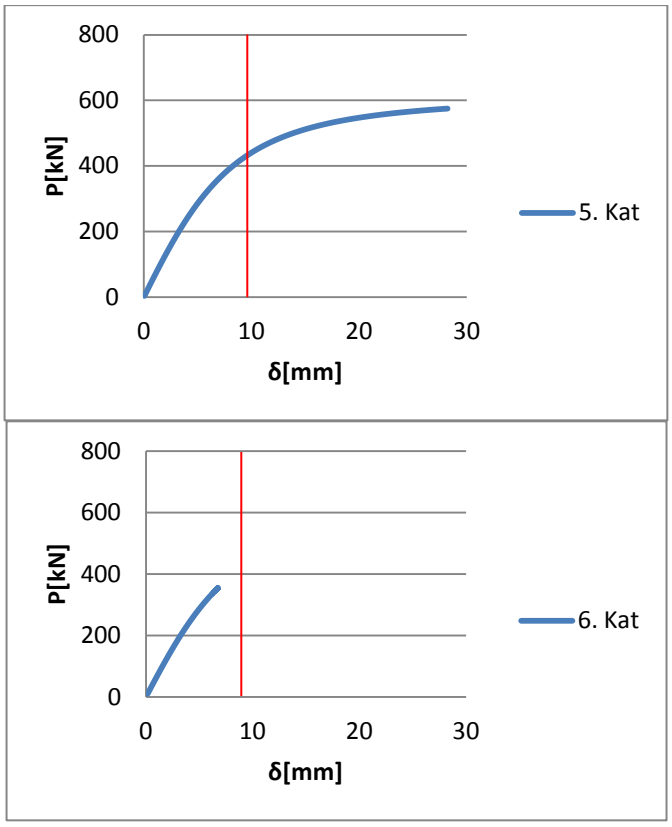
Şekil A.2 6 Katlı yapı y-doğrultusu çaprazları P-δ eğrileri (basınç çaprazları).



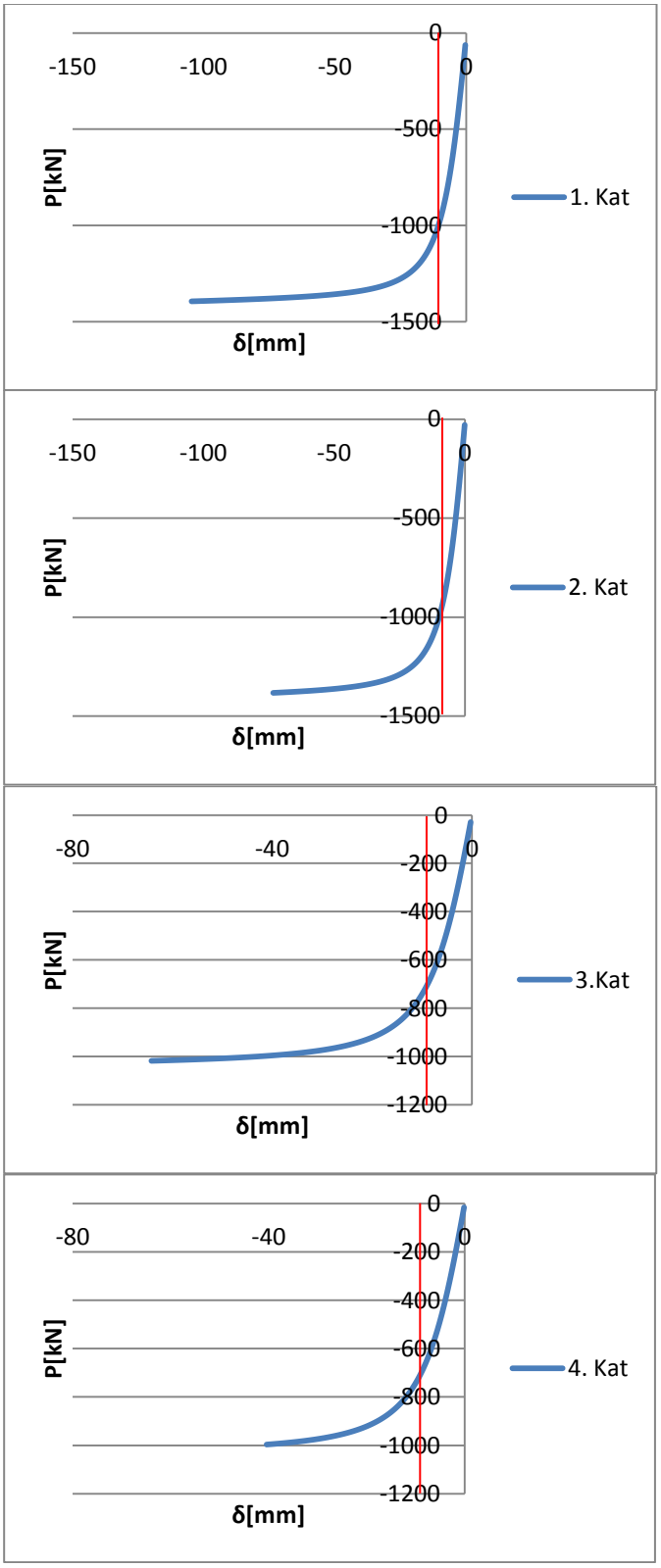
Şekil A.2 6 Katlı yapı y-doğrultusu çaprazları P-δ eğrileri (basınç çaprazları) (devam).



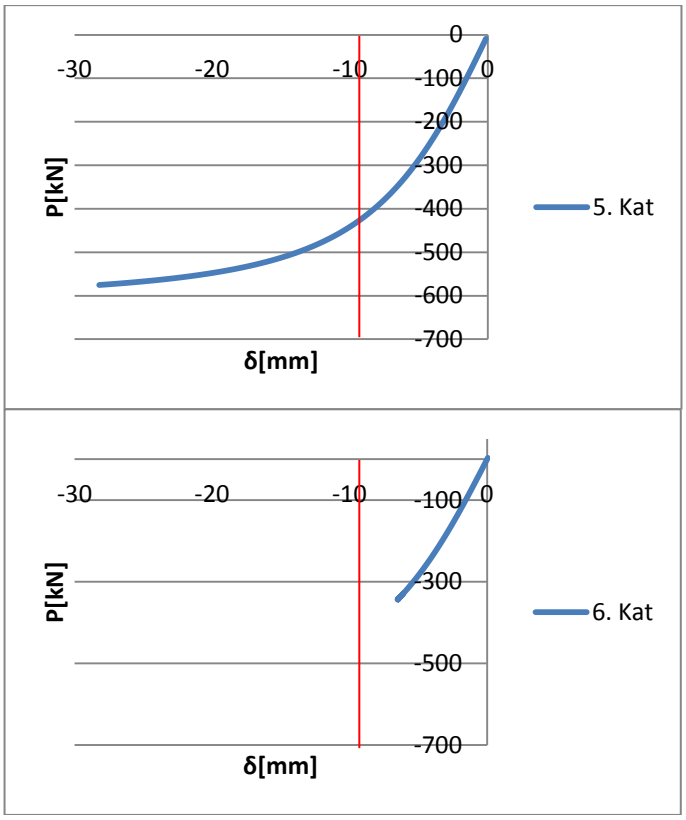
Şekil A.3 6 Katlı yapı x-doğrultusu çaprazları P-δ eğrileri (çekme çaprazları).



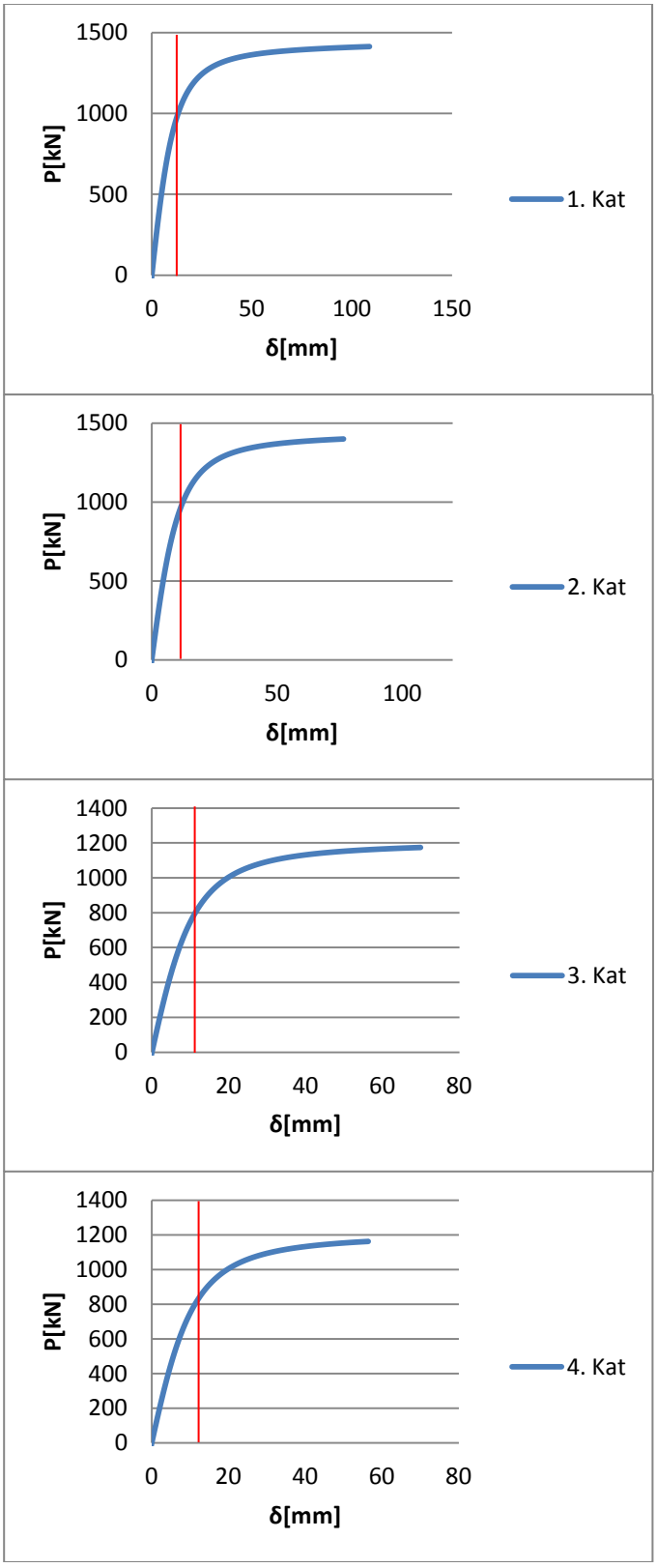
Şekil A.3 6 Katlı yapı x-doğrultusu çaprazları P-δ eğrileri (çekme çaprazları) (devamı).



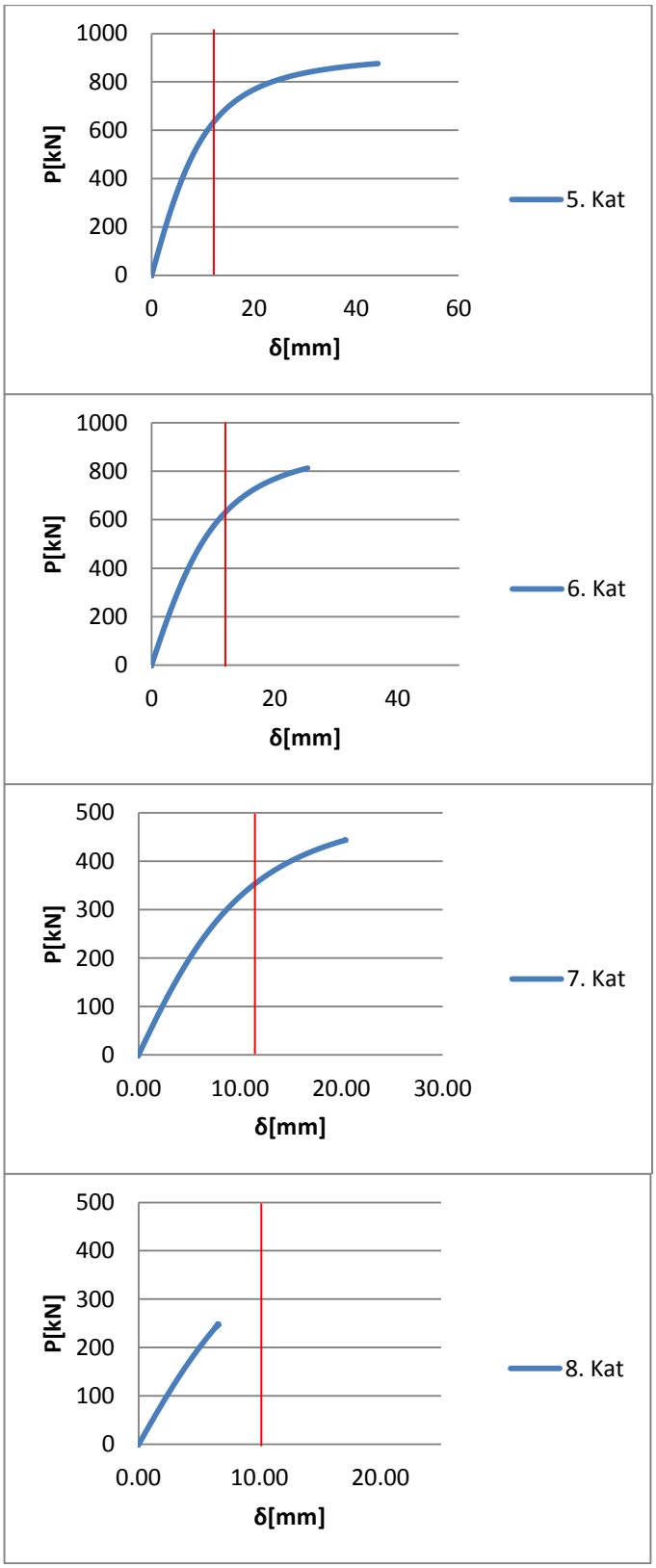
Şekil A.4 6 Katlı yapı x-doğrultusu çaprazları P-δ eğrileri (basınç çaprazları).



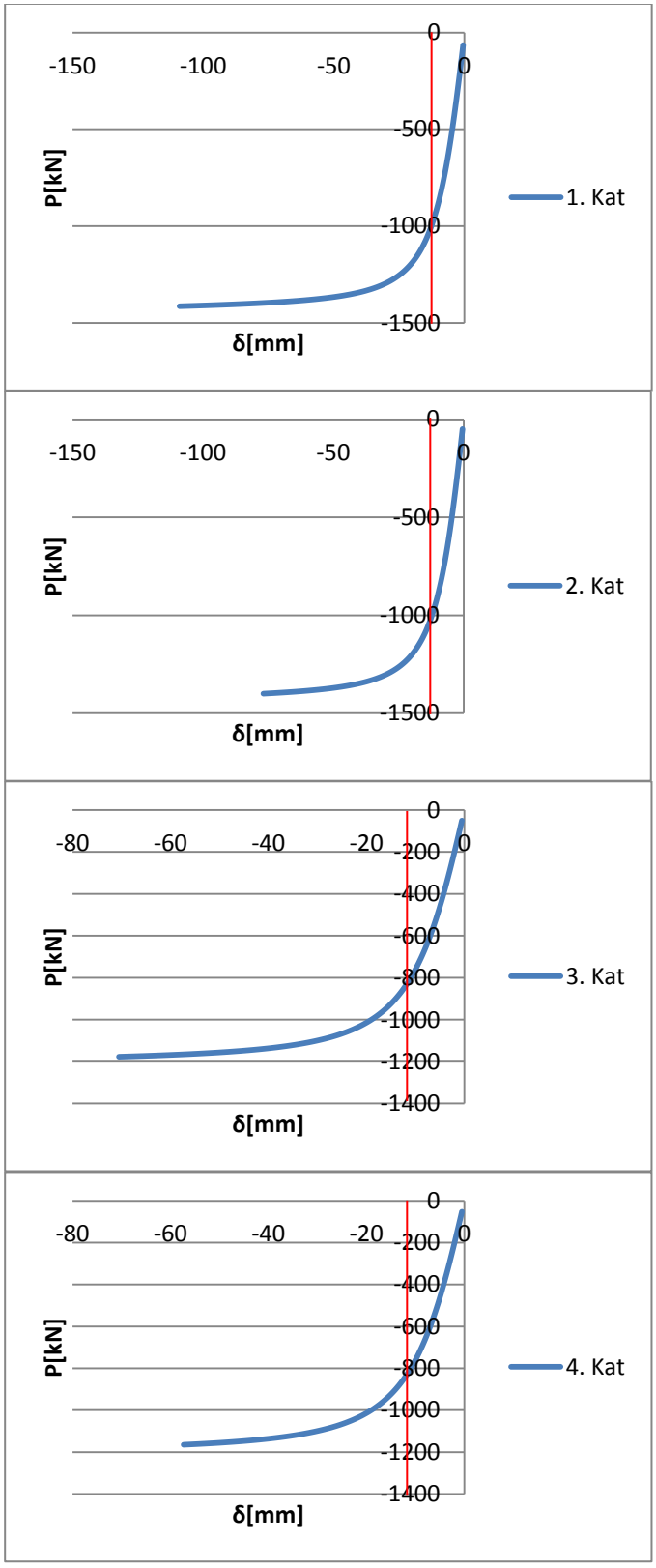
Şekil A.4 6 Katlı yapı x-doğrultusu çaprazları P-δ eğrileri (basınç çaprazları) (devamı).



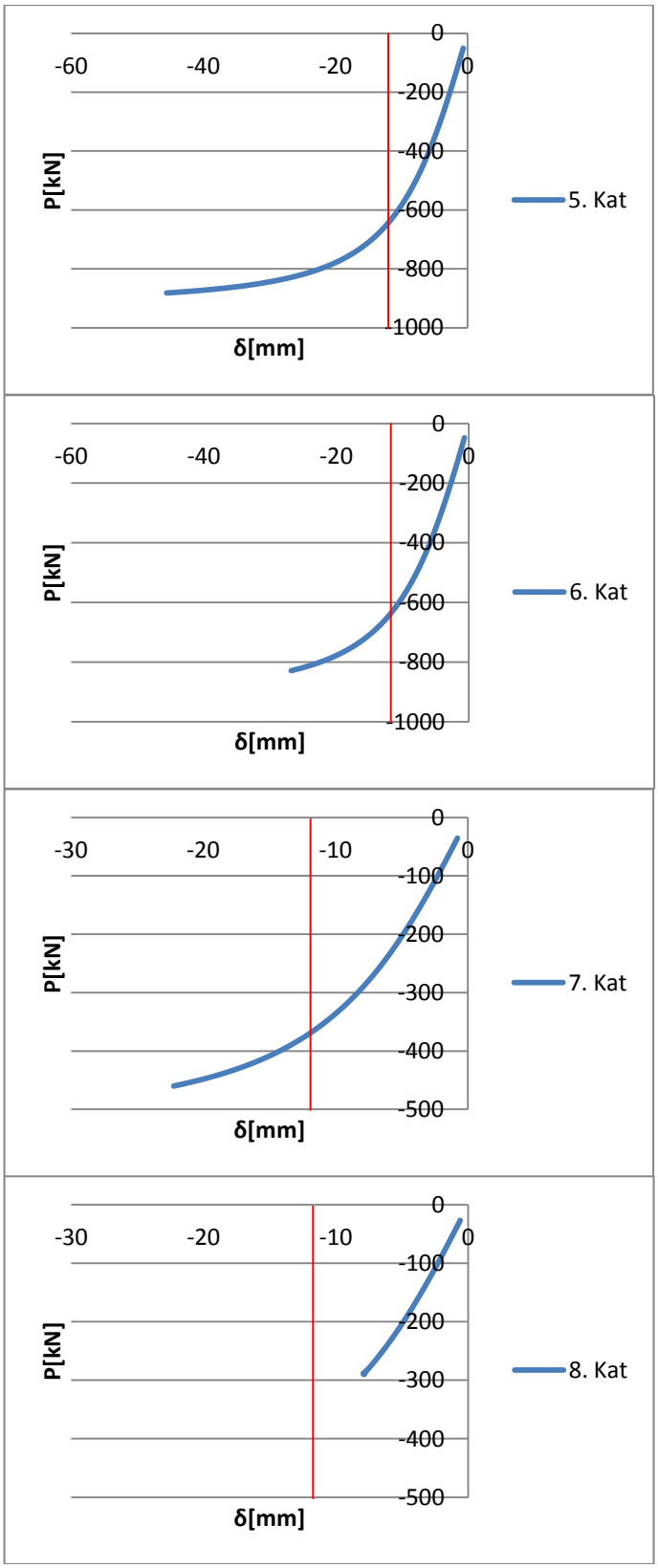
Şekil A.5 8 Katlı yapı y-doğrultusu çaprazları P-δ eğrileri (çekme çaprazları).



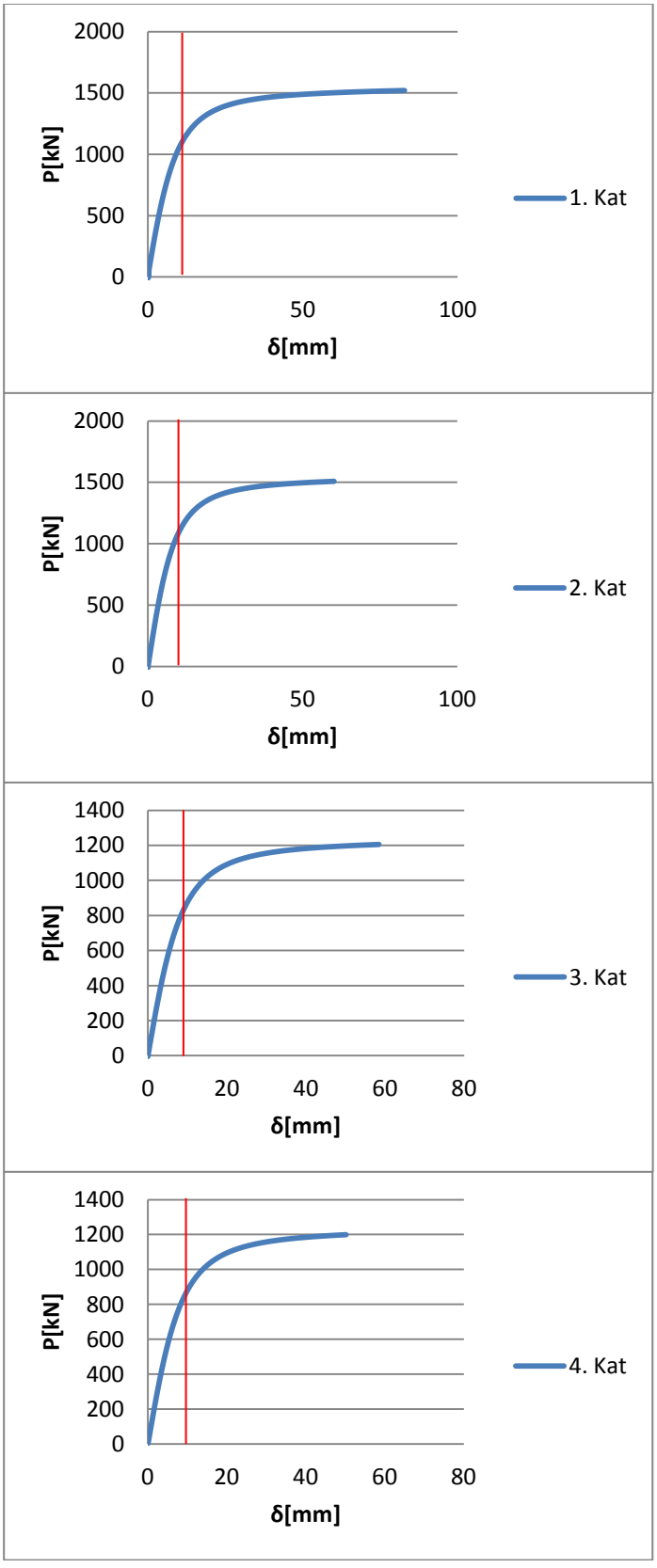
Şekil A.5 8 Katlı yapı y-doğrultusu çaprazları P-δ eğrileri (çekme çaprazları) (devamı).



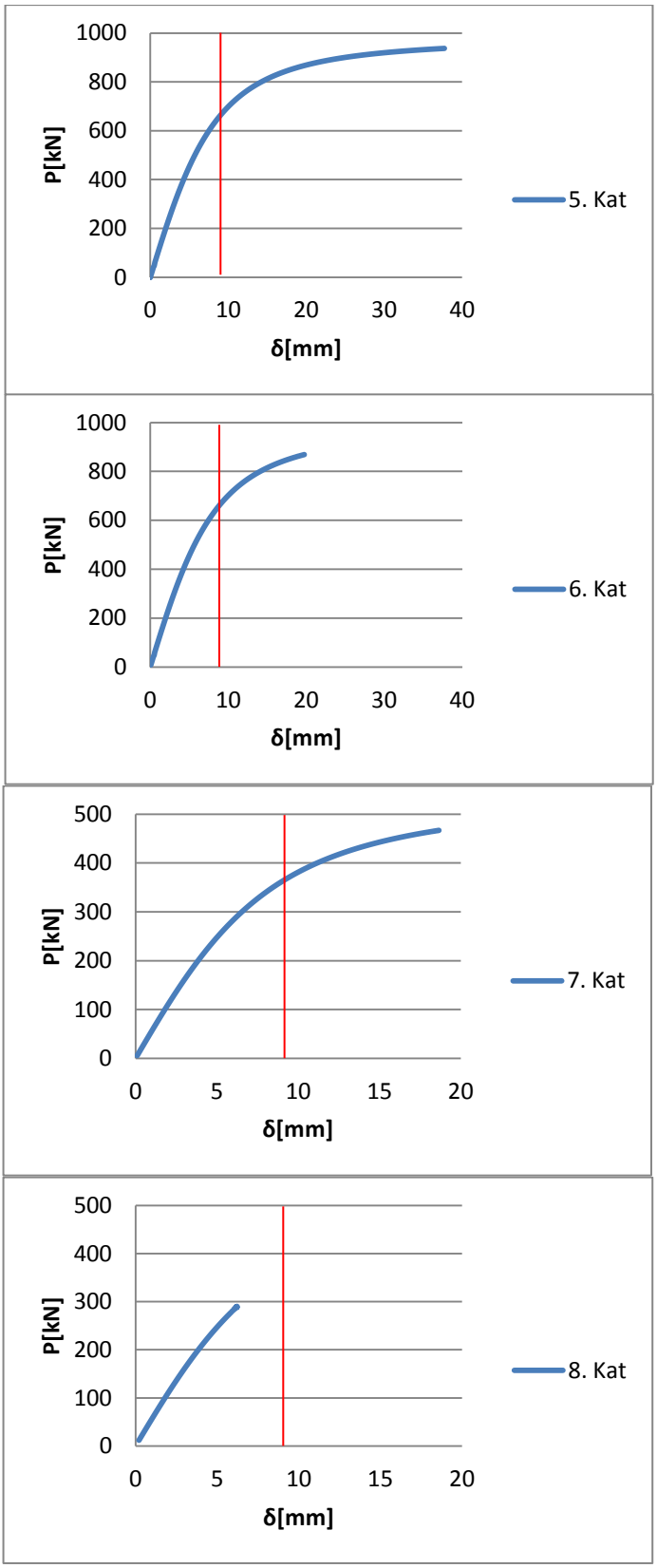
Şekil A.6 8 Katlı yapı y-doğrultusu çaprazları P-δ eğrileri (basınç çaprazları).



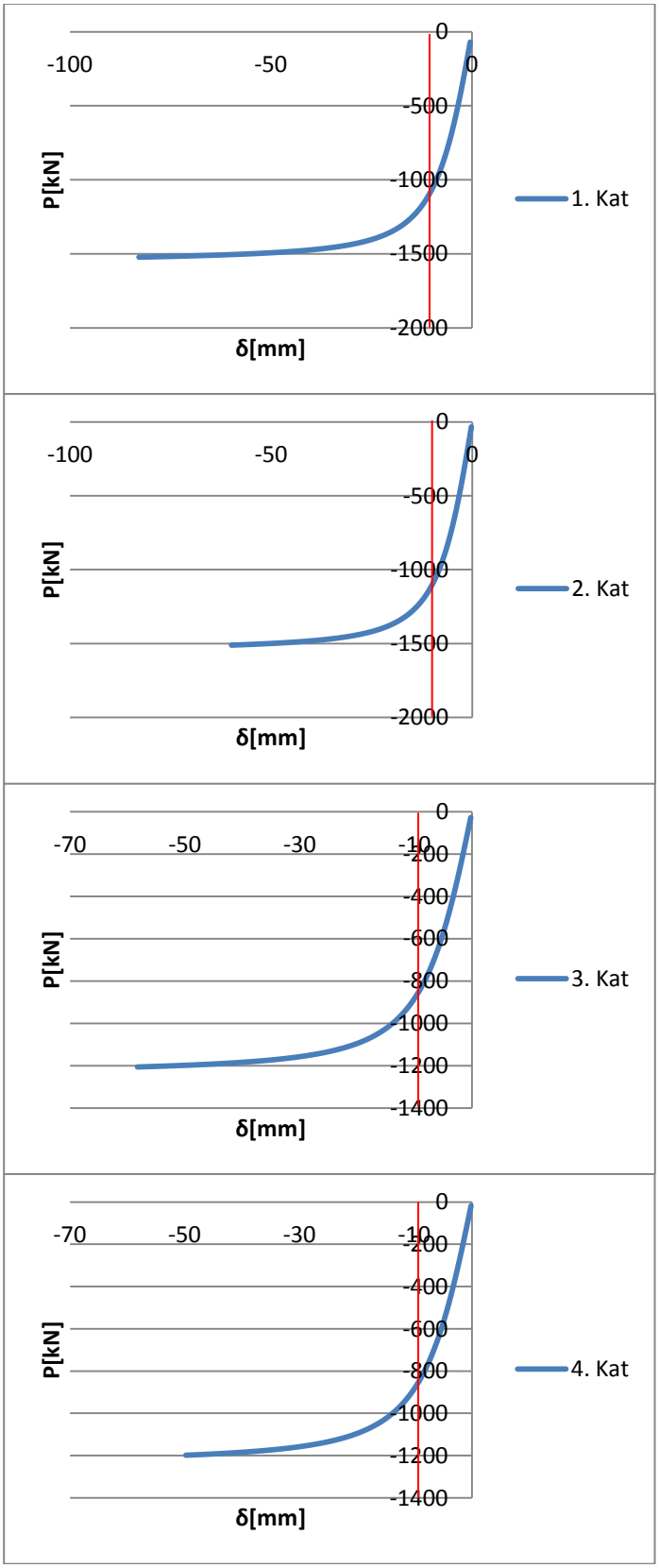
Şekil A.6 8 Katlı yapı y-doğrultusu çaprazları P-δ eğrileri (basınç çaprazları) (devamı).



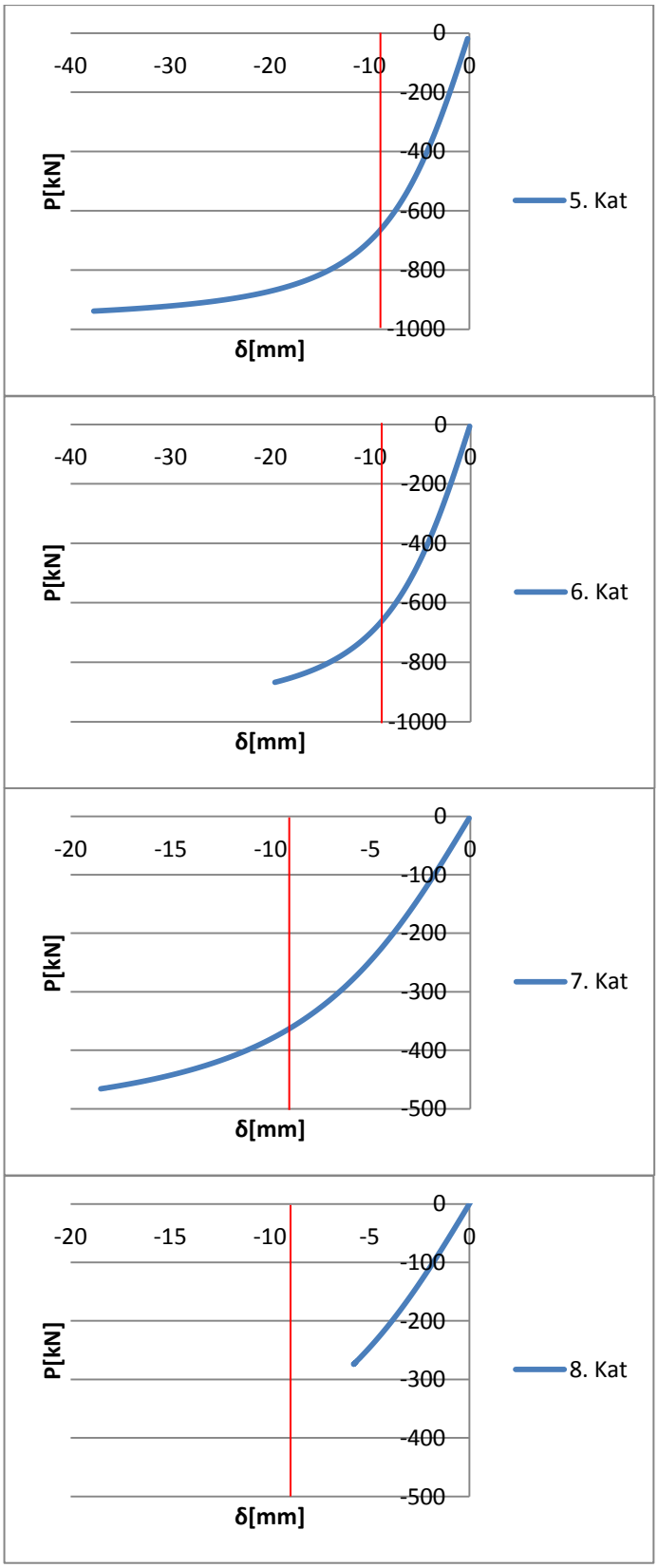
Şekil A.7 8 Katlı yapı x-doğrultusu çaprazları P-δ eğrileri (çekme çaprazları).



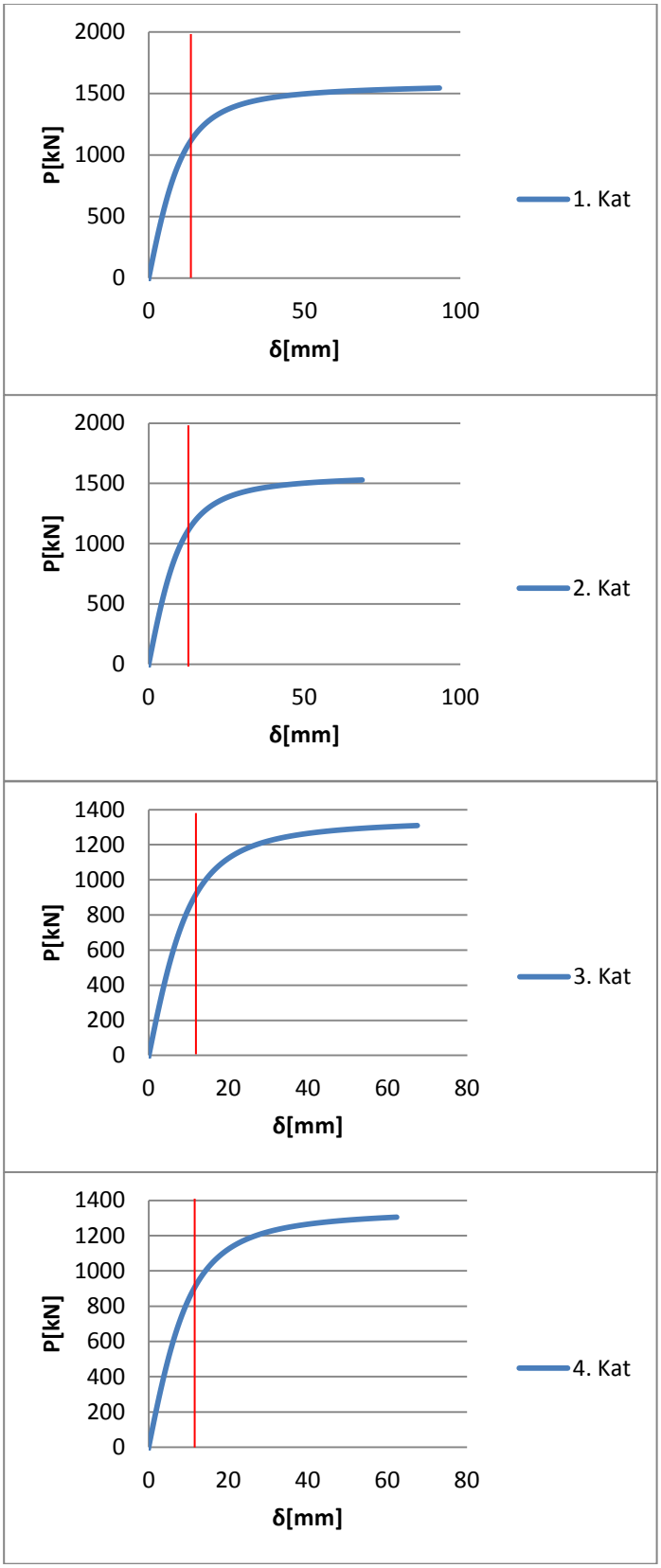
Şekil A.7 8 Katlı yapı x-doğrultusu çaprazları P-δ eğrileri (çekme çaprazları) (devamı).



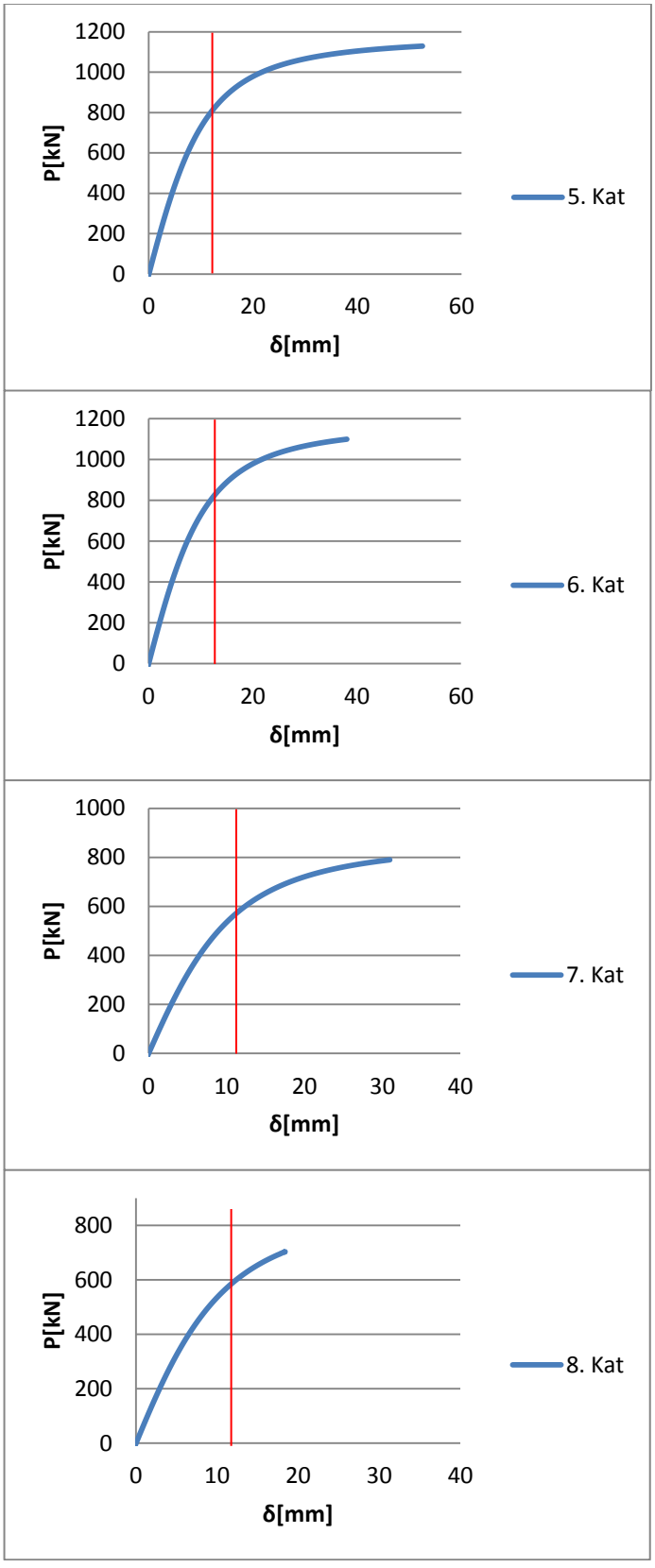
Şekil A.8 8 Katlı yapı x-doğrultusu çaprazları P-δ eğrileri (çaprazları).



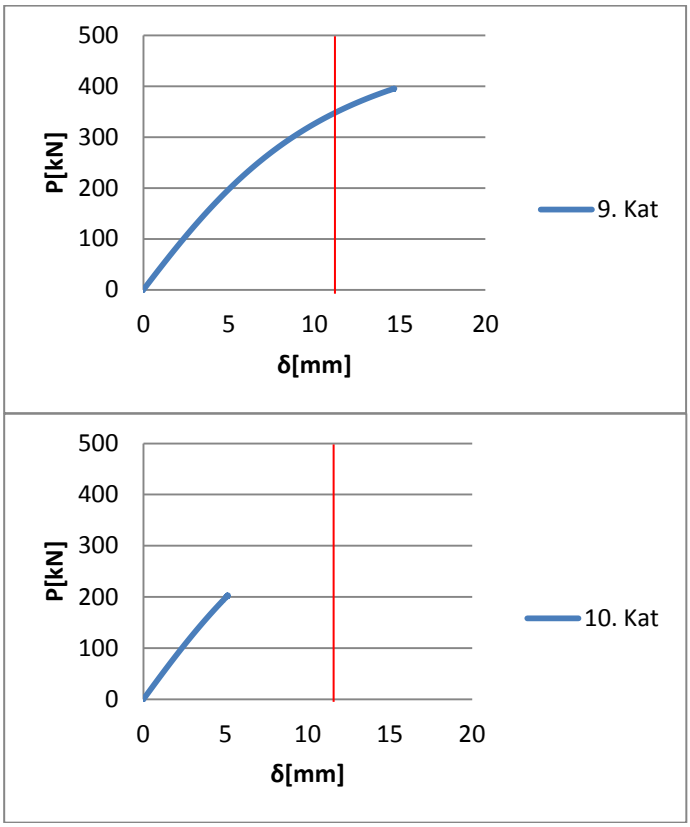
Şekil A.8 8 Katlı yapı x-doğrultusu çaprazları P-δ eğrileri (basınç çaprazları) (devamı).



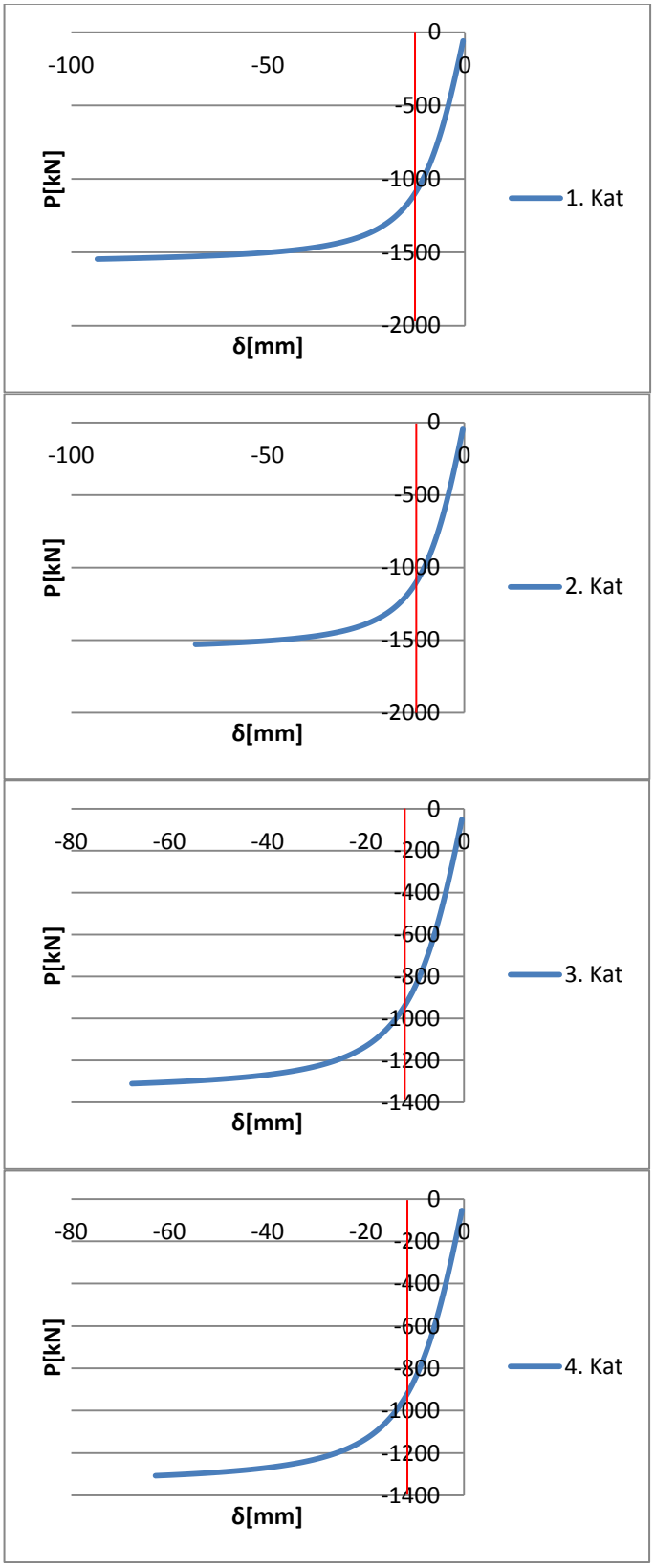
Şekil A.9 10 Katlı yapı y-doğrultusu çaprazları P-δ eğrileri (çekme çaprazları).



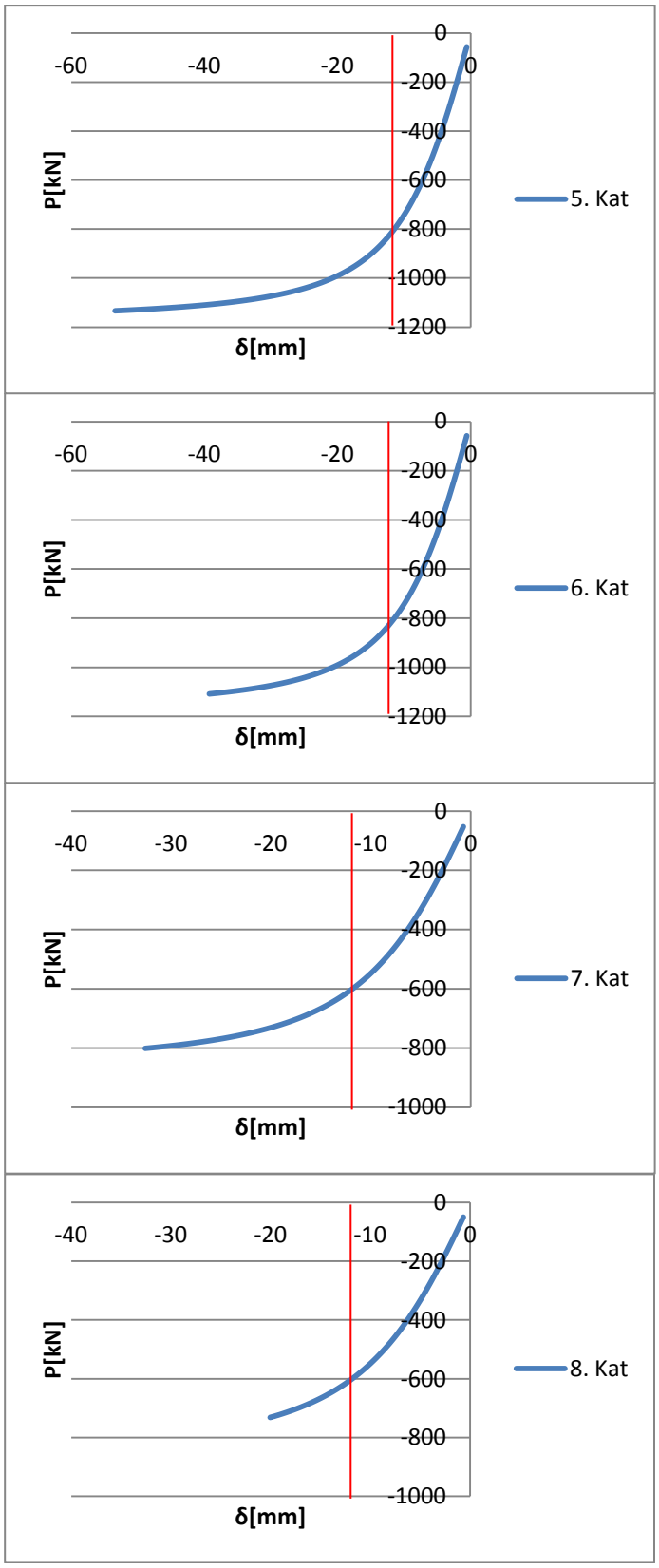
Şekil A.9 10 Katlı yapı y-doğrultusu çaprazları P-δ eğrileri (çekme çaprazları) (devamı).



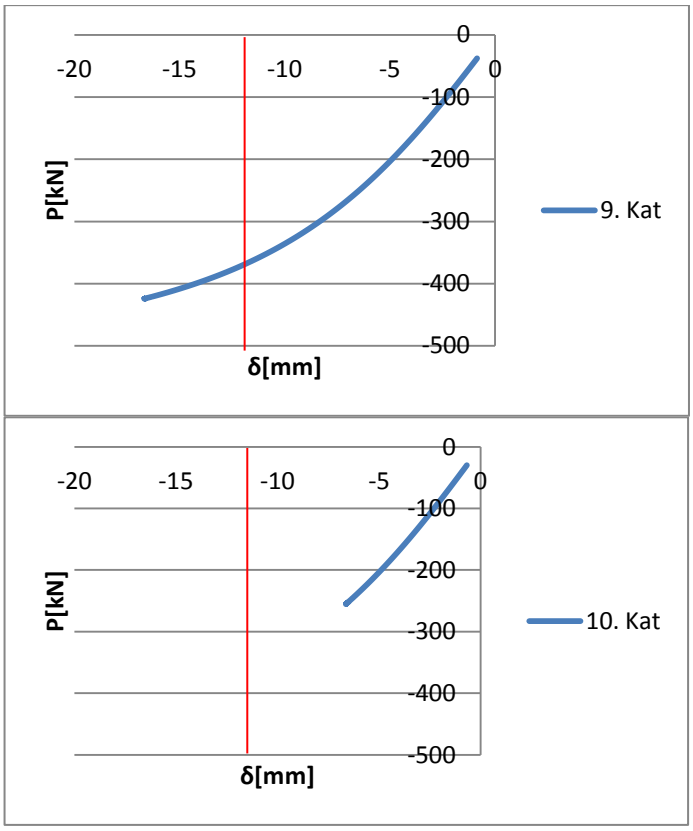
Şekil A.9 10 Katlı yapı y-doğrultusu çaprazları P-δ eğrileri (çekme çaprazları) (devamı).



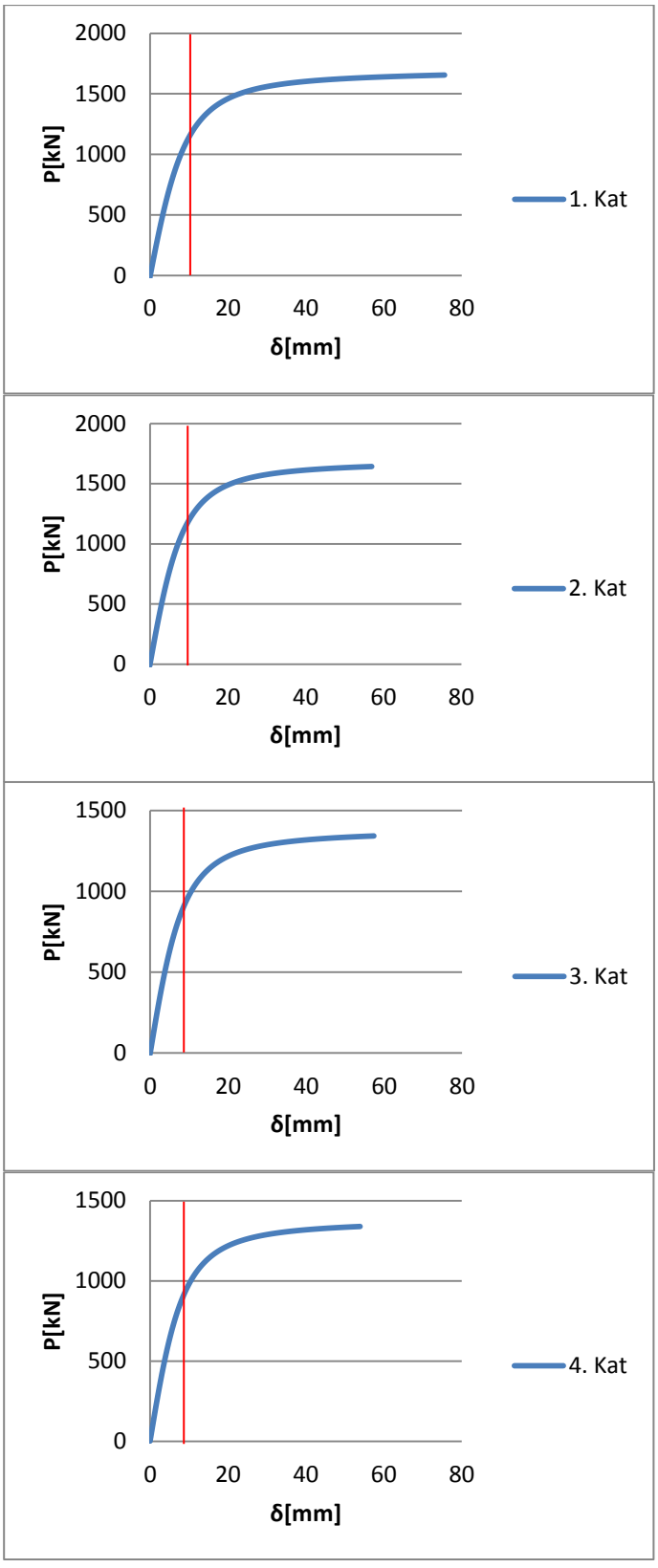
Şekil A.10 10 Katlı yapı y-doğrultusu çaprazları P-δ eğrileri (basınç çaprazları).



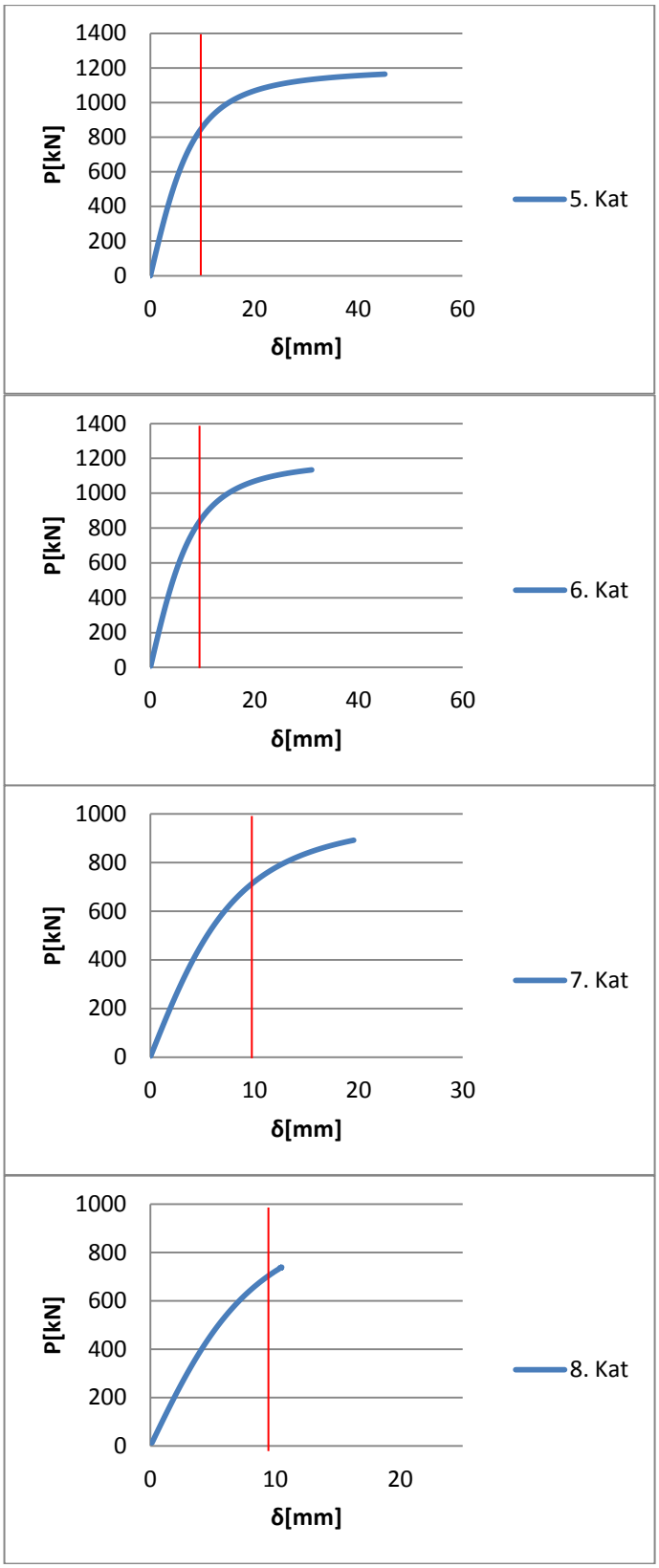
Şekil A.10 10 Katlı yapı y-doğrultusu çaprazları P-δ eğrileri (basınç çaprazları) (devamı).



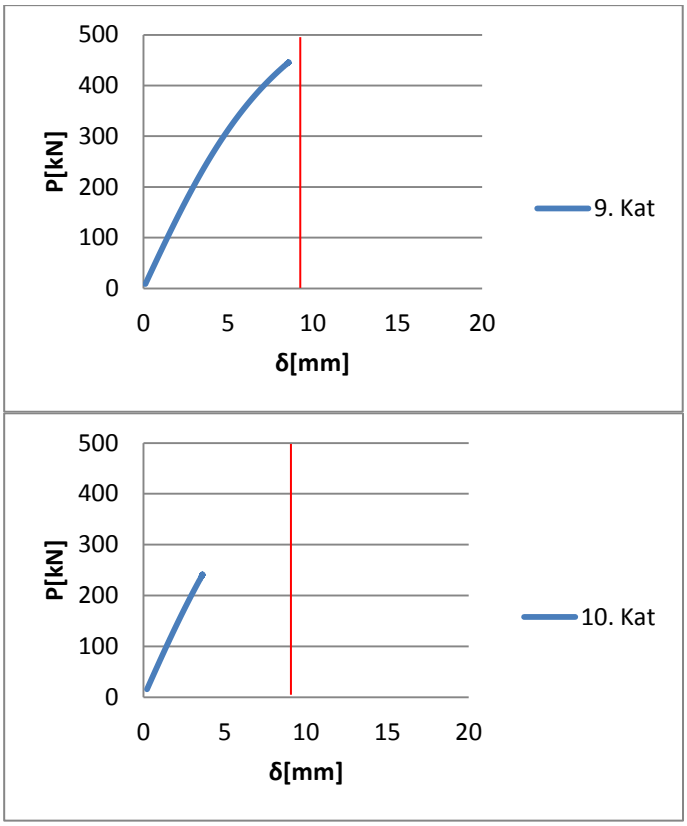
Şekil A.10 10 Katlı yapı y-doğrultusu çaprazları P-δ eğrileri (basınç çaprazları) (devamı).



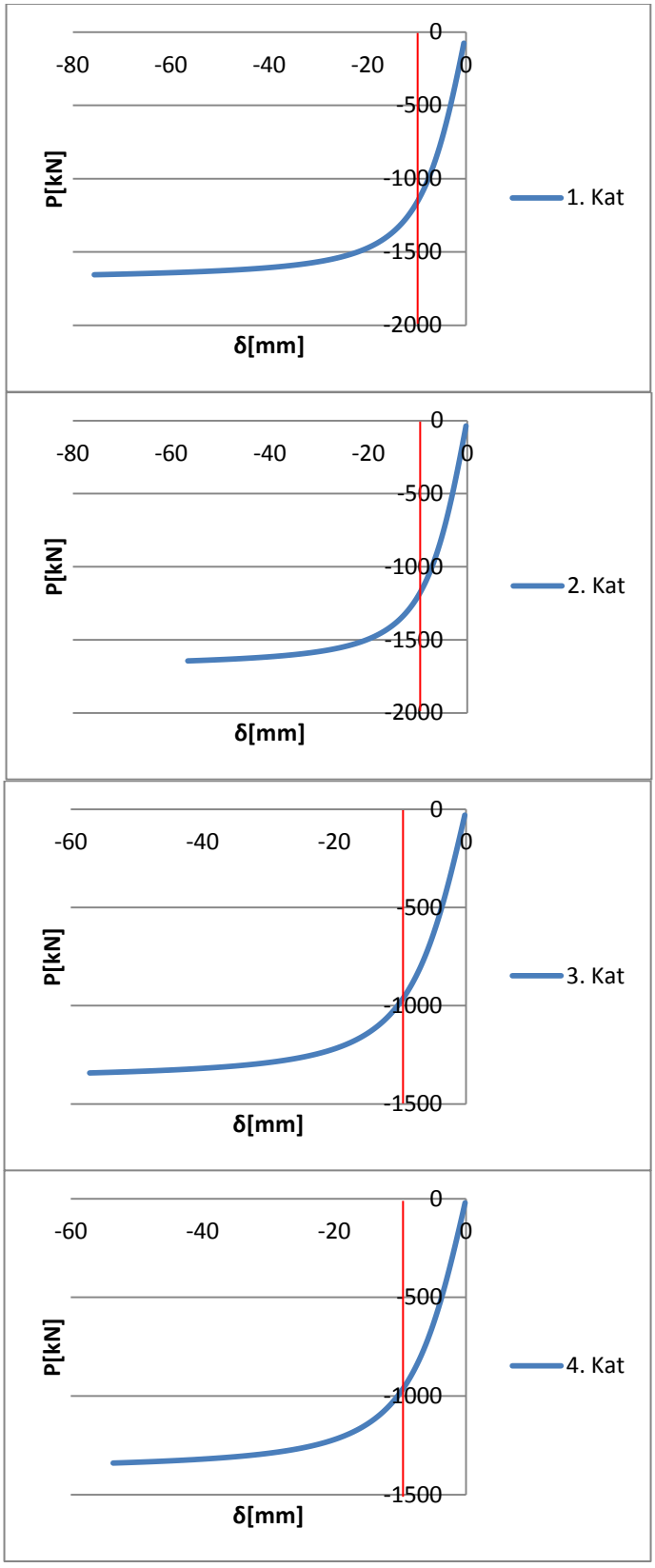
Şekil A.11 10 Katlı yapı x-doğrultusu çaprazları P-δ eğrileri (çekme çaprazları)



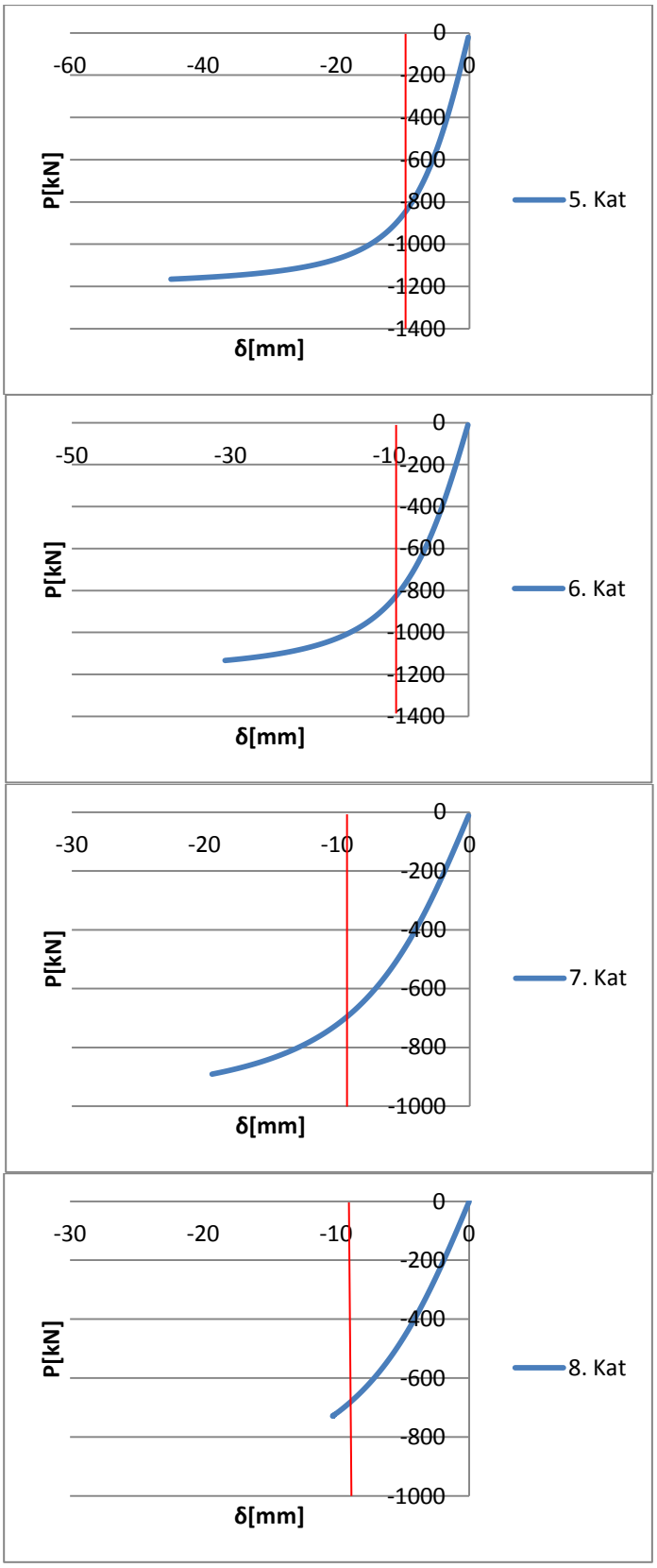
Şekil A.11 10 Katlı yapı x-doğrultusu çaprazları P-δ eğrileri (çekme çaprazları) (devamı).



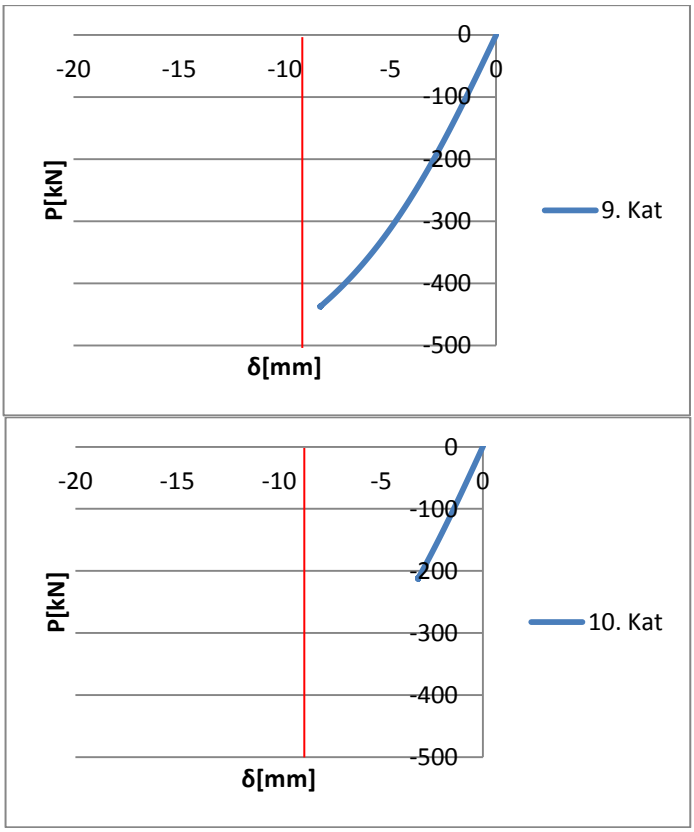
Şekil A.11 10 Katlı yapı x-doğrultusu çaprazları P-δ eğrileri (çekme çaprazları) (devamı).



Şekil A.12 10 Katlı yapı x-doğrultusu çaprazları P-δ eğrileri (basınç çaprazları).



Şekil A.12 10 Katlı yapı x-doğrultusu çaprazları P-δ eğrileri (basınç çaprazları) (devamı).



Şekil A.12 10 Katlı yapı x-doğrultusu çaprazları P-δ eğrileri (basınç çaprazları) (devamı).

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad:	Elif Ecem BAŞ
Doğum Yeri ve Tarihi:	İstanbul / 1990
E-Posta:	eecembas@ gmail.com
Lisans:	İstanbul Teknik Üniversitesi- İnşaat Mühendisliği,2012