

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DIŞMERKEZ ÇAPRAZLI ÇELİK ÇERÇEVELERİN DOĞRUSAL OLMAYAN  
DAVRANIŞLARININ FARKLI BAĞ KİRİŞİ TEŞKİLLERİ İÇİN  
İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Abdurrahman KAYGUSUZ**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Yapı Mühendisliği Programı**

**NİSAN 2015**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DIŞMERKEZ ÇAPRAZLI ÇELİK ÇERÇEVELERİN DOĞRUSAL OLMAYAN  
DAVRANIŞLARININ FARKLI BAĞ KİRİŞİ TEŞKİLLERİ İÇİN  
İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Abdurrahman KAYGUSUZ  
(501111075)**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Yapı Mühendisliği Programı**

**Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Cüneyt VATANSEVER**

**NİSAN 2015**



İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501111075 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Abdurrahman KAYGUSUZ**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**DIŞMERKEZ ÇAPRAZLI ÇELİK ÇERÇEVELERİN DOĞRUSAL OLMAYAN DAVRANIŞLARININ FARKLI BAĞ KİRİŞİ TEŞKİLLERİ İÇİN İNCELENMESİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :**      **Yrd. Doç. Dr. Cüneyt VATANSEVER** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :**      **Prof. Dr. Bülent AKBAŞ** .....  
Gebze Teknik Üniversitesi

**Prof. Dr. Engin ORAKDÖĞEN** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Teslim Tarihi :**      **16 Nisan 2015**  
**Savunma Tarihi :**      **27 Nisan 2015**



## ÖNSÖZ

Bu çalışmada farklı bağ kirişi teşkillerine sahip olan ve AISC 360-10 ile AISC 341-10'a göre boyutlandırılmış dışmerkez çaprazlı çelik çerçevelerin doğrusal olmayan davranışları statik itme analizi kullanılarak incelenmiştir.

Özellikle tez aşaması olmak üzere yüksek lisans eğitim hayatımdaki kıymetli yardımları, sabır ve anlayışları dolayısıyla Yrd. Doç. Dr. Cüneyt VATANSEVER'e teşekkürü bir borç bilirim.

Mesleğe ilk adım attığım andan itibaren çelik yapılar başta olmak üzere mühendisliğe dair tüm bilgi birikimini paylaşan İnş. Yük. Müh. Ömer MÜNGAN'a ayrıca teşekkür ederim.

Bugüne kadar maddi manevi destekleri ile varlıklarını her zaman hissettiren aileme de teşekkür ederim.

Tez aşamasında olmasa dahi tezin yazılabilmesi için geçilmesi gerekli onca aşamada bizleri destekleyen, bugünlere ulaşip bu satırların yazılmasına katkı sunmuş olan her şeye ve herkese en kalbi şükranlarımla.

Nisan 2015

Abdurrahman KAYGUSUZ  
(İnşaat Mühendisi)



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

|                                                                   |      |
|-------------------------------------------------------------------|------|
| ÖNSÖZ.....                                                        | v    |
| İÇİNDEKİLER.....                                                  | vii  |
| KISALTMALAR.....                                                  | ix   |
| ÇİZELGE LİSTESİ.....                                              | xi   |
| ŞEKİL LİSTESİ.....                                                | xiii |
| SEMBOL LİSTESİ.....                                               | xv   |
| ÖZET.....                                                         | xix  |
| SUMMARY.....                                                      | xxi  |
| 1. GİRİŞ .....                                                    | 1    |
| 1.1 Tezin Amacı ve Kapsam.....                                    | 1    |
| 1.2 Tezin Organizaasyonu .....                                    | 2    |
| 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....                                    | 3    |
| 2.1 Ahmet ve Cem (2015) .....                                     | 3    |
| 2.2 Ahmet ve Cem (2015) .....                                     | 3    |
| 2.3 Taichiro ve Diğerleri (2014) .....                            | 3    |
| 2.4 Liusheng ve Diğerleri (2014).....                             | 3    |
| 2.5 Chiyun ve Kai (2014) .....                                    | 4    |
| 2.6 Saeed Reza ve Hosein (2014) .....                             | 4    |
| 2.7 Timothy (2013) .....                                          | 4    |
| 2.8 Ahmet ve Cem (2013) .....                                     | 5    |
| 2.9 Melina ve Pier P. (2013).....                                 | 5    |
| 2.10 Melina ve Pier P. (2013).....                                | 5    |
| 2.11 Yanglin ve Diğerleri (2013).....                             | 5    |
| 2.12 Yavuz ve Diğerleri (2013) .....                              | 5    |
| 2.13 Flavia S. (2012).....                                        | 6    |
| 2.14 Xiuzhen ve Diğerleri (2011) .....                            | 6    |
| 2.15 Ying ve Diğerleri (2011).....                                | 6    |
| 2.16 Nabil ve Diğerleri (2011).....                               | 6    |
| 2.17 C. Kerem ve Diğerleri (2011) .....                           | 6    |
| 2.18 Thomas A. ve Dina (2011).....                                | 7    |
| 2.19 Paul W. (2010) .....                                         | 7    |
| 2.20 Sanda ve Simona (2010).....                                  | 7    |
| 2.21 Taichiro ve Diğerleri (2009) .....                           | 7    |
| 2.22 Gary S. ve Paul (2009).....                                  | 7    |
| 2.23 Devrim ve Nuri (2008) .....                                  | 8    |
| 2.24 Taichiro ve Michael (2007).....                              | 8    |
| 2.25 Pier P. ve A. (2007) .....                                   | 8    |
| 2.26 Jeffrey ve Michel (2007).....                                | 8    |
| 2.27 Taichiro ve Diğerleri (2006) .....                           | 8    |
| 2.28 Taichiro ve Diğerleri (2005) .....                           | 9    |
| 3. DIŞMERKEZ ÇAPRAZLI ÇELİK ÇERÇEVE MODELLERİNİN<br>TASARIMI..... | 11   |
| 3.1 Model Yapı Sistemi.....                                       | 13   |
| 3.2 Dışmerkez Çaprazlı Çelik Çerçeve Tipleri .....                | 14   |
| 3.3 Sabit Düşey Yük Analizi .....                                 | 14   |
| 3.4 Deprem Yüğü Analizi.....                                      | 15   |

|                                                                        |           |
|------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.5 Rüzgar Yüğü Analizi.....                                           | 20        |
| 3.6 Yüğü Birleşimleri.....                                             | 23        |
| 3.7 Analitik Modeller.....                                             | 24        |
| 3.8 Yapısal Analiz Sonuçları ve Değerlendirilmesi .....                | 26        |
| <b>4. DIŞMERKEZ ÇAPRAZLI ÇELİK ÇERÇEVE ELEMANLARININ</b>               |           |
| <b>TASARIMI .....</b>                                                  | <b>39</b> |
| 4.1 Bağ Kirişli Elemanlarının Tasarımı .....                           | 41        |
| 4.2 Kolonların Tasarımı .....                                          | 51        |
| 4.3 Çapraz Elemanların Tasarımı .....                                  | 58        |
| 4.4 Bağ Kirişli Dışındaki Kiriş Parçasının Tasarımı .....              | 63        |
| <b>5. DIŞMERKEZ ÇAPRAZLI ÇELİK ÇERÇEVE MODELLERİNİN</b>                |           |
| <b>DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZİ .....</b>                                  | <b>67</b> |
| 5.1 Malzeme Davranış Modeli .....                                      | 67        |
| 5.2 Kolon, Kirişler ve Çapraz Elemanların Modellenmesi .....           | 67        |
| 5.3 Bağ Kirişli Modeli .....                                           | 67        |
| 5.4 OpenSEES Analitik Modeli.....                                      | 68        |
| <b>6. DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZ SONUÇLARI VE</b>                         |           |
| <b>DEĞERLENDİRİLMESİ .....</b>                                         | <b>71</b> |
| 6.1 Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi .....                         | 72        |
| 6.2 Görelî Kat Ötelemeleri .....                                       | 73        |
| 6.3 Bağ Kirişleri Dayanım Kapasiteleri.....                            | 75        |
| 6.4 Kolonların Dayanım Kapasiteleri .....                              | 80        |
| 6.5 Çapraz Elemanların Dayanım Kapasiteleri .....                      | 83        |
| 6.6 Bağ Kirişli Dışındaki Kiriş Parçalarının Dayanım Kapasiteleri..... | 85        |
| <b>7. SONUÇLAR .....</b>                                               | <b>89</b> |
| <b>KAYNAKLAR.....</b>                                                  | <b>91</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>                                                   | <b>95</b> |

## **KISALTMALAR**

|                     |                                                               |
|---------------------|---------------------------------------------------------------|
| <b>AISC</b>         | : American Institute of Steel Construction                    |
| <b>AISC 327-12A</b> | : AISC Seismic Design Manual, 2nd                             |
| <b>AISC 341-10</b>  | : 2010 AISC Seismic Provisions for Structural Steel Buildings |
| <b>AISC 360-10</b>  | : 2010 AISC Specification for Structural Steel Buildings      |
| <b>ASCE</b>         | : American Society of Civil Engineers                         |
| <b>ASCE 7-10</b>    | : Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures     |
| <b>ASD</b>          | : Allowable Strength Design                                   |
| <b>ASTM</b>         | : American Society for Testing and Materials                  |
| <b>OpenSEES</b>     | : Open System for Earthquake Engineering Simulation           |
| <b>LRFD</b>         | : Load and Resistance Factor Design                           |
| <b>SAP2000</b>      | : Structural Analysis Program                                 |



## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

|              |                                                             |    |
|--------------|-------------------------------------------------------------|----|
| Çizelge 3.1  | : Düşey yükler .....                                        | 15 |
| Çizelge 3.2  | : Deprem yükü hesabı.....                                   | 19 |
| Çizelge 3.3  | : Çerçeve payına düşen deprem yükü hesabı.....              | 20 |
| Çizelge 3.4  | : Yüksekliğe bağlı hız basıncı değerleri .....              | 21 |
| Çizelge 3.5  | : Duvar dış basınç katsayısı .....                          | 21 |
| Çizelge 3.6  | : Rüzgar tasarım yükü .....                                 | 23 |
| Çizelge 3.7  | : X doğrultusu yerdeğiştirmeleri .....                      | 28 |
| Çizelge 3.8  | : Planda yapı düzensizlikleri.....                          | 29 |
| Çizelge 3.9  | : Düşeyde yapı düzensizlikleri.....                         | 31 |
| Çizelge 3.10 | : Burulma büyütme katsayısı .....                           | 32 |
| Çizelge 3.11 | : Stabilite faktörü( $\theta$ ).....                        | 33 |
| Çizelge 3.12 | : Bağ kirişi dönme açıları .....                            | 34 |
| Çizelge 3.13 | : İkinci ve birinci mertebe yerdeğiştirme ve oranları ..... | 35 |
| Çizelge 3.14 | : Modellerde kullanılan kesitler ve oranları.....           | 36 |
| Çizelge 5.1  | : Modellerin SAP2000 ve OpenSEES periyotları.....           | 69 |



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

|            |                                                                                                   |    |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 3.1  | : Bağ kirişi eğilme momenti ve kesme kuvveti. ....                                                | 12 |
| Şekil 3.2  | : Plan görünüşü (Model 1). ....                                                                   | 13 |
| Şekil 3.3  | : 1 aksı görünüşü (Model 1). ....                                                                 | 14 |
| Şekil 3.4  | : Dışmerkez çelik çaprazlı çerçeve modelleri. ....                                                | 15 |
| Şekil 3.5  | : Hesap modeli genel görünüşü. ....                                                               | 25 |
| Şekil 3.6  | : Hesap modeli enkesiti(6 aksı). ....                                                             | 25 |
| Şekil 3.7  | : Hesap modeli plan görünüşü. ....                                                                | 26 |
| Şekil 3.8  | : Bağ kirişi dönme açısı[2]. ....                                                                 | 34 |
| Şekil 4.1  | : Dışmerkez çaprazlı çelik çerçeve sistemi mekanizma durumu[35]. ....                             | 39 |
| Şekil 4.2  | : Modellere etkiyen yatay kuvvetler ve mekanizma durumları. ....                                  | 40 |
| Şekil 4.3  | : Yatay kuvvetin aktarılması[38]. ....                                                            | 41 |
| Şekil 4.4  | : Model 1 için yatay kuvvetin aktarılması. ....                                                   | 41 |
| Şekil 5.1  | : Bağ kirişi davranış modeli[39]. ....                                                            | 68 |
| Şekil 5.2  | : Paralel bağlı yay davranış[40]. ....                                                            | 68 |
| Şekil 5.3  | : Dışmerkez çaprazlı çelik çerçeve analitik modeli. ....                                          | 70 |
| Şekil 6.1  | : Elastik olmayan kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi[2]. ....                                            | 71 |
| Şekil 6.2  | : Tüm modellere ait kapasite eğrisi. ....                                                         | 72 |
| Şekil 6.3  | : Model 1 için görel kat ötelemesi oranları. ....                                                 | 73 |
| Şekil 6.4  | : Model 2 için görel kat ötelemesi oranları. ....                                                 | 73 |
| Şekil 6.5  | : Model 3 için görel kat ötelemesi oranları. ....                                                 | 74 |
| Şekil 6.6  | : Model 4 için görel kat ötelemesi oranları. ....                                                 | 74 |
| Şekil 6.7  | : Model 5 için görel kat ötelemesi oranları. ....                                                 | 75 |
| Şekil 6.8  | : Model 1 bağ kirişlerinin V/Vp oranları. ....                                                    | 76 |
| Şekil 6.9  | : Model 1 bağ kirişlerindeki dönme açıları. ....                                                  | 76 |
| Şekil 6.10 | : Model 2 bağ kirişlerinin V/Vp oranları. ....                                                    | 77 |
| Şekil 6.11 | : Model 2 bağ kirişlerindeki dönme açıları. ....                                                  | 77 |
| Şekil 6.12 | : Model 3 bağ kirişlerinin V/Vp oranları. ....                                                    | 78 |
| Şekil 6.13 | : Model 3 bağ kirişlerindeki dönme açıları. ....                                                  | 78 |
| Şekil 6.14 | : Model 4 bağ kirişlerinin V/Vp oranları. ....                                                    | 79 |
| Şekil 6.15 | : Model 4 bağ kirişlerindeki dönme açıları. ....                                                  | 79 |
| Şekil 6.16 | : Model 5 bağ kirişlerinin V/Vp oranları. ....                                                    | 80 |
| Şekil 6.17 | : Model 5 bağ kirişlerindeki dönme açıları. ....                                                  | 80 |
| Şekil 6.18 | : Model 1 kolonlarının eksenel kuvvet-moment etkileşimi altında<br>istem/kapasite oranları. ....  | 81 |
| Şekil 6.19 | : Model 2 kolonlarının eksenel kuvvet-moment etkileşimi altında<br>istem/kapasite oranları. ....  | 81 |
| Şekil 6.20 | : Model 3 kolonlarının eksenel kuvvet-moment etkileşimi altında<br>istem/kapasite oranları. ....  | 82 |
| Şekil 6.21 | : Model 4 kolonlarının eksenel kuvvet-moment etkileşimi altında<br>istem/kapasite oranları. ....  | 82 |
| Şekil 6.22 | : Model 5 kolonlarının eksenel kuvvet-moment etkileşimi altında<br>istem/kapasite oranları. ....  | 83 |
| Şekil 6.23 | : Model 1 çaprazlarının eksenel kuvvet-moment etkileşimi altında<br>istem/kapasite oranları. .... | 83 |
| Şekil 6.24 | : Model 2 çaprazlarının eksenel kuvvet-moment etkileşimi altında<br>istem/kapasite oranları. .... | 84 |

|                                                                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 6.25 :</b> Model 3 çaprazlarının aksenal kuvvet-moment etkileşimi altında istem/kapasite oranları..... | 84 |
| <b>Şekil 6.26 :</b> Model 4 çaprazlarının aksenal kuvvet-moment etkileşimi altında istem/kapasite oranları..... | 85 |
| <b>Şekil 6.27 :</b> Model 5 çaprazlarının aksenal kuvvet-moment etkileşimi altında istem/kapasite oranları..... | 85 |
| <b>Şekil 6.28 :</b> Model 1 bağ kirişleri dışında kalan kiriş parçaları için istem/kapasite oranları.....       | 86 |
| <b>Şekil 6.29 :</b> Model 2 bağ kirişleri dışında kalan kiriş parçaları için istem/kapasite oranları.....       | 86 |
| <b>Şekil 6.30 :</b> Model 3 bağ kirişleri dışında kalan kiriş parçaları için istem/kapasite oranları.....       | 87 |
| <b>Şekil 6.31 :</b> Model 4 bağ kirişleri dışında kalan kiriş parçaları için istem/kapasite oranları.....       | 87 |
| <b>Şekil 6.32 :</b> Model 5 bağ kirişleri dışında kalan kiriş parçaları için istem/kapasite oranları.....       | 88 |

## SEMBOL LİSTESİ

|                       |                                                                        |
|-----------------------|------------------------------------------------------------------------|
| $e$                   | : bağ kirişi uzunluğu (boyu)                                           |
| $L$                   | : çerçeve açıklığı                                                     |
| $M$                   | : eğilme momenti                                                       |
| $V$                   | : kesme kuvveti                                                        |
| $I_e$                 | : yapı önem katsayısı                                                  |
| $R$                   | : taşıyıcı sistem davranış katsayısı                                   |
| $C_d$                 | : deplasman büyütme katsayısı                                          |
| $S_s$                 | : kısa periyotlar için öngörülen maksimum spektral ivme                |
| $S_1$                 | : 1 saniyelik periyot için öngörülen maksimum spektral ivme            |
| $F_a$                 | : kısa periyot arazi katsayısı (0.2 s'de)                              |
| $F_v$                 | : uzun periyot arazi katsayısı (1.0 s'de)                              |
| $S_{MS}$              | : kısa periyot için düzeltilmiş maksimum deprem spektral ivmesi        |
| $S_{M1}$              | : 1 saniyelik periyot için düzeltilmiş maksimum deprem spektral ivmesi |
| $S_{DS}$              | : kısa periyot için tasarım depremi spektral ivme değeri               |
| $S_{D1}$              | : 1 saniyelik periyot için tasarım depremi spektral ivme değeri        |
| $T_a$                 | : doğal titreşim periyodu yaklaşık değeri                              |
| $h_n$                 | : bina yüksekliği                                                      |
| $C_t$                 | : yaklaşık doğal titreşim periyodu parametresi                         |
| $x$                   | : yaklaşık doğal titreşim periyodu parametresi                         |
| $T_{a,u}$             | : yaklaşık doğal titreşim periyodu üst sınırı                          |
| $C_u$                 | : üst limit katsayısı                                                  |
| $C_s$                 | : deprem davranış katsayısı                                            |
| $w_i$                 | : kat ağırlığı                                                         |
| $V$                   | : taban kesme kuvveti                                                  |
| $C_{vx}$              | : düşey doğrultuda dağıtım katsayısı                                   |
| $w_i$                 | : i katındaki toplam etkin deprem kütlesi                              |
| $w_x$                 | : x katındaki toplam etkin deprem kütlesi                              |
| $h_i$                 | : zemin katından itibaren kat yüksekliği                               |
| $h_x$                 | : zemin katından itibaren kat yüksekliği                               |
| $k$                   | : yapı periyodu ile ilgili üs                                          |
| $K_d$                 | : rüzgar doğrultu katsayısı                                            |
| $K_{zt}$              | : topoğrafik katsayı                                                   |
| $V$                   | : temel rüzgar hızı                                                    |
| $K_z$                 | : rüzgar basıncı maruz kalma katsayısı                                 |
| $q_z$                 | : hız basıncı                                                          |
| $C_p$                 | : dış basınç katsayısı                                                 |
| $GC_{pi}$             | : iç basınç katsayısı                                                  |
| $G$                   | : türbülans katsayısı                                                  |
| $D$                   | : sabit düşey yük                                                      |
| $L$                   | : hareketli yük                                                        |
| $W$                   | : rüzgar yükü                                                          |
| $L_r$                 | : çatı hareketli yükü                                                  |
| $S$                   | : kar yükü                                                             |
| $R$                   | : yağmur yükü                                                          |
| $E$                   | : deprem yükü                                                          |
| $\delta_{xe}$         | : x'inci katın elastik yerdeğiştirmesi                                 |
| $\delta_x$            | : x'inci katın arttırılmış yatay yerdeğiştirmesi                       |
| $\Delta_x$            | : x'inci katın görelî kat yerdeğiştirmesi                              |
| $\delta_{x-1}$        | : x-1'inci katın arttırılmış yatay yerdeğiştirmesi                     |
| $\Delta_{x,ortalama}$ | : x'inci katın ortalama görelî kat yerdeğiştirmesi                     |
| $\Delta_{x,maksimum}$ | : x'inci katın maksimum görelî kat yerdeğiştirmesi                     |
| $\Delta_{x,sınır}$    | : x'inci kat için izin verilen görelî kat yerdeğiştirmesi              |

|               |                                                                                                                       |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $h_{sx}$      | : x'inci katın bir alt kat yüksekliği                                                                                 |
| $A_x$         | : burulma etkisi büyütme katsayısı                                                                                    |
| $\theta$      | : stabilite faktörü                                                                                                   |
| $P_x$         | : x'inci katın üzerindeki toplam düşey dizayn yükü                                                                    |
| $\Delta$      | : $V_x$ 'e karşı gelen etkin görelî kat yerdeğiştirmesi                                                               |
| $V_x$         | : x'inci ve x-1'inci katlar arasına etki eden deprem kesme kuvveti                                                    |
| $\theta_p$    | : plastik görelî kat ötelemesi açısı                                                                                  |
| $\Delta_p$    | : plastik görelî kat ötelemesi                                                                                        |
| $h$           | : kat yüksekliği                                                                                                      |
| $\gamma_p$    | : plastik bağ kirişi dönme açısı                                                                                      |
| $V_u$         | : gerekli kesme dayanımı                                                                                              |
| $P_r$         | : gerekli eksenel kuvvet dayanımı                                                                                     |
| $P_{nt}$      | : yatay yerdeğiştirmesi önlenmiş sistem elemanında düşey yüklerden oluşan birinci mertbe eksenel kuvvet               |
| $B_2$         | : yapının ilgilenilen katında ve yatay öteleme doğrultusunda P- $\Delta$ etkisini hesaba katan büyütme katsayısı      |
| $P_{lt}$      | : yatay yerdeğiştirmesi önlenmemiş sistem elemanında yatay yüklerden oluşan birinci mertbe eksenel kuvveti            |
| $M_r$         | : gerekli moment dayanımı                                                                                             |
| $B_1$         | : basınç ve eğilme etkisindeki elemanda etkisini hesaba katan katsayı                                                 |
| $M_{nt}$      | : yatay yerdeğiştirmesi önlenmiş sistem elemanında düşey yüklerden oluşan birinci mertbe moment                       |
| $M_{lt}$      | :yatay yerdeğiştirmesi önlenmemiş sistem elemanında yatay yüklerden oluşan birinci mertbe moment                      |
| $C_m$         | : momentin eleman boyunca olan yayılışını dikkate alan katsayı                                                        |
| $\alpha$      | : dayanım katsayısına göre tasarım katsayısı                                                                          |
| $P_r$         | : gerekli eksenel kuvvet dayanımı                                                                                     |
| $P_{e1}$      | : kolon elastik burkulma dayanımı                                                                                     |
| $E$           | : elastisite modülü                                                                                                   |
| $I$           | : enkesit atalet momenti                                                                                              |
| $K$           | : etkili uzunluk katsayısı-burkulma katsayısı                                                                         |
| $L$           | : eleman boyu                                                                                                         |
| $P_{story}$   | : ilgili yükleme kombinasyonu altında ilgili kata etkiyen toplam düşey yük                                            |
| $P_{e,story}$ | : dikkate alınan yatay öteleme doğrultusunda ilgili kat için elastik burkulma dayanımı                                |
| $H$           | : dikkate alınan yatay yerdeğiştirme doğrultusunda $\Delta_H$ değerinin elde edilmesinde kullanılan kat kesme kuvveti |
| $L$           | : kat yüksekliği                                                                                                      |
| $\Delta_H$    | : dikkate alınan yatay öteleme doğrultusunda ilgilenilen katın birinci mertbe görelî kat ötelemesi                    |
| $P_{mf}$      | : ilgili kat kolonlarındaki toplam düşey yük                                                                          |
| $b$           | : başlık genişliği                                                                                                    |
| $t_f$         | : başlık kalınlığı                                                                                                    |
| $F_y$         | : akma gerilmesi                                                                                                      |
| $h$           | : gövde yüksekliği                                                                                                    |
| $t_w$         | : gövde kalınlığı                                                                                                     |
| $P_y$         | : eksenel akma kuvveti dayanımı                                                                                       |
| $A_g$         | : eleman enkesit alanı                                                                                                |
| $A_{tw}$      | : kayma alanı                                                                                                         |
| $V_p$         | :akma sınır durumu için plastik kesme kuvveti kapasitesi                                                              |
| $M_p$         | : akma sınır durumu için plastik eğilme momenti kapasitesi                                                            |
| $V_n$         | :karakteristik kesme kuvveti dayanımı                                                                                 |
| $P_n$         | : karakteristik eksenel kuvvet dayanımı                                                                               |
| $F_e$         | : eğilmeli burkulma durumunda elastik gerilme                                                                         |
| $F_{cr}$      | : kritik gerilme                                                                                                      |

|           |                                                                    |
|-----------|--------------------------------------------------------------------|
| $P_{e1x}$ | : eksenine dik doğrultuda kolon elastik burkulma dayanımı          |
| $P_{e1y}$ | : eksenine dik doğrultuda kolon elastik burkulma dayanımı          |
| $L_b$     | : elemanın yanal doğrultudaki destekli noktaları arasındaki mesafe |
| $L_p$     | : eleman yanal mesnet aralığı limit durum değeri                   |
| $L_r$     | : eleman yanal mesnet aralığı limit durum değeri                   |
| $Z$       | : plastik mukavemet momenti                                        |
| $r_y$     | : enkesitin y-y eksenine göre atalet yarıçapı                      |
| $h_0$     | : profil başlıklarının ağırlık merkezleri arasındaki mesafe        |
| $J$       | : burulma sabiti                                                   |
| $d$       | : enkesit toplam yüksekliği                                        |
| $S$       | : elastik mukavemet momenti                                        |
| $r_x$     | : enkesitin x-x eksenine göre atalet yarıçapı                      |
| $R_y$     | : olası akma gerilmesinin minimum akma gerilmesine oranı           |
| $r_{ts}$  | : etkin dönme yarıçapı                                             |



# **DIŞMERKEZ ÇAPRAZLI ÇELİK ÇERÇEVELERİN DOĞRUSAL OLMAYAN DAVRANIŞLARININ FARKLI BAĞ KİRİŞİ TEŞKİLLERİ İÇİN İNCELENMESİ**

## **ÖZET**

Yüksek lisans tezi olarak ele alınan bu çalışmada, farklı bağ kirişi teşkilleri ile düzenlenen dışmerkez çaprazlı çelik çerçeve sistemlerin doğrusal olmayan davranışları araştırılmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmalı olarak incelenmiştir. Bu amaçla tipik 10 katlı bir çelik binanın deprem kuvveti taşıyıcı sistemini oluşturan 5 tip dışmerkez çaprazlı çelik çerçeve farklı bağ kirişi teşkilleri için tasarlanmıştır. 3 boyutlu modellemesi SAP2000 bilgisayar programında yapılan sistemlerin ASCE 7-10, AISC 360-10 ve AISC 341-10'a göre analiz ve tasarımları gerçekleştirilmiştir. Daha sonrasında ise OpenSEES programı ile yapılan doğrusal olmayan statik itme (pushover) analizi sonucunda taban kesme ve tepe göreli kat öteleme değerleri kullanılarak grafikleri çizdirilen sistemlerin davranışları, kapasiteleri ve dayanım fazlalığı katsayıları (overstrength factor) karşılaştırılmıştır.

Literatür araştırmasına (Bölüm 2) bakıldığında bugüne kadar yapılmış akademik çalışmalarda ele alınan sistemler belirli tipteki dışmerkez çelik çaprazlı çerçevelerle sınırlı kalmıştır. Bu sebepten bu tezde farklı sistemler üzerine çalışılması akademik açıdan önem arz etmektedir.

Dışmerkez çaprazlı çelik çerçeve modellerini belirlerken AISC 341-10'da yapılan dışmerkez tanımı etkili olmuştur. Dışmerkez çaprazlı çelik çerçevelerde bağ kirişinin akma sınır durumuna ulaşması; kayma etkisiyle, eğilme ve kesme kuvvetinin ortak etkisiyle, eğilme momentinin etkisiyle olmak üzere üç şekilde gerçekleşir. Bu çalışmada plastik şekildeğiştirmelerin kayma etkisinde meydana gelmesi durumuna göre modelleme yapıp, sistemler tasarlanmıştır. Ayrıca eleman boyutlandırılmasına ikinci mertebe etkilerin dikkate alınması gerektiği AISC 360-10'da ifade edilmektedir. İkinci mertebe etkiler büyütme katsayıları ile hesaba katılmış ve yönetmelikte belirtilen üç yöntemden biri olan etkili uzunluk yöntemi (burkulma katsayıları metodu-effective length) kullanılmıştır.

Kullanılan yükler düşey ve yatay yükler olarak ikiye ayrılmıştır. Düşey yük tanımının içinde sabit ve hareketli yükler bulunmaktadır. Bu yüklerden sabit yükler herhangi bir yönetmeliğe ihtiyaç duyulmaksızın tasarımda kullanılacak malzemelere göre belirlenebilirken hareketli yüklerin alt limitleri ASCE 7-10 tarafından belirlenmiştir. Yatay yük kapsamında ele alınan rüzgar ve deprem yükleri de ASCE 7-10'a göre belirlenmiştir. Analiz sonucunda yapı düzensizliklerinden, stabilite faktörüne kadar yönetmelikte belirtilen ilgili tüm kontroller yapılmıştır.

Dışmerkez çaprazlı çelik çerçevelerin boyutlandırılmasında bağ kiriş plastikleştiğinde bağ kirişi dışında kalan kiriş, kolon ve çaprazların elastik bölgede kalması beklenmektedir. Bu durumun sağlanabilmesi için bağ kirişi dışındaki elemanların üzerinde deprem etkisiyle oluşan kuvvetler, bağ kirişinin beklenen kesme kuvveti kapasitesinin deprem yükleri dolayısıyla bağ kirişi üzerinde oluşan kesme kuvvetine oranı nispetinde artırılmıştır.

Kesitleri belirlenen sistemler OpenSEES programında modellenirken SAP2000'de kurulan modellere uygunluğu periyotların karşılaştırılması ile kontrol edilmiştir. Modellemenin ardından doğrusal olmayan statik itme analizi ile tüm sistemler için

taban kesme kuvveti ve tepe noktasının görelî kat ötelemesi grafikleri ile sistem elemanları için istem/kapasite oranları elde edilmiştir. Kapasite, yerdeğiştirme, baē kirişi plastik dönme açıları belirlenip karşılaştırmaları yapılmıştır.

# INVESTIGATION OF NONLINEAR BEHAVIOUR OF ECCENTRICALLY BRACED FRAMES WITH DIFFERENT LINK CONFIGURATION

## SUMMARY

Five different samples of eccentrically braced frames by a vertical plane with a height of 30.5 m and a length of 35 m at each direction in the horizontal plane were modeled using SAP2000 computer program and analyzed and designed based on ASCE 7-10, AISC 360-10, and AISC 341-10.

In determining the models, the same link length and all the loads, with no period effect were used to rule out potential effects of circumstances excluding the configuration. Then, based on the nonlinear pushover analysis via OpenSEES program, and using base shear- roof drift curves, the behaviors, capacity, and overstrength factors of these systems were compared.

In the light of the literature review provided in Part 2, the systems defined in earlier studies have been limited to typical eccentrically braced frames. Thus, this study may provide important information on different systems.

In describing the models of eccentrically braced frames, the definition of eccentricity in AISC 341-10 has been influential, and all the models have been based on this definition.

Yielding of the link beam in eccentrically braced frame occurs in three forms due to variations in the elements; shear yielding, flexural yielding and combination of shear and flexural yielding. In this study, modeling was made according to shear yielding state and hence, the systems were designed. Length of the link beam is smaller than  $1.6M_p/V_p$ , it is contained that the strain hardening effects of moment and shear capacity of the beam.

Furthermore, AISC 360-10 advocates involvement of second order effects in element sizing. There are three types of design methods in AISC 360-10: direct analysis method, effective length method and first-order analysis method. Second order effects were considered within amplification factors and one of the three methods, effective length method, has been used as described in the regulations. To be able to use this method, it was proven that the ratio of maximum second-order drift to maximum first order drift is less than 1.5 for all type of eccentrically braced frame structures.

Moreover, all deformations (axial member, flexural member and shear member), uncertainty in stiffness and strength, stiffness reductions (residual stress and plasticity) and geometric imperfections were considered. According to AISC 360-10 the effective length factor,  $K$ , was taken as 1.0 because of braced frames system.

Initial imperfections were taken into account by applying notional loads as mentioned in the regulation (AISC 360-10). It is considered 0.2% of the total gravity load (LRFD) at each level.

Load and Resistance Factor Design (LRFD) and Allowable Stress Design (ASD) are the two methods which are presented by AISC. Load and resistance factor design approach was used. Load combinations were determined based on LRFD in ASCE 7-10.

All connections of columns and braced to their foundations are pinned. Braced to link beam connections are rigid (fixed). ASTM A992 was used as a material. Secondary

beams have pinned connections. Floor diaphragms are assumed and modeled as a rigid diaphragm without any discontinuities.

The loads used have been categorized as horizontal and vertical. The definition of vertical load involves loads of dead and live. While the dead loads can be used based on the materials to be used in the design without a requirement for regulations, the lower limits of live loads are defined by ASCE 7-10. The calculations of earthquake and wind loads considered horizontal loads are also defined in the relevant sections of ASCE 7-10.

All structures were thought in the same seismic and wind region, so all of the parameters related to wind and seismic calculation were assumed the same. 5% additional eccentricity at each story was taken into account in 3D analysis. Seismic design category was determined as E for the models. The earthquake loads contain 100% of forces for one direction (x or y) plus 30% of forces for another direction (y or x). Directional procedure was used for wind loads. Basic wind speed was determined from a given map in ASCE 7-10 and taken into account as a 100mph.

It was checked that displacements and second order effects are within the limits of the regulations based on the results of analyses. The definition of irregularities contains vertical and horizontal structural irregularities. Also, all irregularities which is defined in ASCE 7-10 were checked.

Lateral load resisting systems have different energy dissipation mechanisms. In eccentrically braced frame which is one of the lateral load resisting systems, ductility and energy dissipation capacity depends on link beams. Inelastic deformation of link beam will be expected during an earthquake occurs, therefore plastic link rotation capacity is an important property of eccentrically braced frame structures.

In sizing of the eccentrically braced frames, when the plasticity of link beam parts occur, the beam that remains outside the link beam, column, and braced are expected to remain in the elastic area. To ensure this, the forces that occur on the elements except link beam have been increased at ratio of expected shear capacity over shear force that develops on the link beam due to earthquake effects. Because of this,  $B_2$  was equal to 1.

Since all sections used as a column and braced have to ensure highly ductile section property, these sections were controlled in according to AISC 341-10. According to AISC 341-10 links whose length are smaller than  $1.6M_p/V_p$  are permitted to meet moderately ductile members' section requirement.

The link beam had been designed and its section had been determined. Then the expected shear capacity of the link was determined using with  $R_y$ , the ratio of expected yield strength to minimum specified yield strength, and ratio of expected shear capacity over shear force that develops on the link beam due to earthquake effects were determined. At the same time, columns' axial forces were estimated based on the failure mode of the structures.

To built up nonlinear model in 3D (6 degree of freedom); coordinate system was defined, and node coordinates of models were determined in this system. Material and section properties were defined. After determining which elements should be used, elements with convenient sections were defined by connecting the relevant nodes. Before the pushover loads had been defined, static vertical loads and mass were assigned.

As the systems, the sections of which were determined, were modeled by OpenSEES computer program, their conformity to the model set by SAP2000 computer program was checked by comparison of the periods. After model development, using nonlinear static pushover analysis, base shear- roof displacement curves for all the systems and demand/capacity ratios for system elements were obtained. Demand/capacity ratio of column and braced were determined under compression force and moment interaction.

As a results, it occurred that some of link rotations are larger than 0.08 rad which is determined by AISC 341-10. It had been observed in different academic studies before. As it has been assumed before, inelastic behavior of link beam was controlled by shear yielding and all parts of structures were remain elastic. Overstregh factors of these eccentrically braced frames were determined and compared to each other.



## 1. GİRİŞ

Yapı taşıyıcı sisteminin betonarme, çelik veya kompozit olarak seçilmesi mimari kısıtlamalardan ekonomik koşullara kadar birçok parametreye bağlı olarak değişmekle beraber kullanılan malzeme ne olursa olsun tüm yapılar yatay ve düşey yükler altında belirli varsayımlarla beraber ilgili yönetmeliklere uygun olarak tasarlanmaktadır.

Mühendislikte en önemli noktalardan bir tanesi de varsayımlardır. Belirli varsayımlar altında sistemler tasarlanır ve sonuçlara ulaşılır. Sonuçların doğruluğu ise yapılan varsayımların gerçek duruma yakınlığındaki başarısıyla doğru orantılıdır.

Yapı tasarımında bir diğer husus ise yapıların enerji sönümleme kapasitelerinin yüksek olmasının beklenmesi ve bu amaçla boyutlandırılmasıdır. Her sistemde enerji sönümleme mekanizması farklı çalışmaktadır, burada incelenecek konu ise çelik binalar için deprem yükü taşıyıcı sistemlerden bir tanesi olan dışmerkez çaprazlı çelik çerçevelerdir. Bu sistemlerde enerji sönümlenmesinin bağ kirişlerinin plastik şekildeğiştirmesi ile gerçekleştiği varsayılmaktadır.

### 1.1 Tezin Amacı ve Kapsam

Bu çalışmanın amacı, farklı bağ kirişi teşkilleri ile düzenlenen dışmerkez çaprazlı çelik çerçeve sistemlerin doğrusal olmayan davranışlarının araştırılması ve elde edilen sonuçların karşılaştırılmalı olarak incelenmesidir. Bu amaçla tipik 10 katlı bir çelik binanın deprem kuvveti taşıyıcı sistemini oluşturan 5 tip dışmerkez çaprazlı çelik çerçeveler farklı bağ kirişi teşkilleri için tasarlanmıştır.

Tasarım, ASCE 7-10[1], AISC 341-10 [2] ve AISC 360-10'da [3] verilen esaslar çerçevesinde SAP2000 [4] bilgisayar yazılımından yararlanılarak gerçekleştirilmiştir. Doğrusal olmayan statik itme analizleri 3 boyutlu yapı sistemine eşdeğer iki boyutlu analitik modeller geliştirilerek OpenSEES[5] bilgisayar yazılımı ile yapılmıştır.

Elde edilen sonuçlar, yapı performansı kapsamında değerlendirilerek karşılaştırılmalı olarak sunulmuştur.

## 1.2 Tezin Organizasyonu

Bölüm 2’de dışmerkez çaprazlı çelik çerçeve sistemlerle ilgili olarak yürütülen çalışmaların bilimsel katkıları ifade edilmektedir.

Bölüm 3, çalışma kapsamında boyutlandırılarak doğrusal olmayan statik itme analizleri gerçekleştirilen dışmerkez çaprazlı çelik çerçeve modellerinin tasarım esaslarını içermektedir.

5 tip olarak öngörülen dışmerkez çaprazlı çelik çerçevelerin tasarımına yönelik hesap adımları ile kapasite tasarımı esaslarının uygulandığı elemanların boyutlandırılması Bölüm 4’te verilmektedir.

Çelik binayı temsil edecek şekilde, OpenSEES [5] bilgisayar yazılımı kullanılarak geliştirilen iki boyutlu dışmerkez çaprazlı çelik çerçeve modellerinin detayları Bölüm 5’te verilmiştir. Yapısal elemanlar için kullanılan malzeme ve davranış modelleri de bu bölümde yer almaktadır.

Bölüm 6 her bir dışmerkez çaprazlı çelik çerçevenin OpenSEES [5] ile gerçekleştirilen doğrusal olmayan statik itme analizi ve sonuçlarını içermektedir. Göreli kat ötelemelerinin %2 ile sınırlandırılması suretiyle elde edilen bu bölümde kolonlar, bağ kirişleri, çaprazlar ve bağ kirişi dışında kalan kiriş bölümlerinin istem/kapasite oranları da bu bölümde sunulmaktadır.

Tez çalışması kapsamında amaca yönelik olarak elde edilen sonuçlar Bölüm 7’de verilmektedir.

## **2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI**

Bu bölümde, dışmerkez çaprazlı çelik çerçeve sistemlerle ilgili mevcut çalışmaların başlıcaları özetlenmiştir.

### **2.1 Ahmet ve Cem (2015)**

Bu nümerik çalışmada, bağ kirişi dönme açısı için rijit plastik mekanizma kullanılarak ASCE 7-10'da dışmerkez çaprazlı çelik perdeler için verilen deplasman büyütme katsayısı incelenmiştir. 72 adet model; kat sayısı, açıklık, bağ kirişi boyunun açıklığa oranı gibi durumlar dikkate alınarak boyutlandırılmıştır. Deplasman ve bağ kirişi dönme açısına ilişkin sonuçlara yer verilmiştir[6].

### **2.2 Ahmet ve Cem (2014)**

Dışmerkez çaprazlı çelik çerçeve sistemler başta olmak üzere tüm bina yapılarının temel titreşim periyodunun basit hesap ile tahmin edilebilmesine yönelik ifadelerin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Geliştirilen metot Rayleigh yöntemini esas almakta ve deprem yükü altındaki tepe yerdeğiştirmesini ise parametre olarak kullanmaktadır[7].

### **2.3 Taichiro ve Diğerleri (2014)**

Bu çalışma, dışmerkez çaprazlı çelik çerçevelerde bağ kirişi-kolon bağlantılarında büyük tekrarlı yükler altında yeterli plastik dönme kapasitesinin elde edilebilmesi amacıyla detaylandırılan iki bağ kirişi-kolon birleşimi için yürütülen araştırmayı kapsamaktadır. Yapılan deneysel çalışmalar sonunda birleşimin yeterli dönme kapasitesine sahip olduğu gösterilmiştir[8].

### **2.4 Liusheng ve Diğerleri (2014)**

Bağ kirişinde düşük akma gerilmesine sahip, diğer elemanlar da ise yüksek dayanımlı çelik malzemenin kullanıldığı K-tipi dışmerkez çaprazlı çelik çerçeve sistemin tek

doğrultuda artan ve tekrarlı yükler altında test edildiği deneysel bir çalışmadır. Sonuçlar, bu yeni yapı sisteminin sünek davranış göstererek yeterli enerji sönümleme kapasitesine sahip olduğunu ve enerjinin kayma kapasitesine ulaşarak sönümlenmesinin, sönümlenen enerji miktarına göre diğer durumlardan daha başarılı olduğu belirtilmektedir. Tekrarlı yükler altındaki esas göçmenin bağ kirişlerinde oluştuğu ve sistemin geri kalanının elastik bölgede kaldığı ifade edilmektedir[9].

## **2.5 Chiyun ve Kai (2014)**

İki adet U profilden oluşan ve döşeme kirişlerine bağlantısı bulonlar vasıtasıyla yapılan değiştirilebilir bağ kirişinin tekrarlı yükleme altındaki davranışı, avantajları ve çalışma mekanizması incelenmiştir. Deprem performansının ve şekildeğiştirme performansının yeterli düzeyde olduğu belirtilmektedir[10].

## **2.6 Saeed ve Hosein (2014)**

Düşey bağ kirişlerinde özel bir alaşımın kullanıldığı çerçeve sistemlerin davranışları 4, 9 ve 14 katlı binalar üzerinde analitik olarak incelenmiştir. Yapılan çalışma, süneklikteki etkin artışın yanında, rijitlik ve dayanımda da artışların gözlemlendiğini göstermiştir. Mükemmel bir çevrimsel davranış sağlamış, maksimum görelî kat ötelemesi ve kalıcı deformasyonların azaldığı ifade edilmiştir[11].

## **2.7 Timothy (2013)**

Direkt yerdeğiştirme yöntemine göre tasarımı yapılmış dışmerkez çelik çaprazlı sistemler zaman tanım alanında lineer olmayan analizle incelenmiş ve yöntemin performansı ölçülmüştür. İyi detaylandırılmış bağ kirişlerinin lokal olarak yüksek süneklik kapasitelerine sahip olmalarına rağmen, modellerin süneklik kapasitelerinin nispeten düşük olma eğiliminde olduğu belirtilmiştir. Ayrıca yerdeğiştirme kapasitesinin yüksek katlı binalarda artma eğiliminde olduğu belirtilerek, süneklik kapasitesinin yükseklikle azalma eğiliminde olmasının negatif etki oluşturacak şeklinde ele alınmaması gerektiği ifade edilmiştir[12].

## **2.8 Ahmet ve Cem (2013)**

Dışmerkez çaprazlı çelik çerçevelerde geometrik faktörler ile depremsellik durumlarının dayanım fazlalığı üzerine etkilerinin incelendiği parametrik çalışmanın yapılabilmesi için geliştirilen program algoritması ile 16640 adet çerçeve incelenmiştir. Ortalama dayanım fazlalığı değerinin yönetmelikçe belirlenen değerin üzerinde olduğu ifade edilmiştir. Dayanım fazlalığının öncelikle bağ kirişi boyunun çerçeve açıklığına oranından ve çerçeve açıklığından etkilendiği, ikincil olarak ise bina yüksekliği ve deprem düzeyinden etkilendiği ifade edilmektedir[13].

## **2.9 Melina ve Pier P. (2013)**

Dışmerkez çaprazlı çelik çerçeve ve moment çerçevesinden oluşan karma (dual) sistem, geleneksel dışmerkez çaprazlı çelik çerçevelerin deprem davranışlarını geliştirmek üzere incelenmiştir. Kuvvet esaslı tasarım yaklaşımı ile kapasite esaslı tasarım yaklaşımını takip eden bir tasarım prosedürü karma sistemler için tasarlanmış ve detaylar paylaşılmıştır[14].

## **2.10 Melina ve Pier P. (2013)**

Karma dışmerkez çaprazlı çelik perdelerle alakalı yayınlarında[14] belirledikleri yöntemin doğruluğunu amaçlayan nümerik örnekler incelenmiştir[15].

## **2.11 Yanglin ve Diğerleri (2013)**

Çelik yapılar için optimal kapasite esaslı dizayn metodu, lineer olmayan analiz yöntemi kullanılarak araştırılmıştır. Araştırmanın sınırlarını elemanların plastik deformasyon kapasiteleri ile görelî kat ötelemeleri belirlemiş olup üç katlı dışmerkez çaprazlı çelik çerçeve sistem için dizayn metodundan detaylı olarak bahsedilmiştir[16].

## **2.12 Yavuz ve Diğerleri (2013)**

Zaman tanım alanında lineer olmayan hesap yöntemi kullanılarak DBYBHY-2007'e göre boyutlandırılmış 6 katlı dışmerkez çaprazlı çelik perde sistemin deprem performansı incelenmiştir[17].

### **2.13 Flavia (2012)**

Tek açıklıklı ve 10 katlı olan dört farklı dışmerkez çaprazlı çelik çerçeve sistemin Romanya ve Amerikan yönetmelikleri açısından davranışı statik ve dinamik analizler yapılarak incelenmiştir. Dışmerkez çelik çaprazlı sistemlerin avantaj ve dezavantajları ile mühendislik pratiğindeki uygulamaları ifade edilmiştir[18].

### **2.14 Xiuzhen ve Diğerleri (2011)**

Yeni ve geleneksel D-tipi dışmerkez çaprazlı çelik çerçeve sistemlerin tekrarlı yükler altında incelendiği deneysel bir çalışmadır. Yeni sistemin akma sınır durumuna daha geç ulaştığı, deprem enerjisinin ve bağ kirişini kopmasının (breakage) azaldığı belirtilmiştir. Ayrıca süneklik ve yeterli dayanıma sahip olduğundan bahsedilmektedir[19].

### **2.15 Ying ve Diğerleri (2011)**

Üç farklı tipteki (D,K,Y) dışmerkez çaprazlı çelik çerçeve sistemin deprem etkisindeki davranışları SAP2000 programında hazırlanan 20 katlı çerçeve örneklerinin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizi ile incelenmiştir[20].

### **2.16 Nabil ve Diğerleri (2011)**

İki farklı değiştirilebilir bağ kirişi örneğinin inelastik davranışı; kesit profili, birleşim detayı, kaynak detayı gibi durumlar dikkate alınarak test edilmiştir. Bağ kirişinin oldukça iyi sünek davranış sergilemiş olduğu ifade edilmektedir[21].

### **2.17 C. Kerem ve Diğerleri (2011)**

Dışmerkez çaprazlı çelik çerçeve sistemlerin gelecek performansının değerlendirilmesi amacıyla, bağ kirişinin kayma kritik ve eğilme kritik durumu için kırılma fonksiyonu geliştirilmiştir. Seksen iki bağ kirişinin test edilmesiyle araştırma ve istatistiki olarak geliştirilen bu fonksiyonda, orta uzunluklu bağ kirişleri içinse interpolasyon yapılmıştır[22].

### **2.18 Thomas A. ve Dina (2011)**

Yatay yük taşıyıcı sistemi dışmerkez çaprazlı çelik çerçeve olan yüksek katlı bir binada performans esaslı tasarım yaklaşımı incelenmiştir[23].

### **2.19 Paul W. (2010)**

Dışmerkez çaprazlı çelik çerçeveli sistemlerin rijitliği; kat kesme kuvveti, çerçeve geometrisi ve kiriş derinliği açısından incelenmiştir. Bağ kirişi dönme açısı ve görelî kat ötelemelerinin ön tasarım aşamasında yönetmeliklerce verilen sınırlar içinde kalmasını sağlayacak kesitlerin bulunmasından bahsedilmektedir[24].

### **2.20 Sanda ve Simona (2010)**

Kanada'nın Montreal ve Vancouver şehirlerinde yer alması planlanan on dört, yirmi ve yirmi beş katlı dışmerkez çaprazlı çelik çerçeveli binaların depremsel davranışı incelenmiştir. Sistemlerin eleman kesitlerinin seçilmesinde süneklikten ziyade inelastik görelî kat ötelemesi açısının daha etkin olduğu ifade edilmektedir[25].

### **2.21 Taichiro ve Diğerleri (2009)**

Dışmerkez çaprazlı çelik çerçevelerde bağ kirişi ile kolon arasındaki birleşimi incelemek üzere; bağ kiriş uzunluğuna, birleşim detayına ve bağ kiriş kesitine bağlı olan parametrelerle 24 adet numunenin tekrarlı yükler altında test edildiği deneysel bir çalışmadır. Birleşimlerin çoğunda plastik dönme kapasitesine erişmeden birleşim noktasındaki kırılmadan dolayı başarısızlık olmuştur. Bu durumun çözümüne ilişkin iki birleşim detayı verilmiştir[26].

### **2.22 Gary S. ve Paul (2009)**

Bağ kirişi kolon birleşiminin kaynaklı olması durumunda bağ kirişi dönmesinin büyük değerlerinden önce birleşim noktasında hasar oluşmasından dolayı, bağ kirişi gövde kesitinin azaltılmasının kuvvetin flanşlara geçmesi ve bağ kirişi dönme kapasitesinin artması üzerine etkilerini incelemek amacıyla 19 adet bağ kirişinin döngüsel yükleme testinin yapıldığı bir çalışmadır[27].

### **2.23 Devrim ve Nuri (2008)**

Çerçeve geometrisinin dışmerkez çaprazlı çelik çerçevelerin ağırlık ve elastik olmayan davranışı üzerine etkileri; 420 tanesi kayma etkisinde sınır durumuna göre, 105 tanesi eğilme momenti ve kesme kuvvetinin ortak etkisine göre, 105 tanesi de eğilme momenti etkisinde akma sınır durumuna göre tasarlanmış bağ kirişlerinde elastik olmayan dinamik analizle incelenmiştir[28].

### **2.24 Taichiro ve Michael (2007)**

Bu çalışmada, ASTM A992 çelik malzemesinden yapılan dışmerkez çaprazlı çelik çerçevelerdeki bağ kirişi davranışı; başlık genişlikleri farklı olan 5 kesitten değişik bağ kirişi uzunluğunda toplam otuz yedi adet numune üzerinde döngüsel yükleme testleriyle incelenmiştir[29].

### **2.25 Pier P. ve A. (2007)**

Bağ kirişi dayanım fazlalığı katsayısının, kapasite esaslı tasarımı yapılan dışmerkez çaprazlı çelik çerçeve sistemlerin sismik davranışı üzerine etkisi incelenmiştir[30].

### **2.26 Jeffrey ve Michel (2007)**

Dışmerkez çaprazlı çelik çerçeve sistemlerin bağ kirişlerinde düzlem dışına tutulmasına gerek olmayan dikdörtgen boru kesitlerin kullanılmasına ilişkin analitik ve deneysel çalışmalar yer almaktadır[31].

### **2.27 Taichiro ve Diğerleri (2006)**

Toplamda 12 adet olmak üzere, her biri 3 farklı bağ kirişi uzunluğunda olacak şekilde 4 farklı tipteki bağ kirişi-kolon birleşimi tekrarlı yükler altında test edilmiştir. Numunelerin Amerikan bina yönetmeliğinin gerektirdiği plastik dönme değerinin yarısına eriştiği ifade edilmiştir. Ek birleşim tipleri test edilmiştir ve deney programı ve sonuçları incelenmiştir[32].

## **2.28 Taichiro ve Diğerleri (2005)**

Dışmerkez çaprazlı çelik çerçevelerde bağ kirişinin başlık narinlik limitlerinin ve bağ kiriş dayanım fazlalığı katsayılarının yeniden değerlendirilmesi için 23 adet numunenin tekrarlı yükler altında incelendiği deneysel bir çalışmadır. Deneysel araştırmaya ilişkin genel bakış, araştırma programına dair detaylar, test numuneleri ve sonuçlara dair detaylar paylaşılmıştır[33].



### 3. DIŞMERKEZ ÇAPRAZLI ÇELİK ÇERÇEVE MODELLERİNİN TASARIMI

Dışmerkez çaprazlı çelik çerçeve sistemler, moment çerçevelerinin süneklik özelliği ile merkezi çaprazlı çelik çerçevelerin yatay rijitlik özelliklerini kendi bünyelerinde toplamışlardır. Bu bakımdan ele alınacak olursa moment çerçeveleri ile merkezi çelik çaprazlı çerçeve sistemlerin bir kombinasyonu olarak da adlandırılabilirler. Bu duruma ilişkin olarak Hjelmstad ve Popov [34] tarafından yapılan araştırmada bağ kirişi boyunun ( $e$ ) çerçeve açıklığına ( $L$ ) oranını ifade eden “ $e/L$ ” oranı bağ kiriş boyunun aldığı değere göre sistemin özelliklerini çok açık bir şekilde ifade etmektedir.  $e/L$  değerinin sıfır olması halinde sistem merkezi çelik çaprazlı perde olurken bir olması durumunda ise moment çerçevesi haline gelmektedir. Yapılan araştırmada  $e/L$  değerinin 0.5’ten büyük olduğu durumlarda çapraz elemanı etkisini yitirirken; 0,5’den küçük olduğu durumlarda ise rijitlik artışı oluyor. Dışmerkez çaprazlı çelik çerçeveler, çaprazların kirişlere bağlanan uçlarından en az birinde bir bağ kirişi teşkil edilerek oluşturulmaktadır. Bağ kirişleri, çapraz eleman eksenlerinin merkezi olarak kesişen kiriş-kolon eksenleri veya diğer çapraz eleman eksenleri arasında dışmerkez oluşturacak şekilde birleşmesiyle elde edilir.

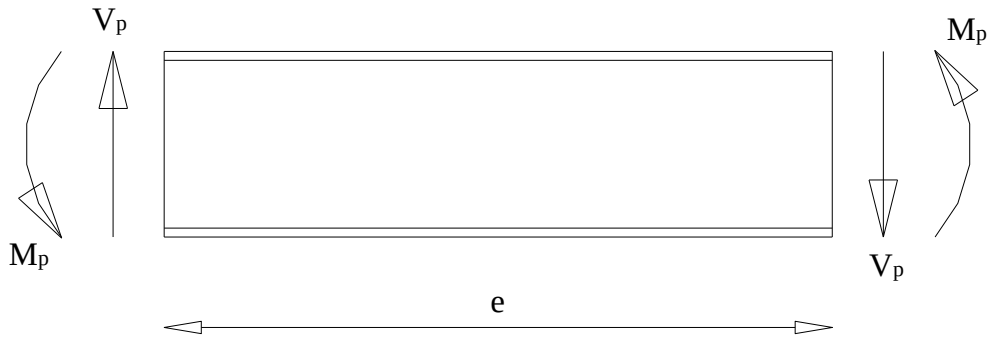
Her bir deprem kuvveti taşıyıcı sistemin karakteristik özelliği ve dolayısıyla enerji sönümleme mekanizması farklıdır. Dışmerkez çaprazlı çelik çerçevelerin boyutlandırılmasındaki en önemli nokta karakteristik özelliği temsil eden bağ kirişlerinin davranışlarıdır. Bu sistemlerde, bağ kirişleri plastik şekil değiştirmeye maruz kalmak suretiyle enerji sönümleme görevini üstlenirler. Bu nedenle bağ kirişlerinin akma sınır durumuna ulaşmasıyla birlikte sistemin diğer elemanlarının elastik bölgede kalması amaçlanır. Bir diğer önemli husus ise hangi etkiler altında bağ kirişinin akma sınır durumuna ulaşacağıdır. Burada bağ kirişinin kesit özellikleri ve uzunluğuna bağlı olmak üzere üç durum söz konusu olmaktadır. İlk durum, plastik şekildeğiştirmelerin kayma etkisinde meydana gelmesi iken ikinci durum eğilme momenti ve kesme kuvvetinin ortak etkisi altında akmanın gözlenmesidir. Üçüncü

olarak ise enerjinin sadece eğilme momenti etkisinde meydana gelen plastik mafsallar yardımıyla sönümlenmesidir.

Kayma etkisi altında plastik şekildeğiştirmelerin oluşması için, enkesitin kesme kuvveti kapasitesine ulaşılmasıyla meydana gelecek moment değeri (V<sub>p</sub>x<sub>e</sub>), enkesitin eğilme momenti kapasitesine oranının 2’den küçük olması gerekmektedir. Ters durumlarda plastik şekildeğiştirmelerin eğilme momenti etkisinde meydana gelmesi beklenmelidir. Pekleşme etkisi de göz önüne alınacak olursa bu oranın 1.6’dan küçük olması sağlanmalıdır(denklem 3.2 [35]).

$$2M_p = V_p \times e \Rightarrow \frac{V_p \times e}{M_p} \leq 2 \quad (3.1)$$

$$\frac{1.5 \times V_p \times e}{1.2 \times M_p} \leq 2 \Rightarrow \frac{V_p \times e}{M_p} \leq 1.6 \quad (3.2)$$



**Şekil 3.1 :** Bağ kiriş eğilme moment ve kesme kuvveti.

Tüm modellerdeki bağ kirişleri, kayma etkisi altında plastik şekildeğiştirmelerin oluşması esas alınarak teşkil edilmiştir. AISC 360-10 [3] elemanların boyutlandırılmasında ikinci mertebe etkiler ve başlangıç kusuru gibi durumların da dikkate alınmasını belirtmektedir. Bu amaçla; doğrudan analiz yöntemi, etkili uzunluk yöntemi ve birinci mertebe analiz yöntemi adı altında açıklanan üç yöntem önerilmektedir. Çalışma kapsamında yapı sistemleri etkili uzunluk yöntemi esas alınarak boyutlandırılmıştır. İkinci mertebe etkiler ise yaklaşık yöntem içinde tanımlanan büyütme katsayıları ile hesaba katılmaktadır.

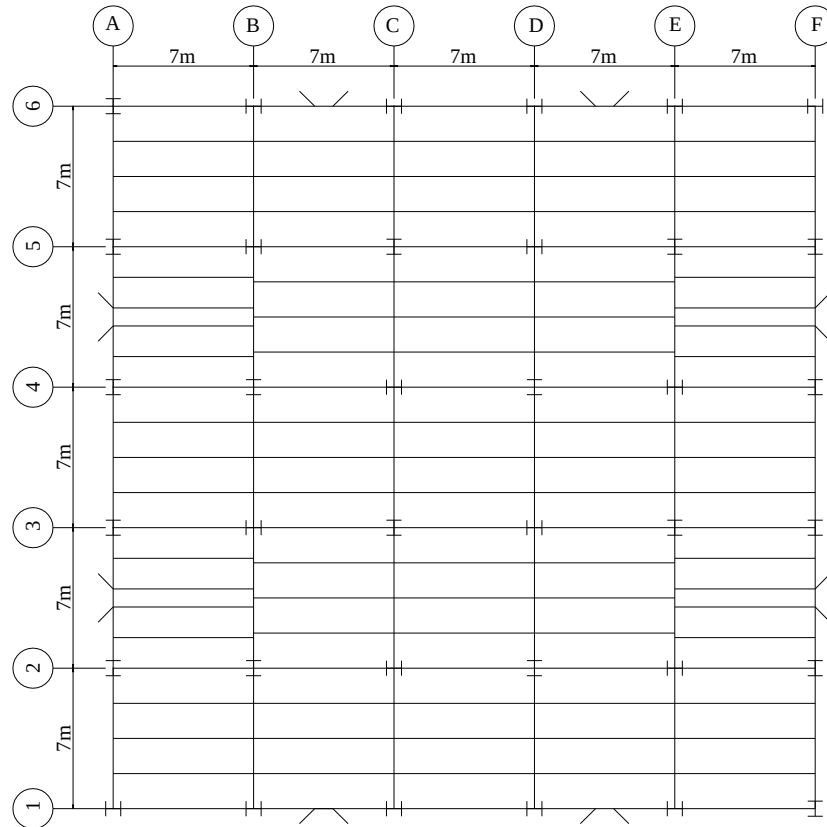
AISC 360-10 [3] iki farklı tasarım yöntemi bulunmaktadır. Bunlardan bir tanesi Güvenli Dayanımlar ile Tasarım (Allowable Strength Design, ASD) iken diğeri ise Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (Load and Resistance Factor Design, LRFD) yöntemidir. Bu çalışmada sistemler, yük ve dayanım katsayıları ile tasarım yöntemi

esas alınarak elde edilen en elverişsiz iç kuvvet durumu için boyutlandırılmıştır. Bu yöntemde güvenlik yük katsayıları ile oluşturulan yük birleşimleri altında eleman dayanımına uygulanan 1'den küçük bir dayanım katsayısı ile hesaplanan tasarım dayanımı değeri kullanılarak sağlanmaktadır.

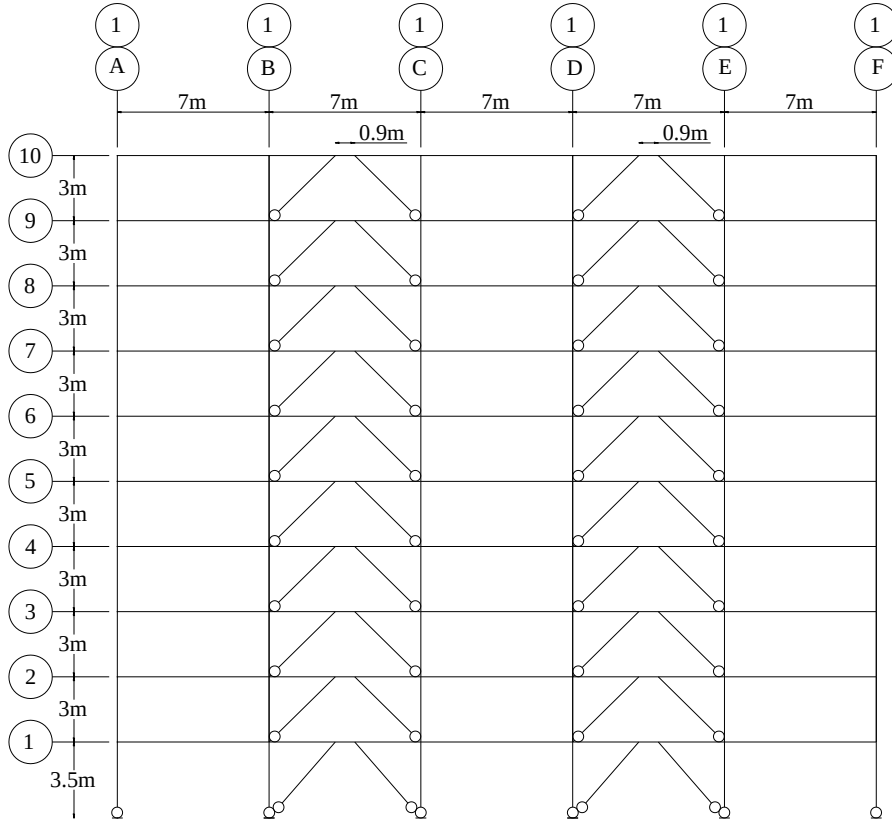
### 3.1 Model Yapı Sistemi

Yüksekliği 30.5 m olan 10 katlı yapı sisteminin normal kat planı Şekil 3.2, tipik sistem enkesiti ise Şekil 3.3'de verilmektedir. Şekillerde ifade edilen durumlar Model 1 için verilmiş olup diğer sistemler için de bağ kirişi olan çerçeve açıklığındaki ikincil kirişler arası mesafe harici aynıdır. İkincil kirişler 1.75 m aralıklarla teşkil edilmiş olup ana kirişlere bağlantıları mafsallıdır. Çapraz elemanların bulunduğu çerçeve açıklıkları hariç tüm akslardaki ana çerçeve kirişlerinin kolonlara bağlantısı mafsallıdır. Kolonların mesnet bağlantıları mafsallı olarak kabul edilmiştir.

Yapıların her iki doğrultudaki yatay yük taşıyıcı sistemleri dışmerkez çaprazlı çelik çerçevelerdir. Tüm modeller için bu özellikler aynı olup kullanılacak dışmerkez çaprazlı çelik çerçeve tipleri Bölüm 3.2'de ifade edilmektedir.



Şekil 3.2 : Plan görünüşü (Model 1).



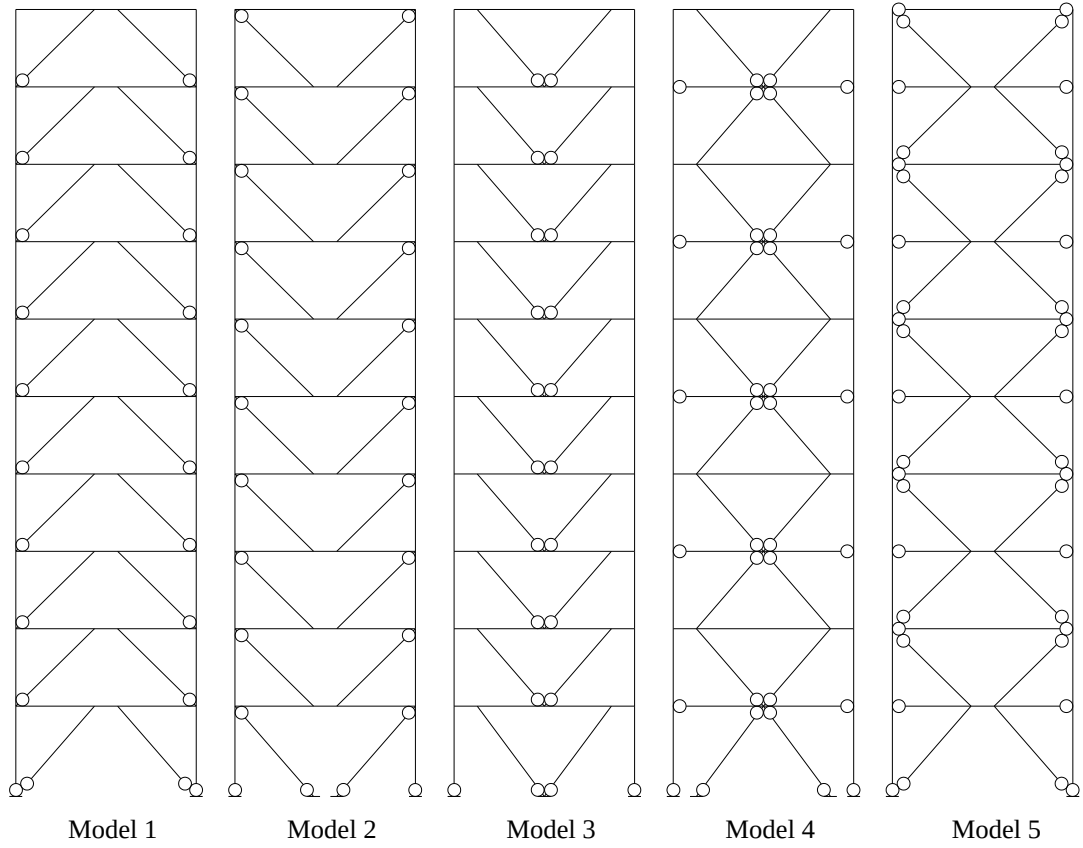
**Şekil 3.3 : 1 aksı görünüşü (Model 1).**

### 3.2 Dışmerkez Çaprazlı Çelik Çerçeve Tipleri

Dışmerkez çaprazlı çelik çerçeve tipleri farklı bağ kirişi teşkilleri göz önünde tutularak Şekil 3.4’te verildiği gibi oluşturulmuştur. Çapraz elemanları bağ kirişlerine moment aktaracak şekilde, kiriş-kolon birleşim bölgesine ise mafsallı olarak bağlanmıştır. Dışmerkez çaprazlı çelik çerçeve tiplerinde bağ kirişleri; her katta tek, iki katta bir tek, her katta çift, iki katta bir çift bağ kirişi olacak şekilde seçilmiştir.

### 3.3 Sabit Düşey Yük Analizi

Sabit ve hareketli olmak üzere iki kısımdan oluşan düşey yüklerde sabit yükler için bir kısıtlama olmazken hareketli yüklerde alt sınır ASCE 7-10 [1] Tablo 4.1’e göre belirlendi. Düşey yüklere dair detaylı hesaplamalar Çizelge 3.1’de ifade edildiği gibidir. Normal kat döşemelerindeki bölme duvar ASCE 7-10 [1] Bölüm 4. 3.2’ye göre alınıp, etkin kütle kısmında ve hareketli yük kısmında hesaba katılmıştır.



**Şekil 3.4 : Dışmerkez çaprazlı çelik çerçeve modelleri.**

**Çizelge 3.1 : Düşey yükler.**

| Yükler                | Çatı Katı                    |                                  | Normal Kat                   |                                  |
|-----------------------|------------------------------|----------------------------------|------------------------------|----------------------------------|
|                       | Ağırlık<br>kN/m <sup>2</sup> | Etkin kütle<br>kN/m <sup>2</sup> | Ağırlık<br>kN/m <sup>2</sup> | Etkin kütle<br>kN/m <sup>2</sup> |
| Çatı kaplaması        | 0.3                          | 0.3                              | 0                            | 0                                |
| Yalıtım               | 0.1                          | 0.1                              | 0                            | 0                                |
| Betonarme döşeme      | 2.1                          | 2.1                              | 2.1                          | 2.1                              |
| Döşeme kaplaması      | 0                            | 0                                | 0.5                          | 0.5                              |
| Asma tavan ve mekanik | 0.4                          | 0.4                              | 0.4                          | 0.4                              |
| Çelik konstrüksiyon   | 0.5                          | 0.5                              | 0.8                          | 0.8                              |
| Bölme duvar           | 0                            | 0.48                             | 0                            | 0.48                             |
| Toplam Sabit Yük      | 3.4                          | 3.88                             | 3.8                          | 4.28                             |
| Hareketli             | 0.96                         | 0                                | 2.64                         | 0                                |
| Dış Duvar             |                              |                                  | kN/m                         | kN/m                             |
| Dış Duvar Yüğü        |                              |                                  | 3                            | 3                                |

### 3.4 Deprem Yüğü Analizi

Deprem yüğü hesabında deprem bölgesi ve zemine ait katsayılar tüm modeller için aynı alınmıştır. Taban kesme kuvvetinin bulunmasında kullanılan etkin deprem kütlesi

için gereken yükler ASCE 7-10 [1] Bölüm 12.7.2’de belirtilmektedir (Çizelge 3.1). Modellerin deprem yükü hesabında kullanılacak deprem bölgesine ve zemine ait özelliklerin sırasıyla ifade edilmesi gerekirse:

|                                       |                                           |
|---------------------------------------|-------------------------------------------|
| Yer ve Zemin özellikleri              | : California, The United State            |
| Yer                                   | : 37.48907°N, 121.94632°W                 |
| Zemin sınıflandırması                 | : C-“Very Dense Soil and Soft Rock”       |
| Risk kategorisi(II)                   | : II binalar için, ASCE Table 1.5-1 [1]   |
| Yapı Önem katsayısı( $I_e$ )          | : 1 tüm yükler için, ASCE Table 1.5-2 [1] |
| Taşıyıcı sistem davranış katsayısı(R) | : 8                                       |
| Dayanım katsayısı                     | : 2                                       |
| Deplasman büyütme katsayısı( $C_d$ )  | : 4                                       |

$$S_S = 1.906g \text{ ve } S_1 = 0.769g$$

Burada  $S_S$  ve  $S_1$  sırasıyla kısa periyot ve 1 saniyelik periyot için öngörülen maksimum spektral ivme değerleri olup ASCE 7-10 [1] Bölüm 22’de verilen şekillerden okunmuştur. Bu değerlerin elde edildiği şekillerde zemin sınıfı B olarak verildiği için ilgili zemin sınıfına kısa ve uzun periyot arazi katsayısı (  $F_a$  ve  $F_v$  ) değerleriyle çarpılarak geçilmesi gerekir. Zemin özellikleri ile  $S_S$  ve  $S_1$  değerlerine bağlı olarak  $F_a$  ve  $F_v$  değerleri ASCE 7-10 [1] Çizelge 11.4-1 ve 11.4-2’den sırasıyla 1 ve 1.3 olarak belirlendi. Kısa periyot için düzeltilmiş maksimum deprem spektral ivmesi denklem 3.3’de ifade edildiği gibidir.

$$S_{MS} = F_a \times S_S = 1.0 \times 1.906g = 1.906g \quad (3.3)$$

Bir saniyelik periyot için düzeltilmiş maksimum deprem spektral ivmesi ise denklem 3.4’de ifade edildiği gibidir.

$$S_{M1} = F_v \times S_1 = 1.3 \times 0.769g = 0.9997g \quad (3.4)$$

Kısa periyot için tasarım depremi spektral ivme değeri ise kısa periyot için hesaplanan düzeltilmiş maksimum deprem spektral ivmesinin 2/3'ü ile denklem 3.5'te ifade edildiği gibi bulunur.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times S_{MS} = \frac{2}{3} \times 1.906g = 1.2707g \quad (3.5)$$

Bir saniyelik periyot için tasarım depremi spektral ivme değeri yukarıda bahsedildiği gibi denklem 3.6'da bulunmuştur

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times S_{M1} = \frac{2}{3} \times 0.9997g = 0.6665g \quad (3.6)$$

ASCE 7-10 [1] Tablo 11.6-1 ve Tablo 11.6-2 kullanılarak deprem dizayn kategorisi belirlenir.  $S_1$ , 0.75g değerinden büyük olduğu için ASCE 7-10 [1] Bölüm 11.6'ya göre deprem dizayn kategorisi E sınıfı olarak belirlenmiştir. (Bu kısım ile alakalı olarak detaylı bilgiler, teknik terimlerin bir kısmının Türkçe karşılıklarında faydalanılan çalışmada [36] bulunabilir.)

Sistem periyodu SAP2000 [4] programından X doğrultusunda 1.3246 saniye Y doğrultusunda ise 1.3240 saniye olarak belirlenmiştir. Hesaplamalarda kullanılacak periyot değeri ASCE 7-10 [1] Bölüm 12.8.2'de ifade edildiği üzere yaklaşık doğal titreşim periyodu üst sınırını aşamaz (denklem 3.8). Üst sınır değeri denklem 3.7'deki gibi elde edilen yaklaşık doğal titreşim periyot değeri ile aynı yönetmeliğin Tablo 12.8-1 tablosundaki üst limit katsayısının çarpımından elde edilir.

$$T_a = C_t \times h_n^x = 0.0731 \times 30.5^{0.75} = 0.9487sn \quad (3.7)$$

Burada;

$h_n$  : bina yüksekliği

$C_t$  ve  $x$ : Yaklaşık doğal titreşim periyodu parametresi

$$T_{a,u} = C_u \times T_a = 1.4 \times 0.9487sn = 1.3282sn \quad (3.8)$$

$T_{a,u}$  : yaklaşık doğal titreşim periyodu üst sınırı

$C_u$  : üst limit katsayısı

Modelin serbest titreşim periyot değeri üst limit değerinden küçük olduğu için SAP2000 [4] programından elde edilen değer kullanılacaktır.

Taban kesme kuvveti; denklem 3.9’da ifade edildiği gibi kısa periyot için tasarım depremi spektral ivme katsayısı, taşıyıcı sistem katsayısı ve yapı önem katsayısına bağlı olarak bulunan deprem davranış katsayısı ( $C_s$ ) ile etkin kütlenin ( $W$ ) çarpımından elde edilir (denklem 3.13).

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\frac{R}{I_e}} = \frac{1.2707g}{\frac{8}{1}} = 0.1588g \quad (3.9)$$

$C_s$  değerinin alt ve üst limitleri bulunmaktadır.

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left( \frac{R}{I_e} \right)} = \frac{0.6665g}{1.3245 \times \left( \frac{8}{1} \right)} = 0.0629 ; T = 1.3245sn \leq T_L = 12sn \quad (3.10)$$

Üst sınırı denklem 3.10’a göre belirlenirken, denklem 3.11 ve denklem 3.12 ise alt sınır değerlerini belirlemektedir.

$$C_s = 0.044 \times S_{DS} \times I_e = 0.044 \times 1.2707g \times 1 = 0.0559g \quad (3.11)$$

$$C_s = \frac{0.5 \times S_1}{\frac{R}{I_e}} = \frac{0.5 \times 0.769g}{\frac{8}{1}} = 0.048g \text{ eğer } S_1 \geq 0.6g \quad (3.12)$$

Deprem davranış katsayısı  $C_s = 0.0629$  olarak belirlenmiştir ve taban kesme kuvveti denklem 3.13’de ifade edilen şekilde bulunmuştur.

$$V = C_s \times W \quad (3.13)$$

Kütlenin bulunması denklem 3.14’de ifade edildiği gibidir.

$$W = \sum_{i=1}^{çatı} w_i \quad (3.14)$$

$w_i$  : kat ağırlığı

Deprem yüklerinin katlara dağıtımı ise denklem 3.15 ve denklem 3.16’da belirtildiği şekilde yapılmıştır.

$$F_x = C_{vx} \times V \quad (3.15)$$

$$C_{vx} = \frac{w_x \times h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i \times h_i^k} \quad (3.16)$$

Burada:

$C_{vx}$  :düşey doğrultuda dağıtım katsayısı

$V$  : taban kesme kuvveti

$w_i$  ve  $w_x$  : i veya x katındaki toplam etkin deprem kütlesi

$h_i$  ve  $h_x$  : zeminden itibaren kat yüksekliği

k: yapı periyodu ile ilgili üs

Deprem yükü hesaplaması Çizelge 3.2’de detaylarıyla mevcuttur. Bağ kirişlerinde oluşan aksenal iç kuvvetlerin bulunabilmesi için SAP2000 [4] programında 3 boyutlu modellenen yapı, aynı programda düzlemsel çerçeve olarak modellenip payına düşen yükler etkililerek çözdürüldü. 3 boyutlu çözümde SAP2000 [4] tarafından doğrudan hesaba katılan %5’lik dışmerkezlilik, çerçeve payına düşen deprem kuvvetlerini temsilen düzlemsel çerçeveye etkililecek yüklerde dikkate alınmıştır.

**Çizelge 3.2 : Deprem yükü hesabı.**

| Yükseklik(m) | $w_i$ (kN) | $w_x \times h_x^k$ (kN) | $C_{vx}$ (kN) | $F_x$ (kN) |
|--------------|------------|-------------------------|---------------|------------|
| 30.5         | 4753       | 592658.3                | 0.183981      | 645.0663   |
| 27.5         | 5663       | 610083.6                | 0.189391      | 664.0325   |
| 24.5         | 5663       | 518267.5                | 0.160888      | 564.0972   |
| 21.5         | 5663       | 430977.2                | 0.13379       | 469.088    |
| 18.5         | 5663       | 348576                  | 0.10821       | 379.4001   |
| 15.5         | 5663       | 271518.3                | 0.084288      | 295.5283   |
| 12.5         | 5663       | 200395.2                | 0.062209      | 218.1159   |
| 9.5          | 5663       | 136017.8                | 0.042225      | 148.0457   |
| 6.5          | 5663       | 79594.5                 | 0.024709      | 86.63294   |
| 3.5          | 5663       | 33210.28                | 0.01031       | 36.14702   |
| $\sum$       | 55720      |                         | 1             | 3506.154   |
| $C_s$        | 0.0629     |                         |               |            |
| $V$          | 3506.154   |                         |               |            |

**Çizelge 3.3 : Çerçeve payına düşen deprem yükü hesabı.**

| Yükseklik (m) | V (kN)   | V <sub>t</sub> (kN) | V + V <sub>tx</sub> (kN) | F <sub>x</sub> (kN) |
|---------------|----------|---------------------|--------------------------|---------------------|
| 30.5          | 645.0663 | 8.0633              | 169.3299                 | 169.3299            |
| 27.5          | 1309.099 | 16.3637             | 343.6385                 | 174.3085            |
| 24.5          | 1873.196 | 23.4150             | 491.7140                 | 148.0755            |
| 21.5          | 2342.284 | 29.2786             | 614.8496                 | 123.1356            |
| 18.5          | 2721.684 | 34.0211             | 714.4421                 | 99.59253            |
| 15.5          | 3017.213 | 37.7152             | 792.0183                 | 77.57618            |
| 12.5          | 3235.328 | 40.4416             | 849.2737                 | 57.25543            |
| 9.5           | 3383.374 | 42.2922             | 888.1357                 | 38.86199            |
| 6.5           | 3470.007 | 43.3751             | 910.8768                 | 22.74115            |
| 3.5           | 3506.154 | 43.8269             | 920.3654                 | 9.488594            |

### 3.5 Rüzgar Yükü Analizi

Rüzgar yükü hesabı ASCE 7-10 [1] Bölüm 26 ve Bölüm 27'ye göre yapılmaktadır. Rüzgar yüklerinin bulunmasında "Directional procedure" yönteminin uygulanacağına [1] Bölüm 26.1.2.1'e göre karar verildi. Yine 26. Bölümde [1] yer alan tanımlamalara göre; yapı yüksekliği(30.5m) 18m'den yüksek olduğu için düşük yükseklikli bina olmadığı ve duvarlarında açık alan oranı %80 oranından az olduğu için kapalı yapı olduğuna karar verildi. Temel rüzgar hızı [1] Bölüm 26.5'te verilen haritalar yardımıyla bina risk kategorisine ve konumuna göre 110mph olarak belirlendi. Doğrultu katsayısı Tablo 26.6-1'den [1] 0.85 olarak belirlendi. Yapının bulunduğu arazi özellikleri göz önüne alınarak yüzey pürüzlülük ve etki kategorileri [1] Bölüm 26.7'ye göre C olarak belirlendi. Arazi şartları gereği topoğrafik katsayı, 1 olarak belirlendi [1]. Türbülans katsayısı (gust factor) aynı yönetmelikte [1] Bölüm 26.9'a göre 0.85 olarak alındı.

Hız basıncı ASCE-7-10 [1] Bölüm 27.3.2'de ifade edilen şekliyle denklem 3.17'de ifade edilmiştir.

$$q_z = 0.613 \times K_z \times K_{zt} \times K_d \times V^2 \left( \frac{N}{m^2} \right) \quad (3.17)$$

Burada;

$K_d$  : rüzgar doğrultu katsayısı

$K_{zt}$  : topoğrafik katsayı

$K_z$  : rüzgar basıncı maruz kalma katsayısı

V: temel rüzgar hızı

ASCE 7-10 [1] Tablo 27.3.1’de verilen  $K_z$  değerlerinden denklem 3.18’de olduğu gibi yüksekliğe bağlı olarak elde edilen hız basıncı değerleri Çizelge 3.4’de gösterilmiştir.  $z = 0-4.6$  metre için;

$$q_z = 0.613 \times 0.85 \times 1 \times 0.85 \times (110 \times 0.44704)^2 = 1070.9679 \quad (3.18)$$

**Çizelge 3.4 :** Yüksekliğe bağlı hız basıncı değerleri.

| Yerden<br>yükseklik(m) | $K_z$ | $q_z \left( \frac{N}{m^2} \right)$ |
|------------------------|-------|------------------------------------|
| 30.5                   | 1.26  | 1587.5525                          |
| 27.4                   | 1.24  | 1562.3532                          |
| 24.4                   | 1.21  | 1524.5543                          |
| 21.3                   | 1.17  | 1474.1559                          |
| 18                     | 1.13  | 1423.7574                          |
| 15.2                   | 1.09  | 1373.3589                          |
| 12.2                   | 1.04  | 1310.3608                          |
| 9.1                    | 0.98  | 1234.7630                          |
| 7.6                    | 0.94  | 1184.3645                          |
| 6.1                    | 0.9   | 1133.9660                          |
| 0-4.6                  | 0.85  | 1070.9679                          |

Tasarım basıncını bulmak için gerekli olan dış basınç katsayısı,  $C_p$ , ASCE 7-10 [1] Şekil 27.4-1’den faydalanılarak Çizelge 3.5’de ifade edildiği gibi belirlenmiştir.

**Çizelge 3.5 :** Duvar dış basınç katsayısı.

| Yüzey             | L/B                   | $C_p$ | Kullanılış<br>yeri |
|-------------------|-----------------------|-------|--------------------|
| Rüzgara dik duvar | $\frac{35m}{35m} = 1$ | 0.8   | $q_z$              |
| Arka duvar        | $\frac{35m}{35m} = 1$ | -0.5  | $q_z$              |
| Yan duvarlar      | $\frac{35m}{35m} = 1$ | -0.7  | $q_h$              |

Kapalı yapılar için iç basınç katsayısı,  $GC_{pi}$ , ASCE 7-10 [1] Tablo 26.11-1’den  $\pm 0.18$  olarak alındı. Tasarım rüzgar basıncı denklem 3.19’daki ifade kullanılarak Çizelge 3.6’daki gibi bulundu.

$$p = qGC_p - q_i (GC_{pi}) \quad (3.19)$$

Burada;

$q = q_z$  ; z yüksekliğinde rüzgara dik duvar için

$q = q_h$  ; h yüksekliğinde arka duvar ve yan duvarlar için

$q_i = q_h$  ; rüzgara dik duvar, yan duvarlar ve arka duvar için

G : Türbülans katsayısı

$C_p$  : dış basınç katsayısı

$GC_{pi}$  : iç basınç katsayısı

Her bir duvar için ilgili katsayılarla ayrı ayrı hesaplama yapılması gerekmektedir.

Denklem 3.19'un her bir duvar için nümerik olarak ifade edilmesi gerekirse;

Rüzgara dik duvarı için

$$p = q_z GC_p - q_h (GC_{pi})$$

$$z = 0 - 4.6 \text{ m} \rightarrow p = 1070.9679 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \times 0.85 \times 0.8 - 1587.5525 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \times 0.18 = 442.4989 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$z = 0 - 4.6 \text{ m} \rightarrow p = 1070.9679 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \times 0.85 \times 0.8 - 1587.5525 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \times (-0.18) = 1014.0176 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

Arka duvar için

$$p = q_z GC_p - q_h (GC_{pi})$$

$$p = 1587.5525 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \times 0.85 \times -0.5 - 1587.5525 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \times 0.18 = -960.4693 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$p = 1587.5525 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \times 0.85 \times -0.5 - 1587.5525 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \times (-0.18) = -388.9504 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

Yan duvarlar için

$$p = q_z GC_p - q_h (GC_{pi})$$

$$p = 1587.5525 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \times 0.85 \times -0.7 - 1587.5525 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \times 0.18 = -1230.3532 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$p = 1587.5525 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \times 0.85 \times -0.7 - 1587.5525 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \times (-0.18) = -658.8343 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

Tüm hesaplamalar Çizelge 3.6'da ifade edilmiştir. Çizelgede yer alan değerler yayılı kuvvet şeklinde sistemin ilgili duvar yüzeyine etmektedir. Bu değerler yapının ilgili

yüzey genişliğiyle çarpılarak duvar yüzeyinde çizgisel yüke çevrildikten sonra katlara gelen kuvvetler belirlenip kat hizasından döşemeye etkilmiştir.

**Çizelge 3.6 : Rüzgar tasarım yükü.**

| Yükseklik         | Rüzgara dik duvar $\frac{N}{m^2}$ | Arka duvarı $\frac{N}{m^2}$ | Yan duvarlar $\frac{N}{m^2}$ |
|-------------------|-----------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| $GC_{pi} = 0.18$  |                                   |                             |                              |
| 30.5              | 793.7762                          | -960.4692                   | -1230.3532                   |
| 27.4              | 776.6407                          | -960.4692                   | -1230.3532                   |
| 24.4              | 750.9375                          | -960.4692                   | -1230.3532                   |
| 21.3              | 716.6665                          | -960.4692                   | -1230.3532                   |
| 18                | 682.3956                          | -960.4692                   | -1230.3532                   |
| 15.2              | 648.1246                          | -960.4692                   | -1230.3532                   |
| 12.2              | 605.2859                          | -960.4692                   | -1230.3532                   |
| 9.1               | 553.8794                          | -960.4692                   | -1230.3532                   |
| 7.6               | 519.6084                          | -960.4692                   | -1230.3532                   |
| 6.1               | 485.3375                          | -960.4692                   | -1230.3532                   |
| 0-4.6             | 442.4987                          | -960.4692                   | -1230.3532                   |
| $GC_{pi} = -0.18$ |                                   |                             |                              |
| 30.5              | 1365.2951                         | -388.9504                   | -658.8343                    |
| 27.4              | 1348.1596                         | -388.9504                   | -658.8343                    |
| 24.4              | 1322.4564                         | -388.9504                   | -658.8343                    |
| 21.3              | 1288.1854                         | -388.9504                   | -658.8343                    |
| 18                | 1253.9144                         | -388.9504                   | -658.8343                    |
| 15.2              | 1219.6435                         | -388.9504                   | -658.8343                    |
| 12.2              | 1176.8048                         | -388.9504                   | -658.8343                    |
| 9.1               | 1125.3983                         | -388.9504                   | -658.8343                    |
| 7.6               | 1091.1273                         | -388.9504                   | -658.8343                    |
| 6.1               | 1056.8564                         | -388.9504                   | -658.8343                    |
| 0-4.6             | 1014.0176                         | -388.9504                   | -658.8343                    |

### 3.6 Yük Birleşimleri

Yük ve Mukavemet Çarpanına Göre Tasarım yöntemine ait yük kombinasyonları ASCE 7-10 [1] Bölüm 2.3.2’de verilmiş olup bazılarında değişik yapılmıştır. Deprem yüklerinin bulunduğu kombinasyonlarda aynı yönetmeliğin [1] Bölüm 12.5.3.a kısmında ifade edildiği gibi bir doğrultudaki deprem kuvvetine diğer doğrultunun etkisi %30 oranında dahil edilmiştir. Fazlalık faktörü (redundancy factor) 1.3 olarak alınmıştır. AISC 360-10 [3] C2.2b kısmında ifade edildiği şekilde sadece düşey yüklerden oluşan kombinasyonlara ise başlangıç kusuru durumunu temsilen %0.2 oranında fiktif yük (notional load) tanımıyla yatay yük etkilmiştir.

1.  $1.4D$
2.  $1.2D + 1.6L + 0.5(L_r \text{ or } S \text{ or } R)$
3.  $1.2D + 1.6(L_r \text{ or } S \text{ or } R) + (L_r \text{ or } 0.5W)$
4.  $1.2D + 1.0W + L + 0.5(L_r \text{ or } S \text{ or } R)$
5.  $1.2D + 1.0E + L + 0.2S$
6.  $0.9D + 1.0W$
7.  $0.9D + 1.0E$

Yapılan düzenlemeler neticesinde

1.  $1.4D + \text{Notional}$
2.  $1.2D + 1.6L + 0.5(L_r \text{ or } S \text{ or } R) + \text{Notional}$
3.  $1.2D + 1.6(L_r \text{ or } S \text{ or } R) + (L_r \text{ or } 0.5W) + \text{Notional}$
4.  $1.2D + 1.0W + L + 0.5(L_r \text{ or } S \text{ or } R)$
5.  $1.2D \pm 1.0E_{x,y} \pm 0.3E_{y,x} + L + 0.2S$
6.  $0.9D + 1.0W$
7.  $0.9D \pm 1.0E_{x,y} \pm 0.3E_{y,x}$

Burada:

D: sabit düşey yük

L: hareketli düşey yük

W: rüzgar yükü

S: kar yükü

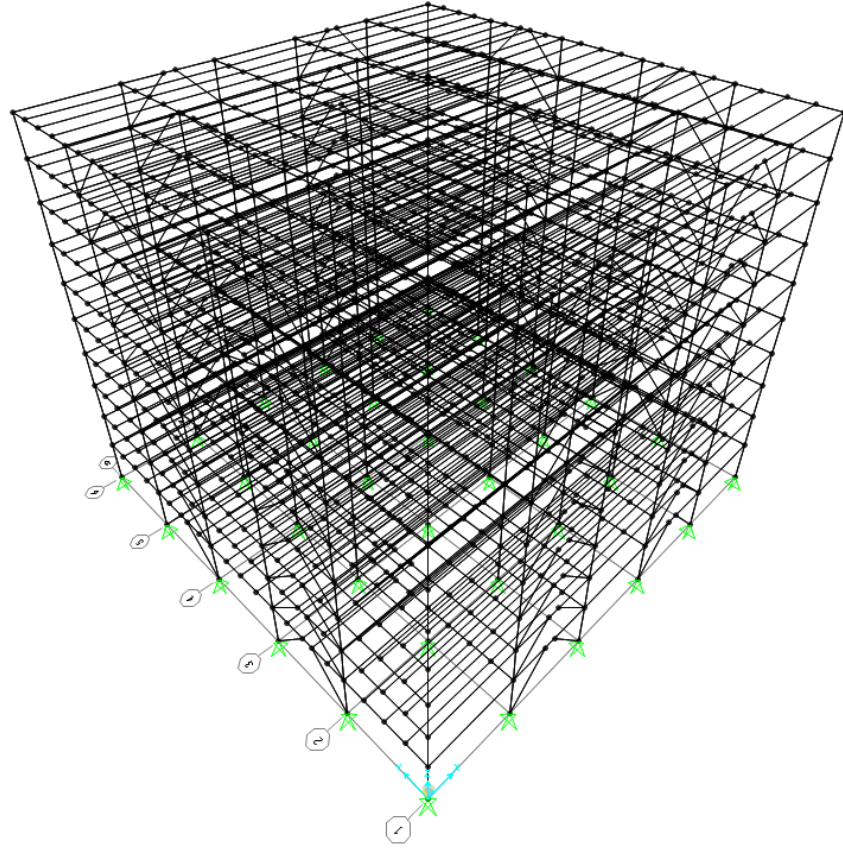
R: yağmur yükü

E: deprem yükü

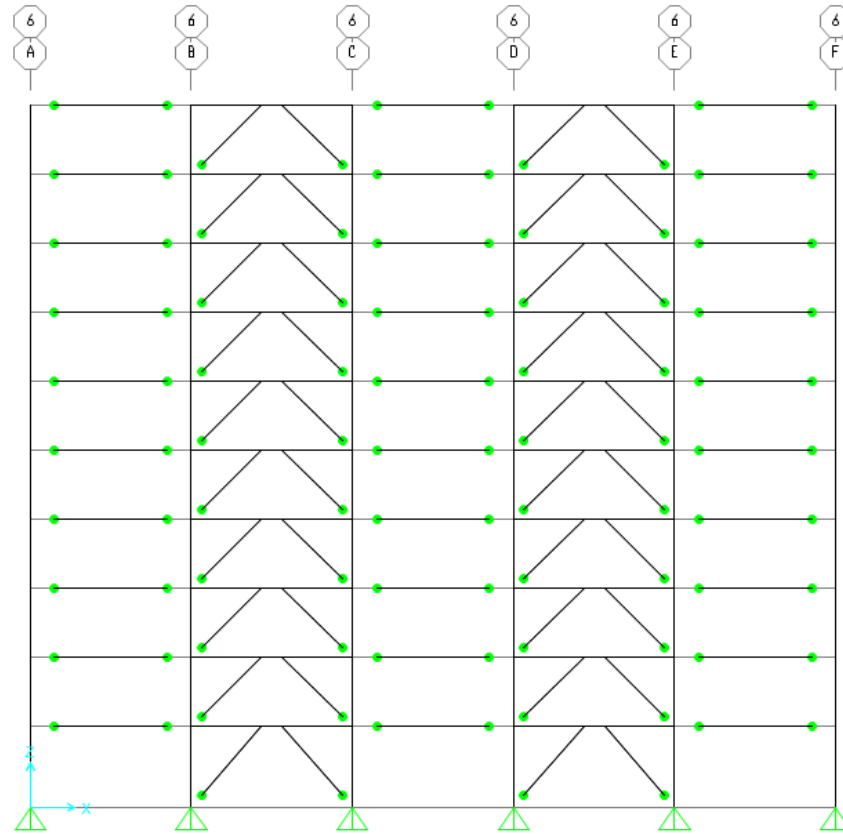
$L_r$  : çatı hareketli yükü

### 3.7 Analitik Modeller

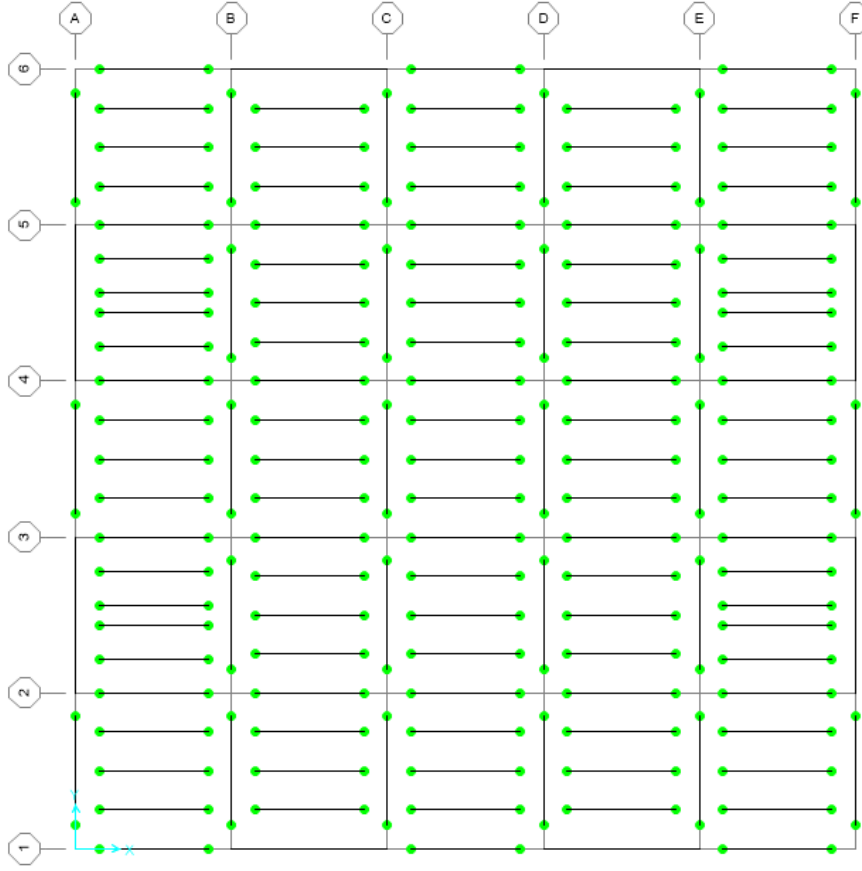
Malzeme olarak ASTM A992 kullanılmıştır. Üç boyutlu sistem görünüşü, Model 1 için, Şekil 3.5’de gösterilmektedir. Modellerde çapraz ve kolonların temele mafsallı olarak mesnetlendiği ve çapraz elemanların bağ kirişlerine rijit olarak bağlandığı kabul edilmektedir(Şekil 3.6). Tüm ikincil kirişlerin bağlantıları kayma birleşimi olacak şekilde teşkil edilmiştir(Şekil 3.7). Rijit diyafram kabulü ile hareket edilmiştir.



**Şekil 3.5 :** Hesap modeli genel görünüşü.



**Şekil 3.6 :** Hesap modeli enkesiti(6 aksı).



Şekil 3.7 : Hesap modeli plan görünüşü.

### 3.8 Yapısal Analiz Sonuçları ve Değerlendirilmesi

SAP2000 [4] programında modellemesi yapılan sistemlerin, belirlenen düşey ve yatay yükler altında ilgili yönetmeliklerce verilen yükleme kombinasyonlarıyla beraber statik analizi yapıldıktan sonra sonuçların kontrollerinden bahsedilecektir. Tüm modeller için her iki doğrultuda da aynı kontroller yapılmış olup burada sadece Model 1'in X doğrultusu için sonuçlar incelenecektir. İlk olarak yerdeğiştirmeler ve göreceli kat ötelemeleri bulunmuştur.

$$\delta_x = \frac{C_d \times \delta_{xe}}{I_e} \quad (3.20)$$

Burada:

$C_d$  : deplasman büyütme katsayısı

$\delta_{xe}$  : x'inci katın elastik yatay yerdeğiştirmesi

$\delta_x$  : x'inci katın arttırılmış yatay yerdeğiştirmesi

$I_e$  : yapı önem katsayısı

$$\Delta_x = \frac{\delta_x - \delta_{x-1}}{I_e} \quad (3.21)$$

Burada:

$\Delta_x$  : x'inci katın görelı kat yerdeğiştirmesi

$\delta_{x-1}$  : x-1'inci katın arttırılmış yatay yerdeğiştirmesi

$$\Delta_{x,ortalama} = \frac{\Delta_{x,maksimum} - \Delta_{x,minimum}}{I_e} \quad (3.22)$$

Burada:

$\Delta_{x,ortalama}$  : x'inci katın ortalama görelı kat yerdeğiştirmesi

$\Delta_{x,maksimum}$  : x'inci katın maksimum görelı kat yerdeğiştirmesi

$\Delta_{x,minimum}$  : x'inci katın minimum görelı kat yerdeğiştirmesi

$$\Delta_{x,sınır} = 0.02 \times h_{sx} \quad (3.23)$$

Burada:

$\Delta_{x,sınır}$  : x'inci kat için izin verilen görelı kat yerdeğiştirmesi

$h_{sx}$  : x'inci katın altında yer alan kat yüksekliği

Denklem 3.20'dan 3.22'ye kadar olan denklemler kullanılarak görelı kat yerdeğiştirmeleri bulunduktan sonra denklem 3.23'de ifade edilen sınır değeri ile kontrol edilmiştir. Çizelge 3.7'de tüm katlara ilişkin değerler yer almaktadır. Sonrasında ASCE 7-10 [1] Tablo 12.3-1 ve 12.3-2'e göre planda ve düşeyde yapı düzensizlikleri kontrol edilecektir. Planda yapı düzensizliği; burulma düzensizliği, aşırı burulma düzensizliği, köşe çıkıntı düzensizliği, döşeme süreksizlik düzensizliği,

yatay yük taşıyıcı sistemde düşey eleman düzensizliği, paralel olmayan sistem düzensizliği olarak incelenmektedir (Çizelge 3.8).

**Çizelge 3.7 : X doğrultusu yerdeğiştirmeleri.**

| Kat | Yükseklik | $\delta_{xe}$ (m) |        | $\delta_x$ (m) |        | $\Delta_x$ (m) |        |          |       |
|-----|-----------|-------------------|--------|----------------|--------|----------------|--------|----------|-------|
|     |           | Mak.              | Min.   | Mak.           | Min.   | Mak.           | Min.   | Ortalama | Sınır |
| 10  | 30.5      | 0.0603            | 0.0546 | 0.2413         | 0.2183 | 0.0265         | 0.0239 | 0.0252   | 0.06  |
| 9   | 27.5      | 0.0537            | 0.0486 | 0.2148         | 0.1944 | 0.0309         | 0.0280 | 0.0295   | 0.06  |
| 8   | 24.5      | 0.0460            | 0.0416 | 0.1839         | 0.1664 | 0.0299         | 0.0271 | 0.0285   | 0.06  |
| 7   | 21.5      | 0.0385            | 0.0348 | 0.1540         | 0.1393 | 0.0304         | 0.0275 | 0.0289   | 0.06  |
| 6   | 18.5      | 0.0309            | 0.0280 | 0.1236         | 0.1118 | 0.0274         | 0.0248 | 0.0261   | 0.06  |
| 5   | 15.5      | 0.0240            | 0.0218 | 0.0962         | 0.0870 | 0.0253         | 0.0229 | 0.0241   | 0.06  |
| 4   | 12.5      | 0.0177            | 0.0160 | 0.0709         | 0.0641 | 0.0221         | 0.0200 | 0.0211   | 0.06  |
| 3   | 9.5       | 0.0122            | 0.0110 | 0.0487         | 0.0441 | 0.0191         | 0.0173 | 0.0182   | 0.06  |
| 2   | 6.5       | 0.0074            | 0.0067 | 0.0296         | 0.0268 | 0.0156         | 0.0141 | 0.0149   | 0.06  |
| 1   | 3.5       | 0.0035            | 0.0032 | 0.0140         | 0.0127 | 0.0140         | 0.0127 | 0.0134   | 0.07  |

Tip 1a olarak ifade edilen burulma düzensizliği; kat içerisindeki en büyük görelî kat ötelemesinin ortalama görelî kat ötelemesine oranının 1.2'den büyük olduğu durumlarda oluşmaktadır. Tip 1b olarak ifade edilen aşırı burulma düzensizliği; Tip 1a'da bahsedilen oranın 1.4'den büyük olması halinde söz konusu olmaktadır.

Tip 2 olarak bahsedilen ve binanın plan düzleminde boyutunun %15'inden büyük girinti (veya çıkıntı) olması durumunun kontrol edildiği düzensizlik köşe çıkıntı düzensizliğidir.

Tip 3 döşeme (diyafram) süreksizliği ile alakalıdır, döşemede bir açıklık olmadığı kabul edildiği için bu düzensizlik sistemde yoktur.

Tip 4 ise yatay yük taşıyıcı sistemde düşey elemanların düzlem dışına öteleme olması durumunu kontrol eden düzensizliktir. Sistemlerin yatay yük taşıyıcı elemanlarında bir süreksizlik söz konusu olmadığı için bu düzensizlikte yoktur.

Yatay yük taşıyıcı sistemin düşey elemanları ile ana eksenlerin paralelliğinin kontrolü Tip 5 ile ifade edilmektedir. Modelde elemanlar ve sistem eksenleri uyumlu olduğu için bu düzensizlik de söz konusu değildir.

Düşey sistem düzensizliğinde; yumuşak kat düzensizliği, aşırı yumuşak kat düzensizliği, kütle düzensizliği, düşey geometrik düzensizlik, düşey -yatay yük-taşıyıcı sistemin düzlem içi süreksizlik düzensizliği, zayıf kat düzensizliği ve aşırı zayıf kat düzensizlikleri olarak incelenmektedir (Çizelge 3.9).

**Çizelge 3.8 :** Planda yapı düzensizlikleri.

| Tip 1a |       |       | Tip 1b |       |       | Tip 2  |       |       | Tip 3  |       |       | Tip 4 | Tip 5 |
|--------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|
| Sistem | Sınır | Durum | Sistem | Sınır | Durum | Sistem | Sınır | Durum | Sistem | Sınır | Durum | Durum | Durum |
| 1.0499 | 1.2   | Yok   | 1.0499 | 1.4   | Yok   | 0      | 5.25  | Yok   | 0      | 612.5 | Yok   | Yok   | Yok   |
| 1.0502 | 1.2   | Yok   | 1.0502 | 1.4   | Yok   | 0      | 5.25  | Yok   | 0      | 612.5 | Yok   | Yok   | Yok   |
| 1.0499 | 1.2   | Yok   | 1.0499 | 1.4   | Yok   | 0      | 5.25  | Yok   | 0      | 612.5 | Yok   | Yok   | Yok   |
| 1.0501 | 1.2   | Yok   | 1.0501 | 1.4   | Yok   | 0      | 5.25  | Yok   | 0      | 612.5 | Yok   | Yok   | Yok   |
| 1.0501 | 1.2   | Yok   | 1.0501 | 1.4   | Yok   | 0      | 5.25  | Yok   | 0      | 612.5 | Yok   | Yok   | Yok   |
| 1.0500 | 1.2   | Yok   | 1.0500 | 1.4   | Yok   | 0      | 5.25  | Yok   | 0      | 612.5 | Yok   | Yok   | Yok   |
| 1.0500 | 1.2   | Yok   | 1.0500 | 1.4   | Yok   | 0      | 5.25  | Yok   | 0      | 612.5 | Yok   | Yok   | Yok   |
| 1.0500 | 1.2   | Yok   | 1.0500 | 1.4   | Yok   | 0      | 5.25  | Yok   | 0      | 612.5 | Yok   | Yok   | Yok   |
| 1.0501 | 1.2   | Yok   | 1.0501 | 1.4   | Yok   | 0      | 5.25  | Yok   | 0      | 612.5 | Yok   | Yok   | Yok   |
| 1.0498 | 1.2   | Yok   | 1.0498 | 1.4   | Yok   | 0      | 5.25  | Yok   | 0      | 612.5 | Yok   | Yok   | Yok   |

Tip 1a, herhangi bir katın rijitliğinin üzerindeki katın rijitliğinin %70'inden daha az veya üzerindeki üç katın rijitliğinin ortalamasının %80'inden daha az olması durumunda orataya çıkmaktadır.

Herhangi bir katın etkin kütesinin komşu diğer katların etkin kütlelerinin %150'sinden daha fazla olması halinde kütle düzensizliğinden söz edilir. Çatı katları istisnai durumdur. Katlardaki etkin kütleler çatı katı hariç eşit olduğu için bu düzensizlik (Tip 2) yoktur.

Düşey geometrik düzensizlikte ise herhangi bir katın yatay yük taşıyıcı sisteminin plandaki uzunluğunun, komşu katının %130'undan daha fazla olması durumunda söz konusu olmaktadır, bu düzensizlik (Tip 3) yoktur.

Yatay yük taşıyıcı sistemde bir süreksizlik bulunmadığı için bu süreksizliğin kontrolünü yapan Tip 4 bulunmamaktadır.

Tip 5a ve 5b ise komşu katlar arasındaki dayanım düzensizliği yani zayıf kat ile ilgilidir. Tip 1a düzensizliği olmadığı için Tip 5a ve 5b düzensizlikleri de olmamaktadır.

Tip1a düzensizliğinde kat rijitliklerinin bulunması yerine bu durum aşağıda sayısal değerler ile de ifade edildiği şekilde yer değiştirme üzerinden yapılmaktadır.

$$1.\text{kat için görelî kat ötelemesi } \Delta_1 = \left( \frac{0.0035\text{m} + 0.0032\text{m}}{2} \right) - \left( \frac{0 + 0}{2} \right) = 0.0034\text{m}$$

$$1.\text{kat için görelî kat ötelemesi açısı} = \frac{\Delta_1}{h_x} = \frac{0.0034\text{m}}{3.5\text{m}} = 0.01$$

$$1.\text{kat görelî kat ötelemesi açısı}(\%70) = 0.01 \times 0.7 = 0.007$$

$$2.\text{kat için görelî kat ötelemesi } \Delta_1 = \left( \frac{0.0074\text{m} + 0.0067\text{m}}{2} \right) - \left( \frac{0.0035\text{m} + 0.0032\text{m}}{2} \right) \\ = 0.0070\text{m} - 0.0034\text{m} = 0.0036\text{m}$$

$$2.\text{kat için görelî kat ötelemesi açısı} = \frac{\Delta_1}{h_x} = \frac{0.0036\text{m}}{3\text{m}} = 0.012$$

$$2.\text{kat görelî kat ötelemesi açısı}(\%70) = 0.012 \times 0.7 = 0.0084$$

$$0.007 < 0.012$$

**Çizelge 3.9 : Düşeyde yapı düzensizlikleri.**

| Kat | Görelî<br>kat<br>ötelemesi<br>(A) | Görelî<br>kat<br>ötelemesi<br>açısı(B) | Tip 1a |         |        | Tip 1b |        |        | Tip 2 |        | Tip 3 |      | Tip 4 |     | Tip 5 |     |
|-----|-----------------------------------|----------------------------------------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|------|-------|-----|-------|-----|
|     |                                   |                                        | 70%B   | B(3kat) | 80%B   | 60%B   | 70%B   |        |       |        |       |      |       |     |       |     |
| 10  | 0.0063                            | 0.0021                                 | 0.0015 |         | 0.0050 | 0.0013 | 0.0044 | 4753   | Yok   | 7      | Yok   | Yok  | Yok   | Yok | Yok   | Yok |
| 9   | 0.0074                            | 0.0025                                 | 0.0017 | Yok     | 0.0059 | 0.0015 | Yok    | 0.0052 | 5663  | Yok    | 7     | Yok  | Yok   | Yok | Yok   | Yok |
| 8   | 0.0071                            | 0.0024                                 | 0.0017 | Yok     | 0.0057 | 0.0014 | Yok    | 0.0050 | 5663  | Yok    | 7     | Yok  | Yok   | Yok | Yok   | Yok |
| 7   | 0.0072                            | 0.0024                                 | 0.0017 | Yok     | 0.0069 | 0.0058 | Yok    | 0.0014 | Yok   | 0.0051 | Yok   | 5663 | Yok   | 7   | Yok   | Yok |
| 6   | 0.0065                            | 0.0022                                 | 0.0015 | Yok     | 0.0072 | 0.0052 | Yok    | 0.0013 | Yok   | 0.0046 | Yok   | 5663 | Yok   | 7   | Yok   | Yok |
| 5   | 0.0060                            | 0.0020                                 | 0.0014 | Yok     | 0.0070 | 0.0048 | Yok    | 0.0012 | Yok   | 0.0042 | Yok   | 5663 | Yok   | 7   | Yok   | Yok |
| 4   | 0.0053                            | 0.0018                                 | 0.0012 | Yok     | 0.0066 | 0.0042 | Yok    | 0.0011 | Yok   | 0.0037 | Yok   | 5663 | Yok   | 7   | Yok   | Yok |
| 3   | 0.0045                            | 0.0015                                 | 0.0011 | Yok     | 0.0059 | 0.0036 | Yok    | 0.0009 | Yok   | 0.0032 | Yok   | 5663 | Yok   | 7   | Yok   | Yok |
| 2   | 0.0036                            | 0.0012                                 | 0.0009 | Yok     | 0.0053 | 0.0030 | Yok    | 0.0007 | Yok   | 0.0026 | Yok   | 5663 | Yok   | 7   | Yok   | Yok |
| 1   | 0.0034                            | 0.0010                                 | 0.0007 | Yok     | 0.0045 | 0.0027 | Yok    | 0.0006 | Yok   | 0.0023 | Yok   | 5663 | Yok   | 7   | Yok   | Yok |

Daha sonrasında burulma ile ilgili kontrol yapılmaktadır. Burulma büyütme katsayısı ASCE7-10 [1] 12.8.4.3’de denklem 3.24’de ifade edilen şekilde verilmektedir. Çizelge 3.10’da da görüldüğü üzere sistem için burulma büyütme katsayıları 1’den küçük olduğu için 1 olarak alınmıştır.

$$3 \geq A_x = \left( \frac{\delta_{\text{maksimum}}}{1.2 \times \delta_{\text{ortalama}}} \right)^2 \geq 1 \quad (3.24)$$

**Çizelge 3.10 : Burulma büyütme katsayısı.**

| Kat | A <sub>x</sub> | A <sub>x</sub> |
|-----|----------------|----------------|
| 10  | 0.7656         | 1              |
| 9   | 0.7657         | 1              |
| 8   | 0.7656         | 1              |
| 7   | 0.7656         | 1              |
| 6   | 0.7656         | 1              |
| 5   | 0.7656         | 1              |
| 4   | 0.7656         | 1              |
| 3   | 0.7656         | 1              |
| 2   | 0.7656         | 1              |
| 1   | 0.7654         | 1              |

İkinci mertebe (P- Δ ) etkileri denklem 3.25’e göre belirlenen stabilite faktörü (θ)’nın 0.1’den büyük olduğu durumlarda dikkate alınmaktadır. Denkleme göre oluşturulan Çizelge 3.11’de hesaba ilişkin detaylar verilmektedir.

$$\theta = \frac{P_x \times \Delta \times I_e}{V_x \times h_{sx} \times C_d} \quad (3.25)$$

Burada:

P<sub>x</sub> : x’inci kat üzerindeki toplam düşey dizayn yükü

Δ : V<sub>x</sub>’e karşı gelen etkin görel kat yerdeğiştirmesi

V<sub>x</sub> : x’inci ve x-1’inci katlar arasına etki eden deprem kesme kuvveti

**Çizelge 3.11 : Stabilite faktörü ( $\theta$ ).**

| $P_x$ (kN) | $\Delta$ (m) | V (kN)    | $\theta$ |
|------------|--------------|-----------|----------|
| 5341       | 0.0265       | 645.0663  | 0.0183   |
| 13650      | 0.0309       | 1309.0989 | 0.0269   |
| 21959      | 0.0299       | 1873.1961 | 0.0292   |
| 30268      | 0.0304       | 2342.2841 | 0.0327   |
| 38577      | 0.0274       | 2721.6842 | 0.0324   |
| 46886      | 0.0253       | 3017.2125 | 0.0328   |
| 55195      | 0.0221       | 3235.3284 | 0.0314   |
| 63504      | 0.0191       | 3383.3741 | 0.0299   |
| 71813      | 0.0156       | 3470.0070 | 0.0269   |
| 80122      | 0.0140       | 3506.1540 | 0.0229   |

Kontrolü yapılacak bir diğer durum ise bağ kirişi dönme açılarıdır. Dışmerkez çaprazlı çelik çerçeveler için AISC 34-10 [2] Bölüm 4a'da bağ kirişi boyunun  $1.6M_p/V_p$  oranına eşit veya daha küçük olduğu durumlar için 0.08 rad olarak belirtilmiştir. Aynı yönetmeliğin [2] F3.4a kısmında plastik bağ kirişi dönme açısının nasıl hesaplanacağına dair izlenen hesap yöntemi denklem 3.26 ve 3.27'de ifade edilmektedir(Şekil 3.8).

$$\theta_p = \frac{\Delta_p}{h} \quad (3.26)$$

Burada:

$\theta_p$  : plastik görelî kat ötelemesi açısı

$\Delta_p$  : plastik görelî kat ötelemesi

$h$  : kat yüksekliği

$$\gamma_p = \frac{L}{e} \times \theta_p \quad (3.27)$$

Burada:

$\gamma_p$  : plastik bağ kirişi dönme açısı

$L$  : çerçeve açıklığı

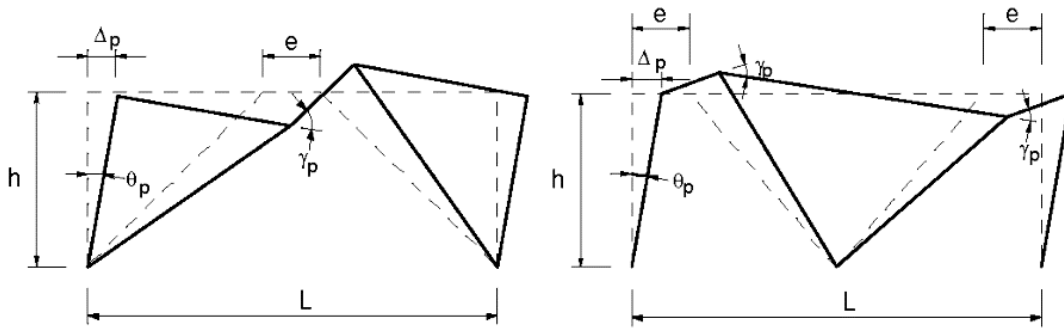
$e$  : bağ kirişi uzunluğu

$\theta_p$  : plastik görelî kat ötelemesi açısı

Bağ kirişî dönme açılarî Çizelge 3.12’de verilmiştir.

**Çizelge 3.12 :** Bağ kirişî dönme açılarî ( $\gamma_p$ ).

| $\Delta_p$ | $\theta_p$ | $\gamma_p$ |
|------------|------------|------------|
| 0.0198     | 0.0066     | 0.0515     |
| 0.0232     | 0.0077     | 0.0602     |
| 0.0224     | 0.0075     | 0.0582     |
| 0.0228     | 0.0076     | 0.0591     |
| 0.0205     | 0.0068     | 0.0533     |
| 0.0190     | 0.0063     | 0.0493     |
| 0.0166     | 0.0055     | 0.0430     |
| 0.0143     | 0.0048     | 0.0371     |
| 0.0117     | 0.0039     | 0.0303     |
| 0.0105     | 0.0030     | 0.0234     |



**Şekil 3.8 :** Bağ kiriş dönme açısı[2].

AISC 360-10’da [3] elemanların tasarımında etkili uzunluk yönteminin kullanılabilmesi için ikinci mertebe etkilerin dahil olduğu analiz sonucu maksimum görelî kat yerdeğîştirmelerinin, birinci mertebe analiz sonucu maksimum görelî kat yerdeğîştirmelerine oranının tüm katlarda 1.5 değêrinden az olması gerektiği ifade edilmektedir. Çizelge 3.13’de de görüleceği üzere tüm katlar için bu oranlar sınır değêrin altındadır. Dolayısıyla tasarımda etkin uzunluk (burkulma katsayıları metodu) yöntemi kullanılabilecektir.

Çizelge 3.14’de ise tüm modellere ilişkin kesit ve statik analiz sonucunda elde edilen oranlar yer almaktadır.

**Çizelge 3.13 :** İkinci ve birinci mertebe yerdeğiştirme ve oranları.

| Model 1        |                |        | Model 2        |                |        | Model 3        |                |        | Model 4        |                |        | Model 5        |                |        |
|----------------|----------------|--------|----------------|----------------|--------|----------------|----------------|--------|----------------|----------------|--------|----------------|----------------|--------|
| $\Delta_1$ (m) | $\Delta_2$ (m) | Oran   | $\Delta_1$ (m) | $\Delta_2$ (m) | Oran   | $\Delta_1$ (m) | $\Delta_2$ (m) | Oran   | $\Delta_1$ (m) | $\Delta_2$ (m) | Oran   | $\Delta_1$ (m) | $\Delta_2$ (m) | Oran   |
| 0.0066         | 0.0090         | 1.3557 | 0.0078         | 0.0106         | 1.3610 | 0.0070         | 0.0095         | 1.3587 | 0.0071         | 0.0097         | 1.3592 | 0.0088         | 0.0120         | 1.3652 |
| 0.0077         | 0.0105         | 1.3573 | 0.0083         | 0.0113         | 1.3623 | 0.0086         | 0.0117         | 1.3616 | 0.0079         | 0.0108         | 1.3630 | 0.0089         | 0.0121         | 1.3659 |
| 0.0075         | 0.0102         | 1.3585 | 0.0087         | 0.0119         | 1.3640 | 0.0083         | 0.0112         | 1.3627 | 0.0087         | 0.0118         | 1.3639 | 0.0091         | 0.0124         | 1.3677 |
| 0.0076         | 0.0103         | 1.3603 | 0.0085         | 0.0116         | 1.3655 | 0.0078         | 0.0106         | 1.3636 | 0.0084         | 0.0115         | 1.3671 | 0.0080         | 0.0110         | 1.3678 |
| 0.0068         | 0.0093         | 1.3601 | 0.0082         | 0.0112         | 1.3665 | 0.0076         | 0.0103         | 1.3648 | 0.0084         | 0.0115         | 1.3678 | 0.0081         | 0.0111         | 1.3686 |
| 0.0063         | 0.0086         | 1.3606 | 0.0072         | 0.0098         | 1.3659 | 0.0072         | 0.0099         | 1.3664 | 0.0070         | 0.0095         | 1.3677 | 0.0068         | 0.0093         | 1.3678 |
| 0.0055         | 0.0075         | 1.3594 | 0.0065         | 0.0089         | 1.3656 | 0.0066         | 0.0091         | 1.3666 | 0.0067         | 0.0092         | 1.3676 | 0.0069         | 0.0095         | 1.3688 |
| 0.0048         | 0.0065         | 1.3580 | 0.0056         | 0.0077         | 1.3642 | 0.0062         | 0.0085         | 1.3678 | 0.0052         | 0.0071         | 1.3646 | 0.0053         | 0.0072         | 1.3663 |
| 0.0039         | 0.0053         | 1.3550 | 0.0045         | 0.0062         | 1.3604 | 0.0051         | 0.0069         | 1.3645 | 0.0051         | 0.0069         | 1.3648 | 0.0051         | 0.0070         | 1.3646 |
| 0.0035         | 0.0047         | 1.3478 | 0.0030         | 0.0041         | 1.3520 | 0.0048         | 0.0066         | 1.3612 | 0.0024         | 0.0033         | 1.3417 | 0.0034         | 0.0047         | 1.3529 |

**Çizelge 3.14 : Modellerde kullanılan kesitler ve oranları.**

|         | Kat | Kesit   | Kiriş     |                     |                        | Çapraz |                     |       | Kolon   |                     |       |
|---------|-----|---------|-----------|---------------------|------------------------|--------|---------------------|-------|---------|---------------------|-------|
|         |     |         | Kayma     | Bağ Kirişi          | Bağ Kiriş Dışındaki K. | Kesit  | Basınç              | Çekme | Kesit   | Basınç              | Çekme |
|         |     |         | $V_r/V_c$ | $P_r/P_c + M_r/M_c$ |                        |        | $P_r/P_c + M_r/M_c$ |       |         | $P_r/P_c + M_r/M_c$ |       |
| Model 1 | 10  | W8X35   | 0.38      | 0.27                | 0.58                   | W10X45 | 0.79                | 0.62  | W8X40   | 0.25                | 0.18  |
|         | 9   | W8X35   | 0.74      | 0.53                | 0.61                   | W10X45 | 0.79                | 0.62  | W8X40   | 0.39                | 0.09  |
|         | 8   | W10X54  | 0.73      | 0.41                | 0.60                   | W10X54 | 0.75                | 0.62  | W10X68  | 0.42                | 0.14  |
|         | 7   | W10X54  | 0.88      | 0.49                | 0.61                   | W10X54 | 0.74                | 0.62  | W10X68  | 0.61                | 0.29  |
|         | 6   | W10X68  | 0.82      | 0.46                | 0.61                   | W10X68 | 0.73                | 0.61  | W10X88  | 0.67                | 0.34  |
|         | 5   | W10X68  | 0.89      | 0.50                | 0.62                   | W10X68 | 0.72                | 0.60  | W10X88  | 0.84                | 0.44  |
|         | 4   | W10X77  | 0.86      | 0.47                | 0.61                   | W10X77 | 0.71                | 0.59  | W12X136 | 0.66                | 0.38  |
|         | 3   | W10X77  | 0.89      | 0.49                | 0.61                   | W10X77 | 0.71                | 0.59  | W12X136 | 0.79                | 0.46  |
|         | 2   | W10X88  | 0.81      | 0.44                | 0.62                   | W10X77 | 0.77                | 0.64  | W14X176 | 0.70                | 0.43  |
|         | 1   | W10X100 | 0.84      | 0.45                | 0.59                   | W10X77 | 0.82                | 0.65  | W14X176 | 0.83                | 0.51  |
| Model 2 | 10  | W8X35   |           |                     | 0.11                   | W10X45 | 0.80                | 0.64  | W8X40   | 0.42                | 0.1   |
|         | 9   | W8X35   | 0.37      | 0.26                | 0.58                   | W10X49 | 0.77                | 0.67  | W8X40   | 0.70                | 0.37  |
|         | 8   | W10X49  | 0.55      | 0.29                | 0.57                   | W10X49 | 0.77                | 0.66  | W10X68  | 0.58                | 0.32  |
|         | 7   | W10X49  | 0.77      | 0.41                | 0.57                   | W10X54 | 0.84                | 0.73  | W10X68  | 0.82                | 0.47  |
|         | 6   | W10X60  | 0.79      | 0.42                | 0.58                   | W10X54 | 0.84                | 0.72  | W10X112 | 0.63                | 0.37  |
|         | 5   | W10X60  | 0.90      | 0.48                | 0.59                   | W10X68 | 0.83                | 0.71  | W10X112 | 0.83                | 0.50  |
|         | 4   | W10X77  | 0.80      | 0.41                | 0.56                   | W10X68 | 0.83                | 0.71  | W14X145 | 0.69                | 0.45  |
|         | 3   | W10X77  | 0.85      | 0.43                | 0.56                   | W10X77 | 0.75                | 0.65  | W14X145 | 0.83                | 0.54  |
|         | 2   | W10X77  | 0.89      | 0.45                | 0.53                   | W10X77 | 0.74                | 0.63  | W14X257 | 0.57                | 0.38  |
|         | 1   | W10X77  | 0.87      | 0.46                | 0.48                   | W10X77 | 0.60                | 0.33  | W14X257 | 0.63                | 0.44  |

**Çizelge 3.14 (devam) : Modellerde kullanılan kesitler ve oranları.**

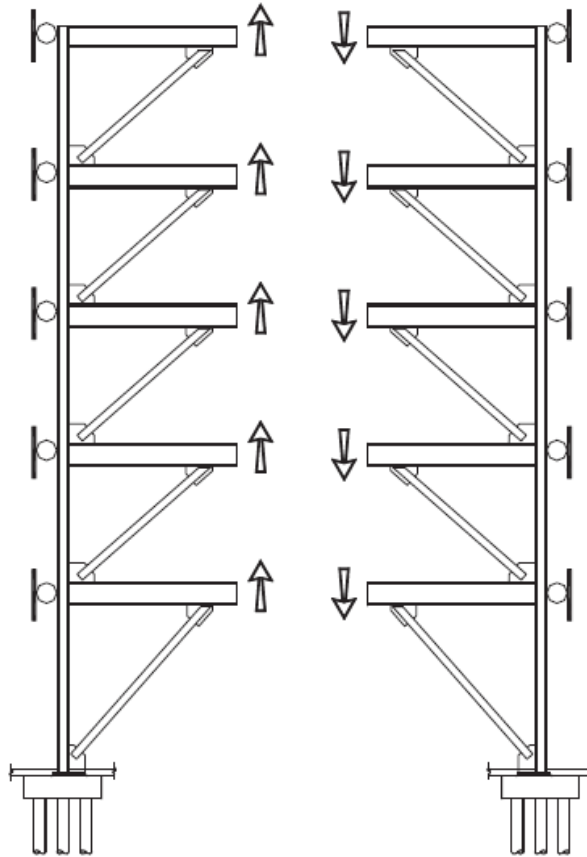
| Kat     | Kesit | Kiriş     |            |                        |      | Çapraz |                     |       | Kolon   |                     |       |
|---------|-------|-----------|------------|------------------------|------|--------|---------------------|-------|---------|---------------------|-------|
|         |       | Kayma     | Bağ Kirişi | Bağ Kiriş Dışındaki K. |      | Kesit  | Basınç              | Çekme | Kesit   | Basınç              | Çekme |
|         |       | $V_r/V_c$ |            | $P_r/P_c + M_r/M_c$    |      |        | $P_r/P_c + M_r/M_c$ |       |         | $P_r/P_c + M_r/M_c$ |       |
| Model 3 | 10    | W8X35     | 0.44       | 0.39                   | 0.38 | W10X39 | 0.73                | 0.68  | W10X68  | 0.55                | 0.45  |
|         | 9     | W8X35     | 0.82       | 0.60                   | 0.36 | W10X39 | 0.71                | 0.63  | W10X68  | 0.59                | 0.36  |
|         | 8     | W10X45    | 0.79       | 0.67                   | 0.39 | W10X39 | 0.83                | 0.68  | W12X96  | 0.62                | 0.37  |
|         | 7     | W10X68    | 0.77       | 0.56                   | 0.36 | W10X54 | 0.68                | 0.62  | W12X96  | 0.76                | 0.51  |
|         | 6     | W10X68    | 0.84       | 0.62                   | 0.36 | W10X54 | 0.68                | 0.61  | W12X136 | 0.71                | 0.48  |
|         | 5     | W10X77    | 0.85       | 0.63                   | 0.35 | W10X54 | 0.73                | 0.65  | W12X136 | 0.82                | 0.55  |
|         | 4     | W10X77    | 0.89       | 0.67                   | 0.34 | W10X54 | 0.72                | 0.64  | W14X176 | 0.72                | 0.50  |
|         | 3     | W10X77    | 0.94       | 0.71                   | 0.33 | W10X54 | 0.72                | 0.63  | W14X176 | 0.79                | 0.56  |
|         | 2     | W10X77    | 0.84       | 0.66                   | 0.35 | W10X54 | 0.71                | 0.60  | W14X233 | 0.76                | 0.57  |
|         | 1     | W12X120   | 0.86       | 0.25                   | 0.34 | W10X77 | 0.82                | 0.56  | W14X233 | 0.78                | 0.56  |
| Model 4 | 10    | W8X35     | 0.43       | 0.32                   | 0.46 | W10X39 | 0.83                | 0.66  | W10X68  | 0.45                | 0.43  |
|         | 9     | W10X88    |            |                        | 0.10 | W10X88 | 0.81                | 0.71  | W10X68  | 0.80                | 0.74  |
|         | 8     | W10X77    | 0.85       | 0.47                   | 0.36 | W10X45 | 0.77                | 0.54  | W10X88  | 0.66                | 0.44  |
|         | 7     | W10X49    |            |                        | 0.1  | W10X49 | 0.84                | 0.63  | W10X88  | 0.69                | 0.42  |
|         | 6     | W10X112   | 0.91       | 0.52                   | 0.39 | W10X49 | 0.76                | 0.58  | W12X120 | 0.83                | 0.62  |
|         | 5     | W10X49    |            |                        | 0.11 | W10X54 | 0.83                | 0.58  | W12X120 | 0.73                | 0.48  |
|         | 4     | W12X136   | 0.90       | 0.49                   | 0.34 | W10X54 | 0.74                | 0.54  | W14X176 | 0.78                | 0.59  |
|         | 3     | W10X60    |            |                        | 0.10 | W10X68 | 0.76                | 0.53  | W14X176 | 0.70                | 0.48  |
|         | 2     | W12X152   | 0.87       | 0.49                   | 0.31 | W10X54 | 0.74                | 0.50  | W14X211 | 0.82                | 0.62  |
|         | 1     | W10X60    |            |                        | 0.13 | W10X68 | 0.80                | 0.48  | W14X211 | 0.74                | 0.51  |

**Çizelge 3.14 (devam) : Modellerde kullanılan kesitler ve oranları.**

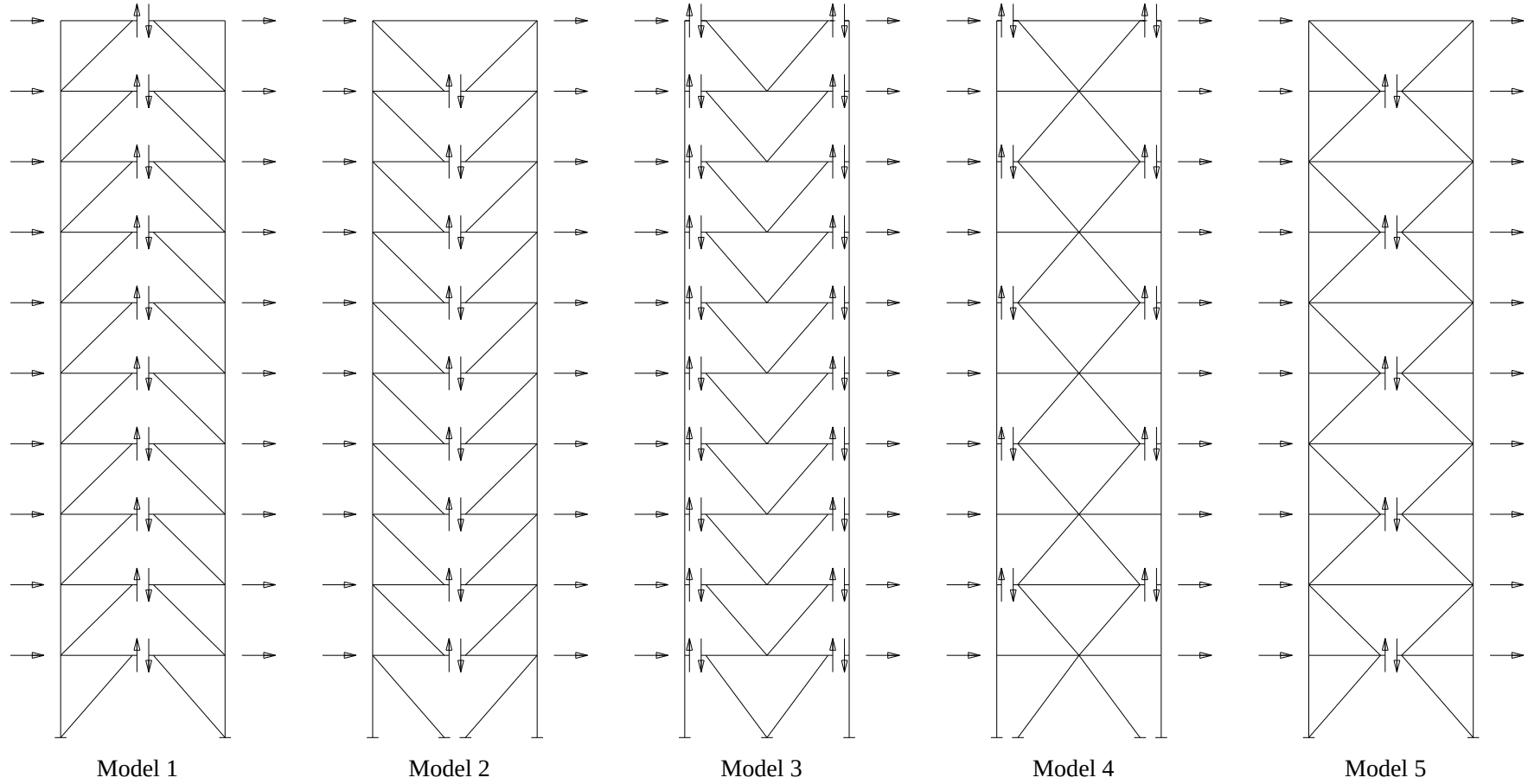
| Kiriş   |       |           |            |                        |       | Çapraz              |       |       | Kolon               |       |      |
|---------|-------|-----------|------------|------------------------|-------|---------------------|-------|-------|---------------------|-------|------|
| Kat     | Kesit | Kayma     | Bağ Kirişi | Bağ Kiriş Dışındaki K. | Kesit | Basınç              | Çekme | Kesit | Basınç              | Çekme |      |
|         |       | $V_r/V_c$ |            | $P_r/P_c + M_r/M_c$    |       | $P_r/P_c + M_r/M_c$ |       |       | $P_r/P_c + M_r/M_c$ |       |      |
| Model 5 | 10    | W8X35     |            |                        | 0.24  | W10X39              | 0.57  | 0.40  | W8X40               | 0.25  | 0.07 |
|         | 9     | W10X45    | 0.79       | 0.52                   | 0.41  | W10X45              | 0.73  | 0.51  | W8X40               | 0.34  | 0.07 |
|         | 8     | W10X60    |            |                        | 0.24  | W10X60              | 0.70  | 0.45  | W12X50              | 0.74  | 0.41 |
|         | 7     | W10X100   | 0.87       | 0.47                   | 0.39  | W10X60              | 0.75  | 0.52  | W12X50              | 0.80  | 0.37 |
|         | 6     | W10X77    |            |                        | 0.24  | W10X68              | 0.72  | 0.52  | W12X96              | 0.63  | 0.39 |
|         | 5     | W12X120   | 0.93       | 0.44                   | 0.39  | W10X68              | 0.75  | 0.52  | W12X96              | 0.69  | 0.40 |
|         | 4     | W10X77    |            |                        | 0.24  | W10X68              | 0.77  | 0.56  | W14X132             | 0.73  | 0.49 |
|         | 3     | W12X136   | 0.95       | 0.44                   | 0.40  | W10X68              | 0.81  | 0.56  | W14X132             | 0.75  | 0.47 |
|         | 2     | W10X88    |            |                        | 0.24  | W10X77              | 0.75  | 0.52  | W14X159             | 0.82  | 0.57 |
|         | 1     | W12X152   | 0.97       | 0.44                   | 0.39  | W10X77              | 0.80  | 0.51  | W14X159             | 0.86  | 0.56 |

#### 4. DIŞMERKEZ ÇAPRAZLI ÇELİK ÇERÇEVE ELEMANLARININ TASARIMI

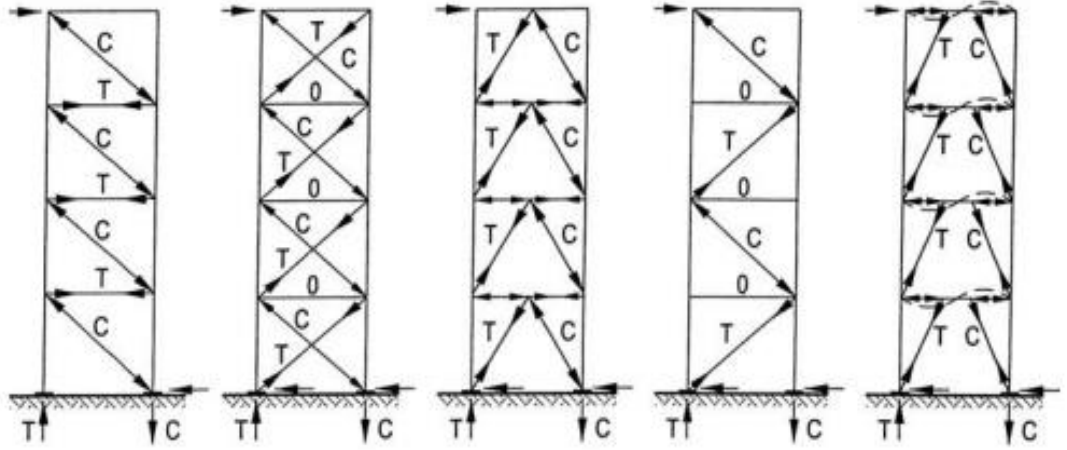
Dışmerkez çaprazlı çelik çerçevelerde bağ kiriőı akma sınır durumuna ulaőtığında bağ kiriőı dışında kalan sistem elemanlarının elastik bölgede kalacak şekilde boyutlandırılmasında AISC 327-12A'da [37] kullanılan yöntem takip edilmiştir. Bağ kiriőı dışında kalan elemanlarda deprem etkisiyle oluşan iç kuvvetler, bağ kiriőının beklenen kesme kuvveti kapasitesinin deprem etkisiyle bağ kirişinde oluşan kesme kuvvetine oranıyla arttırılmaktadır. Tüm modeller için aynı hesaplamalar yapılmış olup sadece Model 1'in 6.katındaki çerçeve elemanları için hesap detaylarına yer verilmiştir. Kolonlara gelen eksenel kuvvetin bulunmasında Şekil 4.1'de [35] verilen mekanizma durumu dikkate alınmıştır. Şekil 4.2, Şekil 4.1'e göre elde edilmiştir.



Şekil 4.1 : Dışmerkez çaprazlı çelik çerçeve sistemi mekanizma durumu[35].

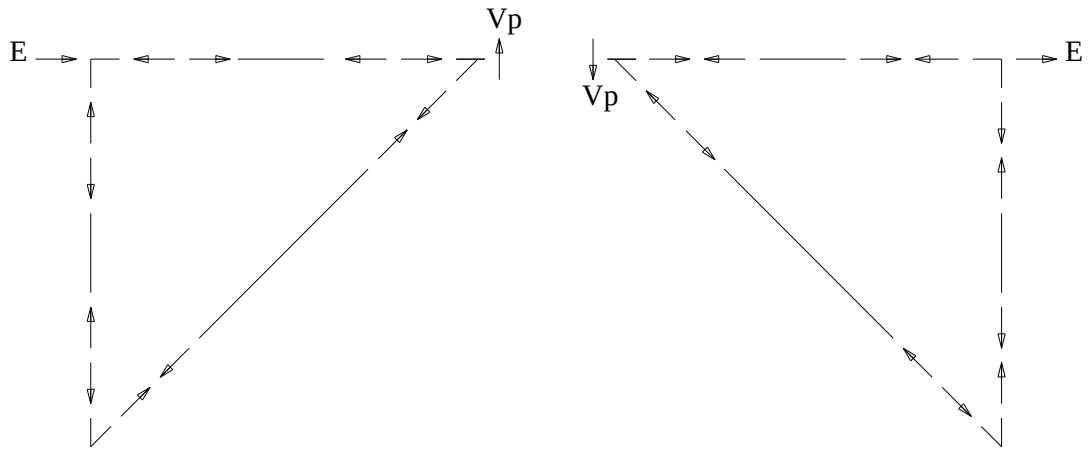


**Şekil 4.2 :** Modellere etkiyen yatay kuvvetler ve mekanizma durumları.



**Şekil 4.3 : Yatay kuvvetin aktarılması[38].**

Yatay yükün aktarılması sırasında çerçeve elemanlarında oluşan kuvvetler Şekil 4.3'den [38] faydalanılarak bulunmuştur. Şekil 4.4, Model 1 için yatay yükün aktarılmasını göstermektedir. Bu kısımda Model 1'in ilgili katına dair hesaplama yapılacağından dolayı sadece Model 1 ile ilgili olan çizime yer verilmektedir.



**Şekil 4.4 : Model 1 için yatay kuvvetin aktarılması.**

#### 4.1 Bağ Kirişi Elemanlarının Tasarımı

Bu kısımda, bağ kirişinin boyutlandırılmasıyla ilgili hesaplamalar yer almaktadır. Yük kombinasyonu, moment, eksenel kuvvet ve kesme kuvveti kapasitelerinin bulunması ifade edilecektir.

Yükler:

$$\begin{array}{lll} P_D = -0.058 \text{ kN} & V_D = 2.846 \text{ kN} & M_D = -6.8003 \text{ kNm} \\ P_{Ex} = 0 \text{ kN} & V_{Ex} = 308.769 \text{ kN} & M_{Ex} = -138.946 \text{ kNm} \\ P_{Ey} = 0 \text{ kN} & V_{Ey} = -14.696 \text{ kN} & M_{Ey} = 6.6131 \text{ kNm} \\ P_L = -0.029 \text{ kN} & V_L = 1.039 \text{ kN} & M_L = -3.1426 \text{ kNm} \end{array}$$

Kesit özellikleri: W10X68

$$\begin{array}{l} A = 1.2839 \times 10^{-2} \text{ m}^2 \\ d = 2.6416 \times 10^{-1} \text{ m} \\ b = 2.5654 \times 10^{-1} \text{ m} \\ t_f = 1.9558 \times 10^{-2} \text{ m} \\ t_w = 1.1938 \times 10^{-2} \text{ m} \\ I_x = 1.640 \times 10^{-4} \text{ m}^4 \\ I_y = 5.600 \times 10^{-5} \text{ m}^4 \\ Z_x = 1.398 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \\ S_x = 1.242 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \\ Z_y = 6.57 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \\ S_y = 4.35 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \\ r_x = 1.1302 \times 10^{-1} \text{ m} \\ r_y = 6.5911 \times 10^{-2} \text{ m} \\ J = 1.482 \times 10^{-6} \text{ m}^4 \end{array}$$

İlgili kombinasyon:

$$\begin{aligned} & 1.2D + \left( (1.3Q_{Ex} + 0.2S_{DS} \times D) - 0.3(1.3Q_{Ey} + 0.2S_{DS} \times D) \right) + 0.5 \times L \\ & 1.3779D + 1.3Q_{Ex} - 0.39Q_{Ey} + 0.5 \times L \end{aligned}$$

Gerekli dayanımlar:

$$V_u = 1.3779 \times 2.846 \text{ kN} + 1.3 \times 308.769 \text{ kN} - 0.39 \times -14.696 \text{ kN} + 0.5 \times 1.039 \text{ kN} = 411.572 \text{ kN}$$

İkinci merteye etkilerini içeren gerekli eksenel basınç kuvveti ve gerekli eğilme momentinin bulunabilmesi için AISC 360-10 [3] Ek 8'de verilen yöntem (denklem 4.1 ve 4.2) kullanılacaktır.

$$P_r = P_{nt} + B_2 \times P_{lt} \quad (4.1)$$

$$M_r = B_1 \times M_{nt} + B_2 \times M_{lt} \quad (4.2)$$

Burada:

$P_r$  : gerekli aksenal kuvvet dayanımı

$P_{nt}$  : yatay yerdeğiştirmesi önlenmiş sistem elemanında düşey yüklerden oluşan birinci mertebe aksenal kuvvet

$B_2$  : yapının ilgilenilen katında ve yatay öteleme doğrultusunda P-  $\Delta$  etkisini hesaba katan büyütme katsayı

$P_{lt}$  : yatay yerdeğiştirmesi önlenmemiş sistem elemanında yatay yüklerden oluşan birinci mertebe aksenal kuvvet

$M_r$  : gerekli moment dayanımı

$B_1$  : basınç ve eğilme etkisindeki elemanda P- $\delta$  etkisini hesaba katan katsayı (basınç kuvveti etkisinde olmayan elemanlarda 1'dir )

$M_{nt}$  : yatay yerdeğiştirmesi önlenmiş sistem elemanında düşey yüklerden oluşan birinci mertebe moment

$M_{lt}$  : yatay yer değiştirmesi önlenmemiş sistem elemanında yatay yüklerden oluşan birinci mertebe moment

P- $\delta$  etkisinin hesaba katılmasını sağlayan büyütme katsayısı AISC 360-10 [3] Ek 8'de denklem 4.3'de verilen şekilde ifade edilmiştir;

$$B_1 = \frac{C_m}{1 - \frac{\alpha \times P_r}{P_{e1}}} \geq 1 \quad (4.3)$$

$C_m$  : momentin eleman boyunca olan yayılışını dikkate alan katsayı (güvenli tarafta kalınarak 1 alınacaktır)

$\alpha$  : 1 (Yük ve Mukavemet Çarpanına Göre Tasarım için 1'dir)

$P_r$  : gerekli aksenal kuvvet dayanımı

$P_{e1}$  : kolonun elastik burkulma dayanımı (eleman uçlarının yanal ötelenmeye karşı tutulu olduğu varsayımı ile denklem 4.4’de ifade edildiği şekilde bulunur)

$$P_{e1} = \frac{\pi^2 \times E \times I}{(K \times L)^2} \quad (4.4)$$

E : elastisite modülü

I : ilgilenilen eğilme düzlemindeki enkesit atalet momenti

K : etkili uzunluk katsayısı (burkulma katsayısı)

L : eleman boyu

P-Δ etkisinin hesaba katılmasını sağlayan büyütme katsayısı AISC 360-10 [3] Ek 8’de denklem 4.5’de verilen şekilde ifade edilmiştir;

$$B_2 = \frac{1}{1 - \frac{\alpha \times P_{story}}{P_{e story}}} \geq 1 \quad (4.5)$$

$P_{story}$  : ilgili yükleme kombinasyonu altında ilgili kata etkiyen toplam düşey yük

$P_{e story}$  : dikkate alınan yatay öteleme doğrultusunda ilgili kat için elastik burkulma dayanımı (denklem 4.6’da verildiği şekilde hesaplanır)

$$P_{e story} = R_M \times \frac{H \times L}{\Delta_H} \quad (4.6)$$

H: dikkate alınan yatay yerdeğiştirme doğrultusunda  $\Delta_H$  değerinin elde edilmesinde kullanılan kat kesme kuvveti

L: kat yüksekliği

$\Delta_H$  : dikkate alınan yatay öteleme doğrultusunda ilgilenilen katın birinci mertebe görelî kat ötelemesi

$R_M = 1 - 0.15(P_{mf} / P_{story})$  dışmerkez çaprazlı çelik çerçevelerde 1 alınacaktır.

$P_{mf}$  : ilgili kat kolonlarındaki toplam düşey yük (yatay ötelemesi önlenmiş çerçevelerde 0)

Denklem 4.6 yardımıyla  $P_{e\text{ story}}$  aşağıdaki gibi bulundu.

$$P_{e\text{ story}} = 1 \times \frac{2721.6842 \text{ kN} \times 3 \text{ m}}{0.0069 \text{ m}} = 1192152.519 \text{ kN}$$

Sonrasında düşey ve hareketli yükler ile ilgili kombinasyon altında  $P_{\text{story}}$  aşağıdaki gibi bulundu.

$$\text{Sabit yük} = 1225 \text{ m}^2 \times (3.4 + 3.8 \times 4) \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + 3 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \times 4 \times 140 \text{ m} = 24465 \text{ kN}$$

$$\text{Hareketli yük} = 1225 \text{ m}^2 \times (0.96 + 2.64 \times 4) \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 14112 \text{ kN}$$

$$P_{\text{story}} = 1.3779 \times 24465 \text{ kN} + 0.5 \times 14112 \text{ kN} = 40766.3235 \text{ kN}$$

$B_2$ , ilgili diğer değerlerin denklem 4.5’de yerine koyulmasıyla elde edildi.

$$B_2 = \frac{1}{1 - \frac{1 \times 40766.3235 \text{ kN}}{1192152.519 \text{ kN}}} = 1.04$$

İkinci mertebe etkilerin dahil olduğu gerekli aksenal basınç kuvveti denklem 4.1’e göre;

$$P_r = 1.3779 \times -0.058 \text{ kN} + 1.04 \times 1.3 \times 0 \text{ kN} - 0.39 \times 0 \text{ kN} + 0.5 \times -0.029 \text{ kN} = -0.0944 \text{ kN}$$

olarak belirlendi.  $B_1$  değerinin bulunabilmesi için gerekli olan  $P_{e1}$  değeri

$$P_{e1} = \frac{\pi^2 \times 2 \times 10^8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \times 1.64 \times 10^{-4} \text{ m}^4}{(1 \times 0.9 \text{ m})^2} = 399658.0548 \text{ kN}$$

olarak denklem 4.4 yardımıyla belirlendikten sonra

$$B_1 = \frac{1}{1 - \frac{1 \times 0.0944 \text{ kN}}{399658.0548 \text{ kN}}} = 1 \geq 1$$

$B_1$  değeri 1 olarak bulundu. Gerekli moment değeri;

$$\begin{aligned} M_u &= 1.3779 \times -6.8003 + 1.04 \times 1.3 \times -138.946 - 0.39 \times 6.6131 + 0.5 \times -3.1426 \\ &= -201.3755 \text{ kNm} \end{aligned}$$

denklem 4.2 de ifade edilen şekilde bulundu. Bağ kirişinin boyutlandırılmasında eleman üzerine gelen kuvvetler belirlendi.

Kesit özelliklerinin kontrolü yapılırken süneklik ve narinlik durumları kontrol edilmektedir. AISC 341-10 [2] Tablo D1.1’de süneklik olması durumuna ilişkin sınır değerler verilmiştir. AISC 341-10 [2] Bölüm F3.5b’ye göre bağ kirişi elemanlarında yüksek süneklik özelliğine sahip kesitler kullanılmalıdır. Şayet bağ kirişi uzunluğu  $e < 1.6M_p/V_p$  koşulunu sağlarsa kısmi süneklikli kesitlerin de kullanılmasına müsaade edilmektedir. Yüksek sünek özellikleri taşıyan kesitlerin başlıkları ve gövdeleri denklem 4.7 ve denklem 4.8’de belirtilen sınır değerlerden küçük olması gerekir.

$$\frac{b}{t_f} < 0.30 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (4.7)$$

$b$ : başlık genişliği

$t_f$ : başlık kalınlığı

$F_y$ : akma dayanımı

$$\frac{h}{t_w} < \begin{cases} 2.45 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} \times (1 - 0.93 \times C_a) & \text{for } C_a \leq 0.125 \\ 0.77 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} \times (2.93 - C_a) \geq 1.49 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} & \text{for } C_a > 0.125 \end{cases} \quad C_a = \frac{P_u}{\Phi_c \times P_y} \quad (4.8)$$

$h$ : gövde yüksekliği

$t_w$ : gövde kalınlığı

$P_y$ : eksenel akma kuvveti dayanımı denklem 4.9’a göre hesaplanır

$$P_y = F_y \times A_g \quad (4.9)$$

Burada:

$A_g$ : eleman enkesit alanı

Denklem 4.7 ve 4.8’e göre belirlenen kesit özelliklerine göre başlık ve gövde yüksek süneklik özelliğine sahiptir.

$$\frac{2.565 \times 10^{-1} \text{ m}}{2 \times 1.9558 \times 10^{-2} \text{ m}} = 6.5574 < 0.30 \times \sqrt{\frac{2 \times 10^8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}{345000 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}} = 7.2232$$

$$P_y = 345000 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \times 1.2839 \times 10^{-2} = 4429.455 \text{ kN}$$

$$C_a = \frac{0.0944 \text{ kN}}{0.9 \times 4429.455 \text{ kN}} = 2.3680 \times 10^{-5}$$

$$\frac{1.9936 \times 10^{-1} \text{ m}}{1.1938 \times 10^{-2} \text{ m}} = 16.6996 < 2.45 \times \sqrt{\frac{2 \times 10^8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}{345000 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}} \times (1 - 0.93 \times 2.3680 \times 10^{-5}) = 58.9878$$

Kesit için limit durumun kesme kuvveti kapasitesine ulaşmasıyla beklendiği için  $e < 1.6 \text{ Mp}/V_p$  koşulunu sağlaması gerekmektedir.

$$\frac{P_u}{P_y} = \frac{0.0944 \text{ kN}}{4429.455 \text{ kN}} = 2.1311 \times 10^{-5} \quad P_c = P_y$$

$P_r/P_c$  oranının 0.15'den küçük olması halinde AISC 341-10'e [2] göre eksenel kuvvetin etkisinin bağ kirişinin kesme kuvveti kapasitesine etkisi ihmal edilebilir.

AISC 341-10 [2] Bölüm F3'de verilen akma sınır durumu için plastik kesme kuvveti kapasitesi, denklem 4.10'da ifade edilmiştir.

$$V_p = 0.6 \times F_y \times A_{tw} \quad (4.10)$$

Burada:

$A_{tw}$  :kayma alanı ( $A_{tw} = (d - 2 \times t_f) \times t_w$ ) olarak bulunur

Elemanın akma sınır durumu için plastik eğilme momenti kapasitesinin nasıl bulunacağı 4.11'de ifade edilmiştir (AISC 341-10 [2] Bölüm F3).

$$M_p = F_y \times Z \quad (4.11)$$

Burada:

Z: plastik mukavemet momenti

Denklem 4.10 ve denklem 4.11 kullanılarak elemanın akma sınır durumu için plastik moment ve kesme kuvveti dayanımları aşağıda ifade edilen şekilde bulunduktan sonra bağ kirişi uzunluğu kontrol edildi.

$$A_{tw} = (2.6416 \times 10^{-1} \text{ m} - 2 \times 1.9558 \times 10^{-2} \text{ m}) \times 1.1938 \times 10^{-2} \text{ m} = 2.6866 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$V_p = 0.6 \times 345000 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \times 2.6866 \times 10^{-3} \text{ m}^2 = 556.1262 \text{ kN}$$

$$M_p = 345000 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \times 1.398 \times 10^{-3} \text{ m}^3 = 482.31 \text{ kNm}$$

$$e = 0.9 \text{ m} < \frac{1.6 M_p}{V_p} = \frac{1.6 \times 482.31 \text{ kNm}}{556.1262 \text{ kN}} = 1.38 \text{ m}$$

Bağ kirişinin kayma etkisi altında dayanımını yitireceği kabulüyle hesap yapılmaktadır. Hem bu durumun teyit edilmesi hem de kesitin kesme kuvveti kapasitesinin netleştirilmesi amacıyla yapılan son kontrolle beraber karakteristik kesme kuvveti kapasitesi 556.1262 kN olarak belirlenmiştir.

$$V_n = \left[ \begin{array}{c} 0.6 \times F_y \times A_{tw} \\ \frac{2M_p}{e} \end{array} \right]_{\min} = \left[ \begin{array}{c} 556.1262 \text{ kN} \\ 1071.8 \text{ kN} \end{array} \right]_{\min} = 556.1262 \text{ kN}$$

Tasarım kayma dayanımı ise  $\Phi_c \times V_n = 0.9 \times 556.1262 \text{ kN} = 500.5136 \text{ kN}$  olarak belirlenmiştir.

Bağ kirişi plastik dönme açısı denklem 3.26 ve denklem 3.27'ye göre kontrol edilecektir. Sınır değer AISC 34-10 [2] Bölüm 4a'da bağ kirişi boyunun  $1.6M_p/V_p$  oranına eşit veya daha küçük olduğu durumlar için 0.08 radyan olarak belirtilmiştir.

$$\theta_p = \frac{(0.0274 \text{ m} - (0.0309 \text{ m} - 0.0240 \text{ m}))}{3 \text{ m}} = \frac{0.0205 \text{ m}}{3 \text{ m}} = 0.0068 \text{ rad}$$

$$\gamma_p = \frac{7 \text{ m}}{0.9 \text{ m}} \times 0.0068 \text{ rad} = 0.0529 \text{ rad} < 0.08 \text{ rad}$$

(Çizelge 3.12'de bu değer 0.0533 olarak verilmiştir bu virgülden sonraki kısımlara ait hassasiyetten kaynaklanmaktadır).

Karakteristik basınç dayanımının bulunması için öncelikle kesit özelliklerinin narinlik durumları AISC 360-10 [3] Bölüm B4'e göre kontrol edilecektir.

$$\frac{b}{t_f} = \frac{2.565 \times 10^{-1} \text{ m}}{2 \times 1.9558 \times 10^{-2} \text{ m}} = 6.5574 < 0.56 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.56 \times \sqrt{\frac{2 \times 10^8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}{345000 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}} = 13.4832 \quad (4.12)$$

Denklem 4.12'ye göre başlık narin değildir.

$$\frac{h}{t_w} = \frac{1.9936 \times 10^{-1} \text{ m}}{1.1938 \times 10^{-2} \text{ m}} = 16.6996 < 1.49 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.49 \times \sqrt{\frac{2 \times 10^8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}{345000 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}} = 35.8750 \quad (4.13)$$

Denklem 4.13'e göre gövde narin değildir.

K=1 olarak alınmıştır. Karakteristik basınç dayanımı denklem 4.14'e göre bulunacaktır.

$$P_n = F_{cr} \times A_g \quad (4.14)$$

$F_{cr}$ : kritik gerilme veya kritik burkulma yükü (denklem 4.15'de ifade edilen şekilde bulunur)

$$\frac{KL}{r} < 4.71 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} \text{ iken } F_{cr} = \left[ 0.658 \frac{F_y}{F_e} \right] \times F_y \quad (4.15)$$

Burada:

$F_e$ : eğilmeli burkulma durumunda elastik gerilme veya euler kritik yükü (denklem 4.16'ya göre bulunur)

$$F_e = \frac{\pi^2 \times E}{\left( \frac{KL}{r} \right)^2} \quad (4.16)$$

Buradan hareketle karakteristik basınç dayanımı denklem 4.14, 4.15 ve 4.16 kullanılarak aşağıdaki gibi belirlenir.

$$\frac{KL}{r} = \frac{1 \times 0.9 \text{ m}}{6.5911 \times 10^{-2} \text{ m}} = 13.65 < 4.71 \times \sqrt{\frac{2 \times 10^8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}{345000 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}} = 113.40$$

$$F_e = \frac{\pi^2 \times E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 \times 2 \times 10^8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}{(13.6548)^2} = 10586662.16 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$F_{cr} = \left[ 0.658 \frac{\frac{345000 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}{10586662.16 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}}{\frac{\text{kN}}{\text{m}^2}} \right] \times 345000 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 340326.2189 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$P_n = F_{cr} \times A_g = 340326.2189 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \times 1.2839 \times 10^{-2} \text{m}^2 = 4369.448 \text{kN}$$

Tasarım basınç dayanımı ise  $\Phi_c \times P_n = 0.9 \times 4369.448 \text{kN} = 3932.5032 \text{kN}$  olarak belirlenmiştir.

Karakteristik moment dayanımının bulunması için öncelikle kesit özelliklerinin kompakt olup olmama durumları AISC 360-10 [3] Bölüm B4'e göre kontrol edilecektir.

$$\frac{b}{t_f} = \frac{2.565 \times 10^{-1} \text{m}}{2 \times 1.9558 \times 10^{-2} \text{m}} = 6.5574 < 0.56 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.38 \times \sqrt{\frac{2 \times 10^8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}{345000 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}} = 9.1493 \quad (4.17)$$

Denklem 4.17'ye göre başlık kompakt kesit koşulunu sağlamaktadır.

$$\frac{h}{t_w} = \frac{1.9936 \times 10^{-1} \text{m}}{1.1938 \times 10^{-2} \text{m}} = 16.6996 < 3.76 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.49 \times \sqrt{\frac{2 \times 10^8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}{345000 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}} = 90.5302 \quad (4.18)$$

Denklem 4.18'e göre gövde kompakt kesit koşulunu sağlamaktadır.

Karakteristik moment dayanımı eleman tutulu boyunun (0.9 m) limit boylardan olan ve denklem 4.19'da ifade edilen tutulu olmayan en büyük uzunluk,  $L_p$ , değerinden küçük olmasından dolayı akma sınır durumuna karşılık gelir ve denklem 4.20'de ifade edildiği şekilde bulunur.

$$L_p = 1.76 \times r_y \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.76 \times 6.5911 \times 10^{-2} \text{ m} \times \sqrt{\frac{2 \times 10^8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}{345000 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}} = 2.793 \text{ m} \quad (4.19)$$

Burada:

$r_y$  : enkesitin y-y zayıf eksenine göre atalet yarıçapı

$$M_p = 345000 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \times 1.398 \times 10^{-3} \text{ m}^3 = 482.31 \text{ kNm} \quad (4.20)$$

Tasarım momenti ise  $\Phi_b \times M_n = 0.9 \times 482.31 \text{ kNm} = 434.079 \text{ kNm}$  olarak belirlenmiştir.

Eğilme ve basınç kuvveti etkisindeki elemanlar için, AISC 360-10 [3] H bölümüne göre, denklem 4.21’de ifade edilen şekilde kapasite oranları hesaplanır.

$$\frac{P_r}{P_c} < 0.2 \text{ iken } \frac{P_r}{2 \times P_c} + \left( \frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1 \quad (4.21)$$

$$\frac{P_r}{P_c} = \frac{0.0944 \text{ kN}}{4369.448 \text{ kN}} = 2.16 \times 10^{-5} < 0.2 \text{ olduğu için}$$

$$\frac{0.0944 \text{ kN}}{2 \times 4369.448 \text{ kN}} + \frac{201.3755 \text{ kNm}}{434.079 \text{ kNm}} = 0.49 \leq 1$$

## 4.2 Kolonların Tasarımı

Kolon tasarımında en önemli nokta kolona gelecek eksenel kuvvetin doğru belirlenmesidir. Daha öncede ifade edildiği üzere bağ kirişlerinin kayma etkisi altında akmasına karşılık gelen durumda tasarımları yapılmaktadır.

Yükler:

|                                |                               |                                 |                                  |
|--------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| $P_D = -523.971 \text{ kN}$    | $V_D = -0.587 \text{ kN}$     | $M_{D,2} = 0 \text{ kNm}$       | $M_{D,3} = 0.7099 \text{ kNm}$   |
| $P_{Ex} = -659.524 \text{ kN}$ | $V_{Ex} = -10.143 \text{ kN}$ | $M_{Ex,2} = 0.0167 \text{ kNm}$ | $M_{Ex,3} = 17.5721 \text{ kNm}$ |
| $P_{Ey} = 31.434 \text{ kN}$   | $V_{Ey} = 0.485 \text{ kN}$   | $M_{Ey,2} = 1.6429 \text{ kNm}$ | $M_{Ey,3} = -0.8398 \text{ kNm}$ |
| $P_L = -275.909 \text{ kN}$    | $V_L = -0.601 \text{ kN}$     | $M_{L,2} = 0 \text{ kNm}$       | $M_{L,3} = 0.8112 \text{ kNm}$   |

Artırılmış yükler:

$$\frac{0.88 \times 1.25 \times R_y \times V_p}{V_{Ex}} = \frac{0.88 \times 1.25 \times 1.1 \times 556.1262 \text{ kN}}{308.769 \text{ kN}} = 2.1793$$

İlgilenilen katın üzerindeki katlardaki bağ kirişlerinin kayma akması değerleri toplamı;

$$\sum_{\text{ilgili kat}}^{10} V_{p, \text{bağ kirişi}} = -357.1695 - 357.1695 - 530.3328 - 530.3328 \text{ kN} = -1775.0046 \text{ kN}$$

$$P_{Emh} = [2.1793 \times -659.524 \text{ kN} = -1437.3006 \text{ kN}; -1775.0046 \text{ kN}]_{\text{maks}} = -1775.0046 \text{ kN}$$

$$V_{Emh} = 2.1793 \times -10.143 \text{ kN} = -22.1046 \text{ kN}$$

$$M_{Emh,2} = 2.1793 \times 0.0167 = 0.0364 \text{ kN}$$

$$M_{Emh,3} = 2.1793 \times 17.5721 = 38.2949 \text{ kN}$$

Kesit özellikleri: W10X88

$$A = 1.6774 \times 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$d = 2.7432 \times 10^{-1} \text{ m}$$

$$b = 2.6162 \times 10^{-1} \text{ m}$$

$$t_f = 2.5146 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$t_w = 1.5367 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$I_x = 2.220 \times 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$I_y = 7.500 \times 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$Z_x = 1.8520 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$S_x = 1.620 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$Z_y = 8.7 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$S_y = 5.7 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$r_x = 1.1511 \times 10^{-1} \text{ m}$$

$$r_y = 6.6646 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$J = 3.134 \times 10^{-6} \text{ m}^4$$

İlgili kombinasyon:

$$1.2D + \left( (1.3Q_{Ex} + 0.2S_{DS} \times D) + 0.3(1.3Q_{Ey} + 0.2S_{DS} \times D) \right) + 0.5 \times L$$

$$1.5304D + 1Q_{Ex} + 0.39Q_{Ey} + 0.5 \times L$$

Gerekli dayanımlar:

$$V_u = 1.5304 \times -0.587 \text{ kN} + 1 \times -22.1046 \text{ kN} + 0.39 \times 0.485 \text{ kN} + 0.5 \times -0.601 \text{ kN} = -23.1143 \text{ kN}$$

İkinci merteye etkilerin dahil olduğu gerekli eksenel basınç kuvveti ve gerekli eğilme momentinin bulunabilmesi için AISC 360-10 [3] Ek 8’de verilen yöntem olan denklem 4.1 ve 4.2 kullanılacaktır. Kolonda oluşan yatay yükler bağ kirişinin akma durumuna karşı gelen yükler olduğu için P-Δ etkisinin hesaba katılması başka bir sonuç oluşturmaz çünkü zaten bağ kirişinin aktığı nihai duruma karşı gelen yüklerle çalışılmaktadır. Bu sebepten dolayı  $B_2=1$  alınacaktır. İkinci merteye etkilerin dahil olduğu gerekli eksenel basınç kuvveti denklem 4.1’e göre;

$$P_r = 1.5304 \times -523.971 \text{ kN} + 1 \times 1 \times -1775.0046 \text{ kN} + 0.39 \times 31.434 \text{ kN} + 0.5 \times -275.909 \text{ kN} \\ = -2702.585 \text{ kN}$$

$B_1$  değeri ise x ve y doğrultuları için denklem 4.3 ve 4.4 yardımıyla aşağıda belirtilen şekilde bulunmuştur.

$$P_{e1x} = \frac{\pi^2 \times 2 \times 10^8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \times 2.22 \times 10^{-4} \text{ m}^4}{(1 \times 3 \text{ m})^2} = 48690.048 \text{ kN}$$

$$B_{1x} = \frac{1}{1 - \frac{1 \times 2702.585}{48690.048 \text{ kN}}} = 1.0588 \geq 1$$

$$P_{e1y} = \frac{\pi^2 \times 2 \times 10^8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \times 7.5 \times 10^{-5} \text{ m}^4}{(1 \times 3 \text{ m})^2} = 16449.3407 \text{ kN}$$

$$B_{1y} = \frac{1}{1 - \frac{1 \times 2702.585}{16449.3407 \text{ kN}}} = 1.1966 \geq 1$$

Denklem 4.2 de ifade edilen şekilde;

$$M_{u,3} = 1.5304 \times 1.0588 \times 0.7099 + 1 \times 1 \times 38.2949 + 0.39 \times -0.8398 + 0.5 \times 1.0588 \times 0.8112 \\ = 39.5471 \text{ kNm}$$

$$M_{u,2} = 1.5304 \times 1.0588 \times 0 + 1 \times 1 \times 0.0167 + 0.39 \times 1.6429 + 0.5 \times 1.0588 \times 0 \\ = 1.1868 \text{ kNm}$$

Gerekli moment değerleri bulundu. Kolonun boyutlandırılmasında eleman üzerine gelen gerekli kuvvetler belirlendi.

Kolon kesitlerinin AISC 341-10 [2] Bölüm F3.5'e göre mutlak olarak sünek elemanlar için verilmiş limit değerleri sağlaması gerekmektedir. AISC 341-10 [2] Tablo D1.1 de süneklik durumuna ilişkin sınır değerler verilmiştir. Denklem 4.7 ve denklem 4.8'e göre başlık ve gövde yüksek süneklik özelliğine sahiptir.

$$\frac{b}{t_f} = \frac{2.6162 \times 10^{-1} \text{ m}}{2 \times 2.5146 \times 10^{-2} \text{ m}} = 5.2020 < 0.30 \times \sqrt{\frac{2 \times 10^8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}{345000 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}} = 7.2232$$

$$P_y = 345000 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \times 1.677 \times 10^{-2} = 5785.65 \text{ kN}$$

$$C_a = \frac{2702.585 \text{ kN}}{0.9 \times 5785.65 \text{ kN}} = 0.519$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{2.7432 \times 10^{-1} \text{ m}}{1.5367 \times 10^{-2} \text{ m}} = 17.8512$$

$$0.77 \times \sqrt{\frac{2 \times 10^8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}{345000 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}} \times (2.93 - 0.591) = 43.3647 \geq 1.49 \times \sqrt{\frac{2 \times 10^8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}{345000 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}} = 35.8750$$

$$17.8512 < 43.3647 \geq 35.8750$$

Karakteristik basınç dayanımının bulunması için öncelikle kesit özelliklerinin narinlik durumları AISC 360-10 [3] Bölüm B4'e göre kontrol edilecektir.

$$\frac{b}{t_f} = \frac{2.6162 \times 10^{-1} \text{ m}}{2 \times 2.5146 \times 10^{-2} \text{ m}} = 5.2020 < 0.56 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.56 \times \sqrt{\frac{2 \times 10^8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}{345000 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}} = 13.4832 \quad (4.22)$$

Denklem 4.22'ye göre başlık narin değildir.

$$\frac{h}{t_w} = \frac{2.7432 \times 10^{-1} \text{ m}}{1.5367 \times 10^{-2} \text{ m}} = 17.8512 < 1.49 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.49 \times \sqrt{\frac{2 \times 10^8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}{345000 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}} = 35.8750 \quad (4.23)$$

Denklem 4.23'e göre gövde narin değildir.

Eğilmeli burkulma için elastik gerilme hesabında, yatay ötelenmesi tutulu sistemlerde AISC 360-10'a [3] göre  $K=1$  alınabileceği için 1 olarak alınmıştır. Karakteristik basınç dayanımı denklem 4.14, 15 ve 16 kullanılarak aşağıdaki gibi belirlenir.

$$\frac{KL}{r} = \frac{1 \times 3\text{m}}{6.6646 \times 10^{-2}\text{m}} = 45.014 < 4.71 \times \sqrt{\frac{2 \times 10^8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}{345000 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}} = 113.40$$

$$F_e = \frac{\pi^2 \times E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 \times 2 \times 10^8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}{(45.014)^2} = 974169.4991 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$F_{cr} = \left[ 0.658^{\frac{345000 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}{974169.4991 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}} \right] \times 345000 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 297470.6979 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$P_n = F_{cr} \times A_g = 297470.6979 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \times 1.6774 \times 10^{-2} \text{m}^2 = 4989.7735 \text{kN}$$

Tasarım basınç dayanımı ise  $\Phi_c \times P_n = 0.9 \times 4989.7735 \text{kN} = 4490.7961 \text{kN}$  olarak belirlenmiştir.

Karakteristik moment dayanımının bulunması için öncelikle kesit özelliklerinin kompakt olup olmama durumları [3] Bölüm B4'e göre kontrol edilecektir.

$$\frac{b}{t_f} = \frac{2.6162 \times 10^{-1} \text{m}}{2 \times 2.5146 \times 10^{-2} \text{m}} = 5.2020 < 0.56 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.38 \times \sqrt{\frac{2 \times 10^8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}{345000 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}} = 9.1493 \quad (4.24)$$

Denklem 4.24'ye göre başlık kompakt kesit koşulunu sağlamaktadır.

$$\frac{h}{t_w} = \frac{2.7432 \times 10^{-1} \text{m}}{1.5367 \times 10^{-2} \text{m}} = 17.8512 < 3.76 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.49 \times \sqrt{\frac{2 \times 10^8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}{345000 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}} = 90.5302 \quad (4.25)$$

Denklem 4.25'e göre gövde kompakt kesit koşulunu sağlamaktadır.

Karakteristik moment dayanımının bulunmasında kompakt kesit için iki durum söz konusudur. İlk olarak eleman tutulu boyunun ( $L_b$ ) yönetmelikte [3] belirtilen tutulu olmayan en büyük uzunluk,  $L_p$ , değerinden küçük olmasıyla eleman plastik moment kapasitesine ulaşır. İkinci olarak eleman tutulu boyunun limit değerlerden büyük

olmasıyla düzlem dışına burkulma oluşacağı için plastik moment değerine erişmeden bu düzlem dışı deformasyonlar kapasiteyi belirler.

$$L_p = 1.76 \times r_y \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (4.26)$$

Burada:

$r_y$  : enkesitin y-y zayıf eksenine göre atalet yarıçapı

$$L_r = 1.95 \times r_{ts} \times \frac{E}{0.7 \times F_y} \sqrt{\frac{J \times c}{S_x \times h_0} + \sqrt{\left(\frac{J \times c}{S_x \times h_0}\right)^2 + 6.76 \left(\frac{0.7 \times F_y}{E}\right)^2}} \quad (4.27)$$

Burada:

$$r_{ts}^2 = \frac{I_y \times h_0}{2 \times S_x}$$

$c=1$

$J$ : burulma sabiti,

$h_0$  : başlık ağırlık merkezleri arasındaki mesafe(  $h_0 = d - t_f$  )

$L_p$  : tutulu olmayan en büyük uzunluk

$L_r$  : kritik tutulu olmayan boy

$r_{ts}$  : etkin dönme yarıçapı

Sınır değerler denklem 4.26 ve 4.27'ye göre

$$L_p = 1.76 \times 6.6646 \times 10^{-2} \text{ m} \times \sqrt{\frac{2 \times 10^8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}{345000 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}} = 2.8242 \text{ m}$$

$$r_{ts}^2 = \frac{7.500 \times 10^{-5} \text{ m}^4 \times (2.7432 \times 10^{-1} \text{ m} - 2.5146 \times 10^{-2} \text{ m})}{2 \times 1.620 \times 10^{-3} \text{ m}^3} = 5.7679 \times 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$r_{ts} = 7.5946 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$\frac{E}{0.7 \times F_y} = \frac{2 \times 10^8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}{0.7 \times 345000 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}} = 828.1574$$

$$\frac{J \times c}{S_x \times h_0} = \frac{3.134 \times 10^{-6} \text{m}^4 \times 1}{1.620 \times 10^{-3} \text{m}^3 \times (2.7432 \times 10^{-1} \text{m} - 2.5146 \times 10^{-2} \text{m})} = 7.7639 \times 10^{-3}$$

$$\frac{0.7 \times F_y}{E} = \frac{0.7 \times 345000 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}{2 \times 10^8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}} = 1.2075 \times 10^{-3}$$

$$L_r = 1.95 \times 7.5946 \times 10^{-2} \text{m} \times 828.1574 \sqrt{7.7639 \times 10^{-3} + \sqrt{(7.7639 \times 10^{-3})^2 + 6.76(1.2075 \times 10^{-3})^2}}$$

$$L_r = 15.6131 \text{m}$$

$$L_p = 2.8242 \text{m} < L_b = 3 \text{m} < L_r = 15.6131 \text{m}$$

Bu durumda elastik olmayan yanal burulmalı burkulma durumu söz konusu olmaktadır ve karakteristik moment kapasitesi denklem 4.28’de ifade edildiği şekilde bulunur.

$$M_n = C_b \left[ M_p - (M_p - 0.7 \times F_y \times S_x) \times \left( \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p \quad (4.28)$$

Burada:

$C_b$  : moment düzeltme katsayısı(güvenli tarafta alınarak 1 alındı)

Elemanın akma sınır durumu için plastik moment kapasitesinin denklem 4.11’de belirtilmiştir. Denklem 4.11 ve denklem 4.28 kullanılarak;

$$M_p = 345000 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \times 1.8520 \times 10^{-3} \text{m}^3 = 638.94 \text{kNm}$$

$$638.94 \text{kNm} - 0.7 \times 345000 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \times 1.620 \times 10^{-3} \text{m}^3 = 247.71 \text{kNm}$$

$$M_n = 1 \times \left[ 638.94 \text{kNm} - (247.71 \text{kNm}) \times \left( \frac{3 \text{m} - 2.8242 \text{m}}{15.6131 \text{m} - 2.8242 \text{m}} \right) \right] \leq 638.94 \text{kNm}$$

$$M_n = 635.534 \text{kNm} \leq M_p = 638.94 \text{kNm}$$

Kolon kesitinin güçlü asal eksenindeki eğilme tasarım momenti ise  $\Phi_b \times M_n = 0.9 \times 635.534 \text{kNm} = 571.9806 \text{kNm}$  olarak belirlenmiştir.

Kolon kesitinin zayıf asal eksenindeki eğilme tasarım momenti, AISC 360-10 [3] Bölüm F6’ya göre, denklem 4.29’da ifade edildiği gibidir.

$$M_n = M_p = F_y \times Z_y \leq 1.6 \times F_y \times S_y \quad (4.29)$$

Denklem 4.29 kullanılarak;

$$F_y \times Z_y = 345000 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \times 8.7 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$1.6 \times F_y \times S_y = 1.6 \times 345000 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \times 5.7 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$M_n = M_p = 300.15 \text{ kNm} \leq 314.64 \text{ kNm}$$

Kolon kesitinin zayıf asal eksenindeki eğilme tasarım momenti ise  $\Phi_b \times M_n = 0.9 \times 300.15 \text{ kNm} = 270.135 \text{ kNm}$  olarak belirlenmiştir.

Eğilme ve basınç kuvveti etkisindeki elemanlar için, AISC 360-10 [3] H bölümüne göre, denklem 4.21’de ifade edilen şekilde kapasite oranları hesaplanır.

$$\frac{P_r}{P_c} \geq 0.2 \text{ iken } \frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left( \frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1 \quad (4.30)$$

$$\frac{P_r}{P_c} = \frac{2702.585 \text{ kN}}{4490.7961 \text{ kN}} = 0.60 \geq 0.2 \text{ olduğu için}$$

$$\frac{2702.585 \text{ kN}}{4490.7961 \text{ kN}} + \frac{8}{9} \left( \frac{39.5471 \text{ kNm}}{571.9806 \text{ kNm}} + \frac{1.1868 \text{ kNm}}{270.135 \text{ kNm}} \right) = 0.67 \leq 1$$

### 4.3 Çapraz Elemanların Tasarımı

Çapraz elemanlar da bağ kirişlerinin akma durumuna karşı gelen yükler altında boyutlandırılırlar.

Yükler:

|                                |                              |                                 |
|--------------------------------|------------------------------|---------------------------------|
| $P_D = -21.916 \text{ kN}$     | $V_D = -0.506 \text{ kN}$    | $M_D = 2.1628 \text{ kNm}$      |
| $P_{Ex} = -503.097 \text{ kN}$ | $V_{Ex} = 12.728 \text{ kN}$ | $M_{Ex} = -54.4527 \text{ kNm}$ |
| $P_{Ey} = 23.944 \text{ kN}$   | $V_{Ey} = -0.606 \text{ kN}$ | $M_{Ey} = 2.5916 \text{ kNm}$   |
| $P_L = -8.79 \text{ kN}$       | $V_L = -0.234 \text{ kN}$    | $M_L = 1.0 \text{ kNm}$         |

Artırılmış yükler:

$$\frac{1.25 \times R_y \times V_p}{V_{Ex}} = \frac{1.25 \times 1.1 \times 556.1262 \text{ kN}}{308.769 \text{ kN}} = 2.4765$$

$$P_{Emh} = 2.4765 \times -503.097 \text{ kN} = -1245.9197 \text{ kN}$$

$$V_{Emh} = 2.4765 \times 12.728 \text{ kN} = 31.5209 \text{ kN}$$

$$V_{Emh} = 2.4765 \times 12.728 \text{ kN} = 31.5209 \text{ kN}$$

Kesit özellikleri: W10X68

$$A = 1.2839 \times 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$d = 2.6416 \times 10^{-1} \text{ m}$$

$$b = 2.5654 \times 10^{-1} \text{ m}$$

$$t_f = 1.9558 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$t_w = 1.1938 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$I_x = 1.640 \times 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$I_y = 5.600 \times 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$Z_x = 1.398 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$S_x = 1.242 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$Z_y = 6.57 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$S_y = 4.35 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$r_x = 1.1302 \times 10^{-1} \text{ m}$$

$$r_y = 6.5911 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$J = 1.482 \times 10^{-6} \text{ m}^4$$

İlgili kombinasyon:

$$1.2D + \left( (1.3Q_{Ex} + 0.2S_{DS} \times D) - 0.3(1.3Q_{Ey} + 0.2S_{DS} \times D) \right) + 0.5 \times L$$

$$1.3779D + 1Q_{Ex} - 0.39Q_{Ey} + 0.5 \times L$$

Gerekli dayanımlar:

$$V_u = 1.3779 \times -0.506 \text{ kN} + 1 \times 31.5209 \text{ kN} - 0.39 \times -0.606 \text{ kN} + 0.5 \times -0.234 \text{ kN} = 30.9430 \text{ kN}$$

İkinci merteye etkilerin dahil olduğu normal kuvvet ve momentin bulunabilmesi için AISC 360-10 [3] Ek 8'de belirtilen yöntem olan denklem 4.1 ve 4.2 kullanılacaktır. Çapraz elemanda oluşan yatay yükler bağ kirişinin akma durumuna karşı gelen yükler olduğu için P-Δ etkisinin hesaba katılması başka bir sonuç oluşturmayacaktır çünkü zaten bağ kirişinin aktığı nihai duruma karşılık gelen yüklerle çalışılmaktadır. Bu

sebepten dolayı  $B_2=1$  alınacaktır. İkinci merteye etkilerin dahil olduğu gerekli aksenal basınç kuvveti denklem 4.1'e göre;

$$P_r = 1.3779 \times -21.916 \text{ kN} + 1 \times 1 \times -1245.9197 \text{ kN} - 0.39 \times 23.944 \text{ kN} + 0.5 \times -8.79 \text{ kN} \\ = -1289.851 \text{ kN}$$

$B_1$  değeri ise denklem 4.3 ve 4.4 yardımıyla aşağıda belirtilen şekilde bulunmuştur.

$$P_{e1} = \frac{\pi^2 \times 2 \times 10^8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \times 1.640 \times 10^{-4} \text{ m}^4}{(1 \times 4.2781 \text{ m})^2} = 17687.7147 \text{ kN}$$

$$B_1 = \frac{1}{1 - \frac{1 \times 1289.851}{17687.7147 \text{ kN}}} = 1.0786 \geq 1$$

Denklem 4.2 de ifade edilen şekilde;

$$M_u = 1.3779 \times 1.0786 \times 2.1628 + 1 \times 1 \times -134.8521 - 0.39 \times 2.5916 + 0.5 \times 1.0786 \times 1 \\ = -132.1092 \text{ kNm}$$

Gerekli moment değeri bulundu. Çapraz elemanın boyutlandırılmasında eleman üzerine gelen kuvvetler belirlendi.

Çapraz eleman kesitlerinin AISC 341-10 [2] Bölüm F3.5'e göre mutlak olarak sünek elemanlar için verilmiş limit değerleri sağlaması gerekmektedir. AISC 341-10 [2] Tablo D1.1 de süneklik olması durumuna ilişkin sınır değerler verilmiştir. Denklem 4.7 ve denklem 4.8'e göre başlık ve gövde yüksek süneklik özelliğine sahiptir.

$$\frac{b}{t_f} = \frac{2.565 \times 10^{-1} \text{ m}}{2 \times 1.9558 \times 10^{-2} \text{ m}} = 6.5574 < 0.30 \times \sqrt{\frac{2 \times 10^8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}{345000 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}} = 7.2232$$

$$P_y = 345000 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \times 1.2839 \times 10^{-2} = 4429.455 \text{ kN}$$

$$C_a = \frac{1289.851 \text{ kN}}{0.9 \times 4429.455 \text{ kN}} = 0.3236$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{1.9936 \times 10^{-1} \text{ m}}{1.1938 \times 10^{-2} \text{ m}} = 16.6996$$

$$0.77 \times \sqrt{\frac{2 \times 10^8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}{345000 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}} \times (2.93 - 0.3236) = 48.3211 \geq 1.49 \times \sqrt{\frac{2 \times 10^8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}{345000 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}} = 35.8750$$

$$16.6996 < 48.3211 \geq 35.8750$$

Karakteristik basınç dayanımının bulunması için öncelikle kesit özelliklerinin narinlik durumları AISC 360-10 [3] Bölüm B4'e göre kontrol edilecektir.

$$\frac{b}{t_f} = \frac{2.565 \times 10^{-1} \text{ m}}{2 \times 1.9558 \times 10^{-2} \text{ m}} = 6.5574 < 0.56 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.56 \times \sqrt{\frac{2 \times 10^8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}{345000 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}} = 13.4832 \quad (4.31)$$

Denklem 4.31'ye göre başlık narin değildir.

$$\frac{h}{t_w} = \frac{1.9936 \times 10^{-1} \text{ m}}{1.1938 \times 10^{-2} \text{ m}} = 16.6996 < 1.49 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.49 \times \sqrt{\frac{2 \times 10^8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}{345000 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}} = 35.8750 \quad (4.32)$$

Denklem 4.32'e göre gövde narin değildir.

Eğilmeli burkulma için elastik gerilme hesabında, yatay ötelenmesi tutulu sistemlerde AISC 360-10'a [3] göre  $K=1$  alınabileceği için 1 olarak alınmıştır. Karakteristik basınç dayanımı denklem 4.14, 15 ve 16 kullanılarak aşağıdaki gibi belirlenir.

$$\frac{KL}{r} = \frac{1 \times 4.2781 \text{ m}}{6.5911 \times 10^{-2} \text{ m}} = 64.9072 < 4.71 \times \sqrt{\frac{2 \times 10^8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}{345000 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}} = 113.40$$

$$F_e = \frac{\pi^2 \times E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 \times 2 \times 10^8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}{(64.9072)^2} = 468537.107 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$F_{cr} = \left[ 0.658^{\frac{345000 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}{468537.107 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}} \right] \times 345000 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 253496.8479 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$P_n = F_{cr} \times A_g = 253496.8479 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \times 1.2839 \times 10^{-2} \text{ m}^2 = 3254.646 \text{ kN}$$

Tasarım basınç dayanımı ise  $\Phi_c \times P_n = 0.9 \times 3254.646 \text{ kN} = 2929.1814 \text{ kN}$  olarak belirlenmiştir.

Karakteristik moment dayanımının bulunması için öncelikle kesit özelliklerinin kompakt olup olmama durumları [3] Bölüm B4'e göre kontrol edilecektir.

$$\frac{b}{t_f} = \frac{2.565 \times 10^{-1} \text{ m}}{2 \times 1.9558 \times 10^{-2} \text{ m}} = 6.5574 < 0.56 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.38 \times \sqrt{\frac{2 \times 10^8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}{345000 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}} = 9.1493 \quad (4.33)$$

Denklem 4.33'ye göre başlık kompakt kesit koşulunu sağlamaktadır.

$$\frac{h}{t_w} = \frac{1.9936 \times 10^{-1} \text{ m}}{1.1938 \times 10^{-2} \text{ m}} = 16.6996 < 3.76 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.49 \times \sqrt{\frac{2 \times 10^8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}{345000 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}} = 90.5302 \quad (4.34)$$

Denklem 4.34'e göre gövde kompakt kesit koşulunu sağlamaktadır.

Karakteristik moment dayanımının bulunmasında kompakt kesitler için iki durum söz konusudur. İlk olarak eleman tutulu boyunun ( $L_b$ ) yönetmelikte [3] belirtilen tutulu olmayan en büyük uzunluk,  $L_p$ , değerinden küçük olmasıyla eleman plastik moment kapasitesine ulaşır. İkinci olarak eleman tutulu boyunun limit değerlerden büyük olmasıyla düzlem dışına burkulma oluşacağı için plastik moment değerine erişmeden bu düzlem dışı deformasyonlar kapasiteyi belirler.

Sınır değerler denklem 4.26 ve 4.27'ye göre;

$$L_p = 1.76 \times 6.5911 \times 10^{-2} \text{ m} \times \sqrt{\frac{2 \times 10^8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}{345000 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}} = 2.793 \text{ m}$$

$$r_{ts}^2 = \frac{5.600 \times 10^{-5} \text{ m}^4 \times (2.6416 \times 10^{-1} \text{ m} - 1.9558 \times 10^{-2} \text{ m})}{2 \times 1.242 \times 10^{-3} \text{ m}^3} = 5.5144 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$r_{ts} = 7.4259 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$\frac{E}{0.7 \times F_y} = \frac{2 \times 10^8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}{0.7 \times 345000 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}} = 828.1574$$

$$\frac{J \times c}{S_x \times h_0} = \frac{1.482 \times 10^{-6} \text{ m}^4 \times 1}{1.242 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \times (2.6416 \times 10^{-1} \text{ m} - 1.9558 \times 10^{-2} \text{ m})} = 4.8783 \times 10^{-3}$$

$$\frac{0.7 \times F_y}{E} = \frac{0.7 \times 345000 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}{2 \times 10^8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}} = 1.2075 \times 10^{-3}$$

$$L_r = 1.95 \times 7.4259 \times 10^{-2} \text{ m} \times 828.1574 \sqrt{4.8783 \times 10^{-3} + \sqrt{(4.8783 \times 10^{-3})^2 + 6.76(1.2075 \times 10^{-3})^2}}$$

$$L_r = 12.3929 \text{ m}$$

$$L_p = 2.793 \text{ m} < L_b = 4.2781 \text{ m} < L_r = 12.3929 \text{ m}$$

Bu durumda elastik olmayan yanal burulmalı burkulma durumu söz konusu olmaktadır ve karakteristik moment kapasitesi denklem 4.28'de ifade edildiği şekilde bulunur

Elemanın akma sınır durumu için plastik moment kapasitesinin denklem 4.11'de belirtilmiştir. Denklem 4.11 ve denklem 4.28 kullanılarak;

$$M_p = 345000 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \times 1.398 \times 10^{-3} \text{ m}^3 = 482.31 \text{ kNm}$$

$$482.31 \text{ kNm} - 0.7 \times 345000 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \times 1.242 \times 10^{-3} \text{ m}^3 = 182.367 \text{ kNm}$$

$$M_n = 1 \times \left[ 482.31 \text{ kNm} - (182.367 \text{ kNm}) \times \left( \frac{4.2781 \text{ m} - 2.793 \text{ m}}{12.3929 \text{ m} - 2.793 \text{ m}} \right) \right] \leq 482.31 \text{ kNm}$$

$$M_n = 454.098 \text{ kNm} \leq M_p = 482.31 \text{ kNm}$$

Çapraz elemanın eğilme tasarım momenti ise;

$$\Phi_b \times M_n = 0.9 \times 454.098 \text{ kNm} = 408.6882 \text{ kNm} \text{ olarak belirlenmiştir.}$$

Eğilme ve basınç kuvveti etkisindeki elemanlar için, AISC 360-10 [3] H bölümüne göre, denklem 4.21'de ifade edilen şekilde kapasite oranları hesaplanır.

$$\frac{P_r}{P_c} = \frac{1289.851 \text{ kN}}{2929.1814 \text{ kN}} = 0.44 \geq 0.2 \text{ olduğu için}$$

$$\frac{1289.851 \text{ kN}}{2929.1814 \text{ kN}} + \frac{8}{9} \times \frac{132.1092 \text{ kNm}}{408.6882 \text{ kNm}} = 0.73 \leq 1$$

#### 4.4 Bağ Kirişi Dışındaki Kiriş Parçasının Tasarımı

Bağ kirişi dışındaki kiriş parçasının tasarımı bu bölümde ele alınmaktadır.

Yükler:

|                                |                               |                                |
|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| $P_D = 15.175 \text{ kN}$      | $V_D = 12.882 \text{ kN}$     | $M_D = -8.9631 \text{ kNm}$    |
| $P_{Ex} = -366.006 \text{ kN}$ | $V_{Ex} = -34.948 \text{ kN}$ | $M_{Ex} = 84.4934 \text{ kNm}$ |
| $P_{Ey} = 0 \text{ kN}$        | $V_{Ey} = 1.663 \text{ kN}$   | $M_{Ey} = -4.0215 \text{ kNm}$ |
| $P_L = 6.056 \text{ kN}$       | $V_L = 5.291 \text{ kN}$      | $M_{L,2} = -4.143 \text{ kNm}$ |

Artırılmış yükler:

$$\frac{0.88 \times 1.25 \times R_y \times V_p}{V_{Ex}} = \frac{0.88 \times 1.25 \times 1.1 \times 556.1262 \text{ kN}}{308.769 \text{ kN}} = 2.1793$$

$$P_{Emh} = 2.1793 \times -366.006 \text{ kN} = -797.6369 \text{ kN}$$

$$V_{Emh} = 2.1793 \times -34.948 \text{ kN} = -76.1622 \text{ kN}$$

$$M_{Emh} = 2.4765 \times 84.4943 = 184.1384 \text{ kN}$$

Kesit özellikleri: W10X68

$$A = 1.2839 \times 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$d = 2.6416 \times 10^{-1} \text{ m}$$

$$b = 2.5654 \times 10^{-1} \text{ m}$$

$$t_f = 1.9558 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$t_w = 1.1938 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$I_x = 1.640 \times 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$I_y = 5.600 \times 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$Z_x = 1.398 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$S_x = 1.242 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$Z_y = 6.57 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$S_y = 4.35 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$r_x = 1.1302 \times 10^{-1} \text{ m}$$

$$r_y = 6.5911 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$J = 1.482 \times 10^{-6} \text{ m}^4$$

İlgili kombinasyon:

$$1.0221D - 1Q_{Ex} + 0.39Q_{Ey} + 0.5 \times L$$

Gerekli dayanımlar:

$$V_u = 1.0221 \times 12.882 \text{ kN} - 1 \times -76.1622 \text{ kN} + 0.39 \times 1.663 \text{ kN} + 0.5 \times 5.291 \text{ kN} = 92.6230 \text{ kN}$$

İkinci mertebeye etkilerin dahil olduğu normal kuvvet ve momentin bulunabilmesi için AISC 360-10 [3] Ek 8'de belirtilen yöntem olan denklem 4.1 ve 4.2 kullanılacaktır. Çapraz elemanda oluşan yatay yükler bağ kirişinin akma durumuna karşı gelen yükler olduğu için P-Δ etkisinin hesaba katılması başka bir sonuç oluşturmayacaktır çünkü zaten bağ kirişinin aktığı nihai duruma karşılık gelen yüklerle çalışılmaktadır. Bu

sebepten dolayı  $B_2 = 1$  alınacaktır. İkinci mertebe etkilerin dahil olduğu gerekli eksenel kuvvet denklem 4.1'e göre;

$$P_r = 1.0221 \times 15.175 \text{ kN} - 1 \times 1 \times -797.6369 \text{ kN} + 0.39 \times 0 \text{ kN} + 0.5 \times 6.056 \text{ kN} \\ = 816.1753 \text{ kN}$$

$B_1$  değeri ise denklem 4.3 ve 4.4 yardımıyla aşağıda belirtilen şekilde bulunmuştur.

$$P_{e1} = \frac{\pi^2 \times 2 \times 10^8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \times 1.640 \times 10^{-4} \text{ m}^4}{(1 \times 1.525 \text{ m})^2} = 139198.2905 \text{ kN}$$

$$B_1 = \frac{1}{1 - \frac{1 \times 816.1753 \text{ kN}}{139198.2905 \text{ kN}}} = 1.0059 \geq 1$$

Denklem 4.2 de ifade edilen şekilde;

$$M_u = 1.0221 \times 1.0059 \times -8.9631 - 1 \times 1 \times 184.1384 + 0.39 \times -4.0215 + 0.5 \times 1.0059 \times -4.143 \\ = -197.0057 \text{ kNm}$$

Gerekli moment değeri bulundu. Bağ kirişi dışında kalan kiriş parçası için elemanın boyutlandırılmasında eleman üzerine gelen kuvvetler belirlendi.

Bağ kirişi dışındaki kiriş parçası bağ kirişi ile aynı kesit özelliklerine sahip olduğundan dolayı ilgili kesit kontrolleri (süneklik, kompakt, narin) bağ kirişi boyutlandırılmasında kontrol edilmiş olup burada tekrar edilmeyecektir. Denklem 4.7 ve 4.8'e göre belirlenen kesit özelliklerine göre başlık ve gövdenin yüksek süneklik özelliğine sahip olduğu Bölüm 4.1'de ifade edilmiştir.

Eleman üzerindeki eksenel kuvvet çekme olmasından dolayı karakteristik çekme dayanımı denklem 4.35'e göre belirlenecektir.

$$P_n = F_y \times A_g = 345000 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \times 1.2839 \times 10^{-2} \text{ m}^2 = 4429.455 \quad (4.35)$$

Tasarım çekme dayanımı ise  $\Phi_c \times P_n = 0.9 \times 4429.455 \text{ kN} = 3986.5095 \text{ kN}$  olarak belirlenmiştir.

Karakteristik moment dayanımının bulunması için öncelikle kesitin kompakt olduğu bölüm 4.1'de ifade edilmiştir.

Karakteristik moment dayanımı eleman tutulu boyunun (1.525 m) limit boylardan olan ve denklem 4.19’da ifade edilen  $L_p$  değerinden küçük olmasından dolayı plastik momente karşılık gelir ve denklem 4.20’de ifade edildiği şekilde bulunur.

Tasarım momenti ise  $\Phi_b \times M_n = 0.9 \times 482.31 \text{ kNm} = 434.079 \text{ kNm}$  olarak belirlenmiştir.

Eğilme ve basınç kuvveti etkisindeki elemanlar için, AISC 360-10 [3] H bölümüne göre, denklem 4.21’de ifade edilen şekilde kapasite oranları hesaplanır.

$$\frac{P_r}{P_c} = \frac{816.1753 \text{ kN}}{3986.5095 \text{ kN}} = 0.21 \geq 0.2 \text{ olduğu için}$$

$$\frac{816.1753 \text{ kN}}{3986.5095 \text{ kN}} + \frac{8}{9} \times \frac{197.0057 \text{ kNm}}{434.079 \text{ kNm}} = 0.61 \leq 1$$

## **5. DIŞMERKEZ ÇAPRAZLI ÇELİK ÇERÇEVE MODELLERİNİN DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZİ**

### **5.1 Malzeme Davranış Modeli**

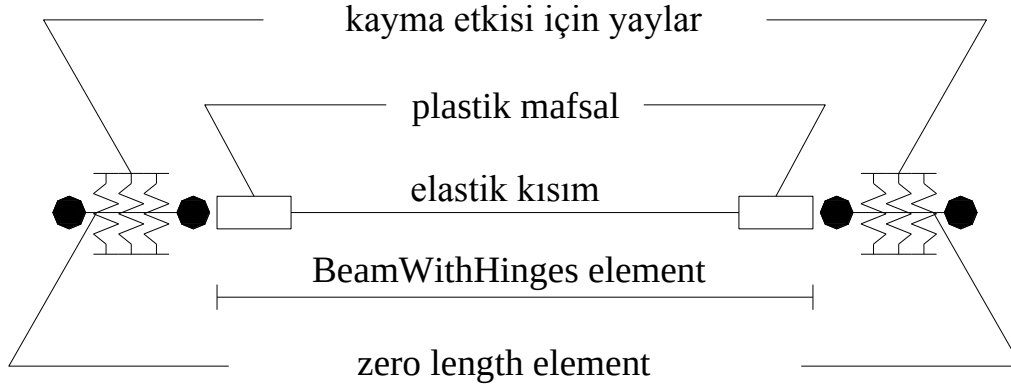
Kesitlerde kullanılacak malzemelerin tanımlanmasında “uniaxialMaterial” komutu ile iőleme alınan “Steel02” malzemesi kullanıldı. Pekleşme etkisi belirli parametreler ile dikkate alınmaktadır. Bağ kirişinin kendine has durumunu modelleyebilmek için “uniaxialMaterial Parallel” özelliğinden faydalanılmıştır.

### **5.2 Kolon, Kirişler ve apraz Elemanların Modellenmesi**

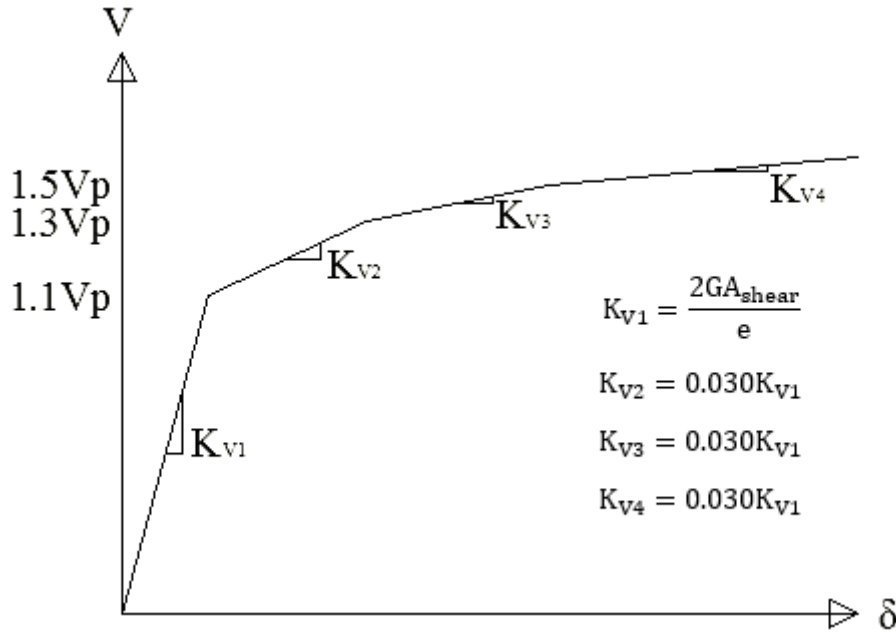
Kolon, bağ kiriőı dışında kalan kiriş ve çapraz elemanlar “nonlinearBeamColumn” özelliği ile temsil edilmektedirler. Kolon ve çapraz elemanlarda ikinci merteye etkileri dikkate alınmıştır. Bu duruma ek olarak modelleme yapılırken başlangıç kusuru (initial imperfection) olarak çaprazlarda herhangi bir burkulma davranıőının meydana gelmesi durumunun incelenebilmesi maksadıyla AISC 360-10 [3] ‘da da ifade edildiği üzere eleman boyunun 500’de birine karşı gelen başlangıç kusuru da dikkate alındı.

### **5.3 Bağ Kiriőı Modeli**

Bağ kiriőı ise “beamWithHinges” özelliği ile temsil edildi. Bağ kirişinin modellemesinde doğrusal olmayan davranıőını temsilen Ramadan ve Ghobarah[39] tarafından geliştirilen (Şekil 5.1), sonrasında Richards ve Uang [40] tarafında kısmi değişik yapılan ve şekil 5.2’de de görülen yöntem kullanılmıştır. Bu şekilde eğilme etkisine karşılık iki ucunda plastik mafsallar oluşan bağ kirişinin, kayma etkisi ise eksenel doğrultuda çalıőan üç yay tarafından yürütülmektedir. Bahsi geçen yayların her biri bağ kiriőı kayma dayanımına göre ideal elastoplastik davranışı temsil edecek şekilde tanımlamıőtır. Yaylar için “uniaxialMaterial Parallel” malzemesi tanımlanmıőtır. Bağ kirişinin her iki ucundaki kayma davranışı “ZeroLengt Element” eleman ve paralel tanımlı malzeme kullanılarak modellenmiőtır.



Şekil 5.1 : Bağ kirişi davranış modeli[39].



Şekil 5.2 : Paralel bağlı yay davranışı[40].

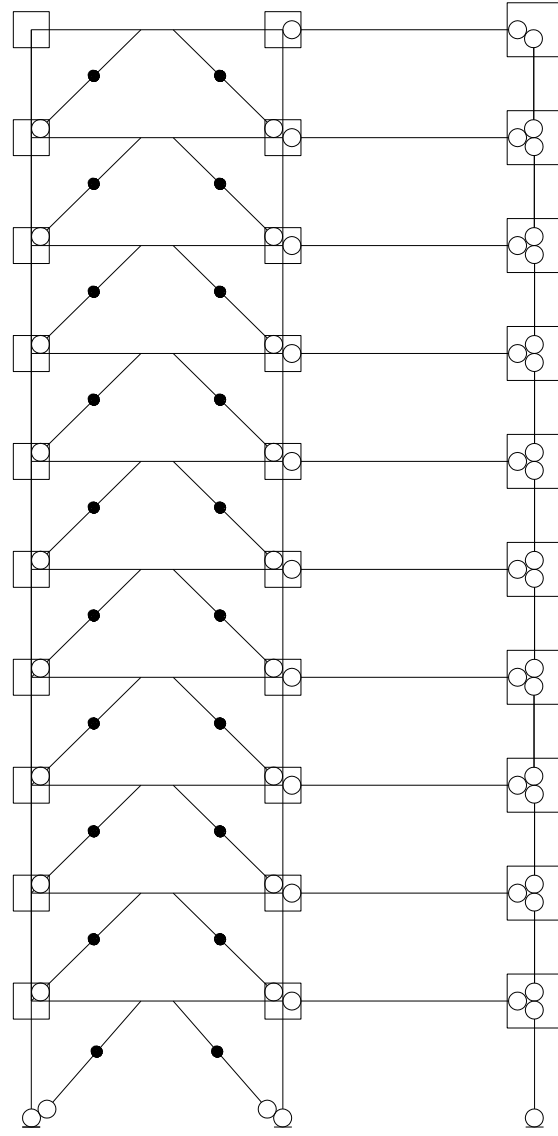
#### 5.4 OpenSEES Analitik Modelleri

Modeller oluşturulurken öncelikli olarak modelde kullanılacak olan elemanların atanacağı düğüm noktalarının koordinatları seçilmiş koordinat takımına göre belirlendi. Sonrasında malzemeler tanımlandı. Malzemelerin tanımlanmasının ardından SAP2000[4] programında statik analizi yapılarak AISC 341-10 [2] ve AISC 360-10'a [3] göre belirlenen kesitlerin tanımlanmasına geçildi. OpenSEES[5] modelinde kullanılacak kesitlerin başlık kalınlığı, gövde kalınlığı, başlık genişliği ve gövde yüksekliği gibi kesite ait özelliklerin ilgili yerlerde tanımlanmasının ardından "Wsection" komutu ile kullanılacak kesitler elde edilmiş oldu. Tanımlanmış kesitler

düğüm noktaları belli olan elemanlara atandı. Modelin dışmerkez çaprazlı çerçeve haricini kütle ve yük açısından ifade etmeye yarayan kısımlar için sadece eksenel yük taşıyan “truss” eleman kullanıldı. Modellerde mafsallı özelliği ise “ZeroLength Element” vasıtasıyla sağlandı. Mesnet şartları ve elemanların düzlem dışına hareketlerinin kısıtlanması SAP2000 [4] deki modellere uygun olarak gerçekleştirildi. Bu şekilde sistem modelinin gerçek durumu temsil etme kapasitesi elde edildi. Yük ve kütle atanması aşamasında ise SAP2000 [4]’de kurulan modele sadık kalınarak OpenSEES’de [5] modeli oluşturulan kısma karşılık gelen oranda yayılı yükler yayılı olarak tekil yükler ise noktasal olarak sisteme etkitildi. Kat kütlelerin ise belirli noktalarda toplandığı kabul edilip bu noktalara kütle ataması yapıldı. Farklı olan tek unsur kombinasyonlar yerine düşey tüm yükler belli oranlar dahilinde tek bir değer olarak ele alındı ( $D+0.25L$ ). Kurulan modelin doğrulanması ise OpenSEES [5] ve SAP2000 [4] programlarının her ikisinden de serbest titreşim analizleri neticesinde elde edilen periyot değerlerinin karşılaştırılmasıyla sağlandı. Yapı sistemin tamamının yer aldığı üç boyutlu modelin ilgili doğrultusundaki ilk üç serbest titreşim periyodu ile OpenSEES’de [5] modellenen dışmerkez çaprazlı çelik perde modelinin ilk üç serbest titreşim periyodunun karşılaştırılmasından modelin yeterli bir yaklaşıklıkla temsil edilebileceği kabul edilmiştir(Çizelge 5.1).

**Çizelge 5.1 :** Modellerin SAP2000 ve OpenSEES periyotları.

| Model   | SAP2000 | OpenSEES | Model   | SAP2000 | OpenSEES |
|---------|---------|----------|---------|---------|----------|
| Model 1 | 1.3246  | 1.3460   | Model 2 | 1.4106  | 1.4276   |
|         | 0.4471  | 0.4576   |         | 0.4286  | 0.4371   |
|         | 0.2748  | 0.2530   |         | 0.2747  | 0.2407   |
| Model 3 | 1.4378  | 1.4523   | Model 4 | 1.3984  | 1.3856   |
|         | 0.4668  | 0.4760   |         | 0.4485  | 0.4414   |
|         | 0.2742  | 0.2680   |         | 0.2742  | 0.2450   |
| Model 5 | 1.4242  | 1.4025   |         |         |          |
|         | 0.4570  | 0.4459   |         |         |          |
|         | 0.2475  | 0.2406   |         |         |          |

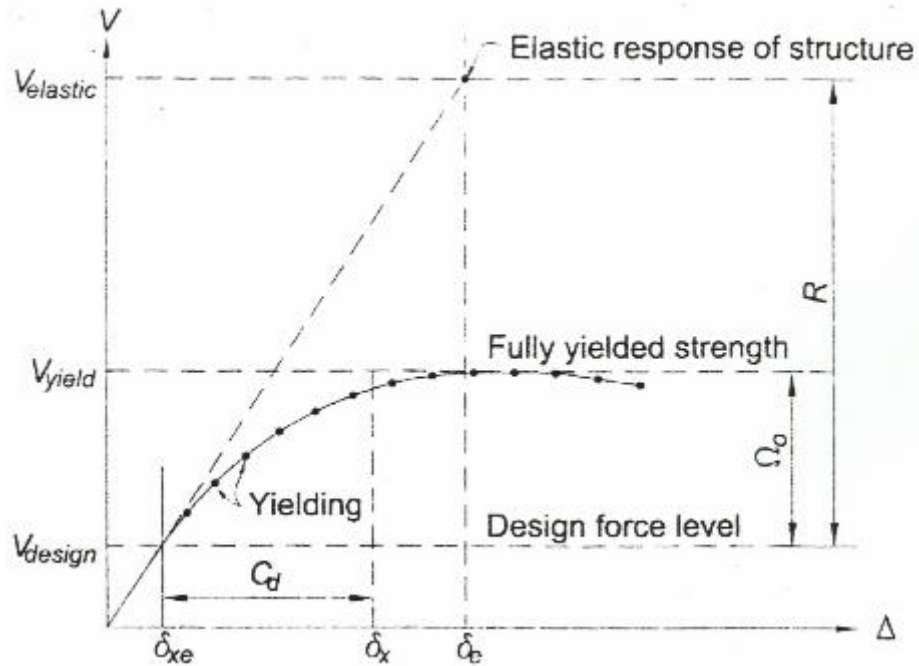


- kütle
- mafsal
- başlangıç kusuru

**Şekil 5.3 :** Dışmerkez çaprazlı çelik çerçeve analitik modeli.

## 6. DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZ SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Yapı sistemlerine etkiyen deprem kuvvetleri, yerdeğiştirme ve sistem kapasitesine ilişkin uygulanan detaylar en genel haliyle Şekil 6.1’de [2] ifade edildiği gibidir. Bu çalışmada deprem kuvveti taşıyıcı sistem davranış katsayısı ( $R$ ) ile azaltılırken, yerdeğiştirmeler deplasman büyütme katsayısı ( $C_d$ ) ile artırılmış ve bazı elemanlardaki deprem kuvvetleri de dayanım fazlalığı katsayısı ( $\Omega$ ) ile artırılmıştır. Bu sebepten sistemlerin deprem yükleri altındaki elastik ötesi davranışların da grafikte belirtilen şekil ile benzerlik göstermesi beklenmekle beraber, bu durumun kurulan modellere ve malzeme davranışlarının tanımlarına göre değişiklik de gösterebileceğini ifade etmek gerekir.



Şekil 6.1 : Elastik olmayan kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi[2].

## 6.1 Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi

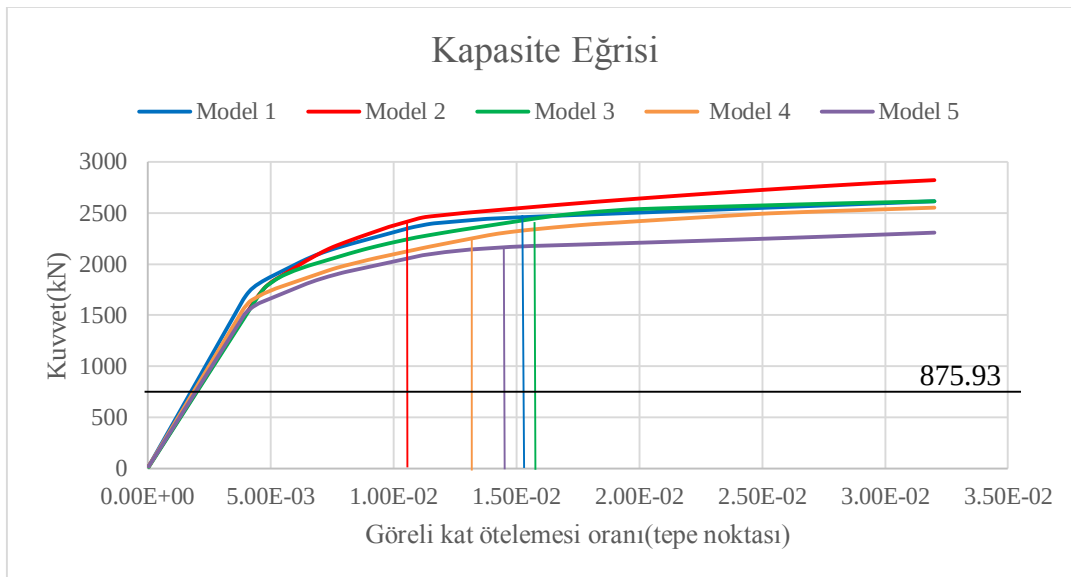
Doğrusal olmayan statik itme (pushover) analizi için yapıya etkitilen yüklerin belirlenmesinde Chao ve diğerleri [41] tarafından geliştirilen yöntem kullanılmıştır. Bu yöntemde katlara yatay yük dağılımı yapının inelastik davranışı esas alınarak yapılmaktadır. Böylelikle sisteme etkitilen yüklerin gerçek durumu daha yakından temsil etmesi amaçlandı.

Görelî kat ötelemelerinin %2 ile sınırlandırılması sonucunda elde edilen bu bölümde kolonlar, bağ kirişleri, çaprazlar ve bağ kirişi dışında kalan kiriş bölümlerinin istem/kapasite oranlarına bakılmaktadır. Basınç etkisi altındaki kolon ve çapraz elemanların etkileşimli istem/kapasite oranları denklem 6.1’de [42] ifade edildiği şekilde bulunmuştur. Çekme kuvveti altındaki kolon ve çapraz elemanlar için de denklem 6.2’de verilen ifadeden faydalanılmıştır.

$$\frac{P_u}{P_n} + \frac{C_m \times M}{M_p \left(1 - \frac{P_u}{P_e}\right)} \quad (6.1)$$

$$\frac{P_u}{P_n} + \frac{M_u}{M_n} \quad (6.2)$$

Sistemlerin tepe yerdeğiştirmeleri ile taban kesme kuvvetleri kullanılarak elde edilen kapasite eğrileri Şekil 6.2’de ifade edildiği gibidir.

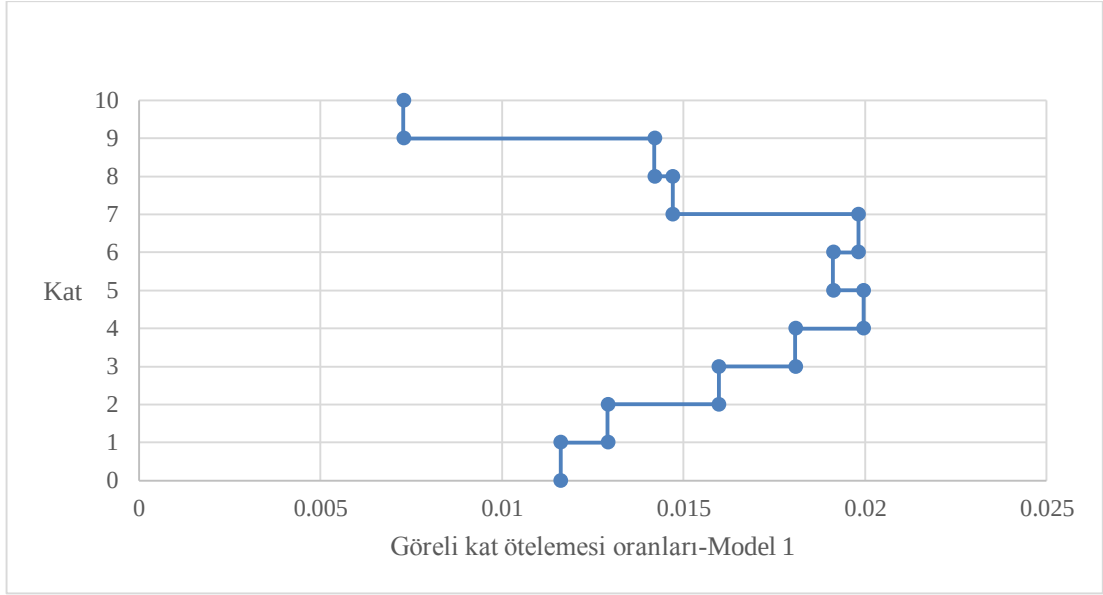


Şekil 6.2 : Tüm modellere ait kapasite eğrisi.

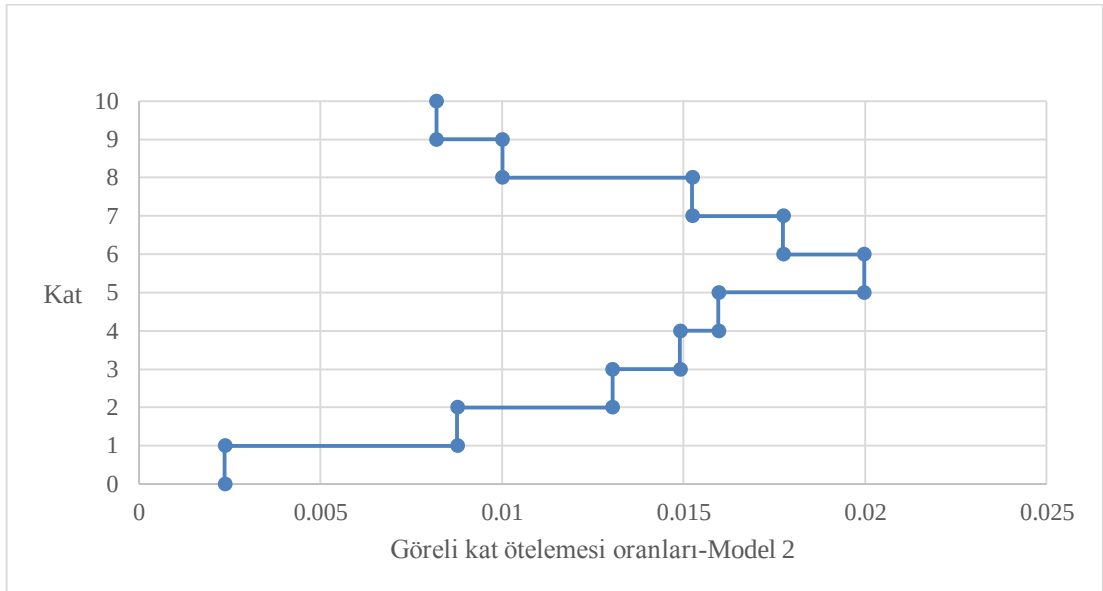
Dayanım fazlalığı katsayıları sistemler için sırasıyla 2.81, 2.84, 2.82, 2.59, 2.47 olarak belirlenmiştir.

## 6.2 Görelî Kat Ötelemeleri

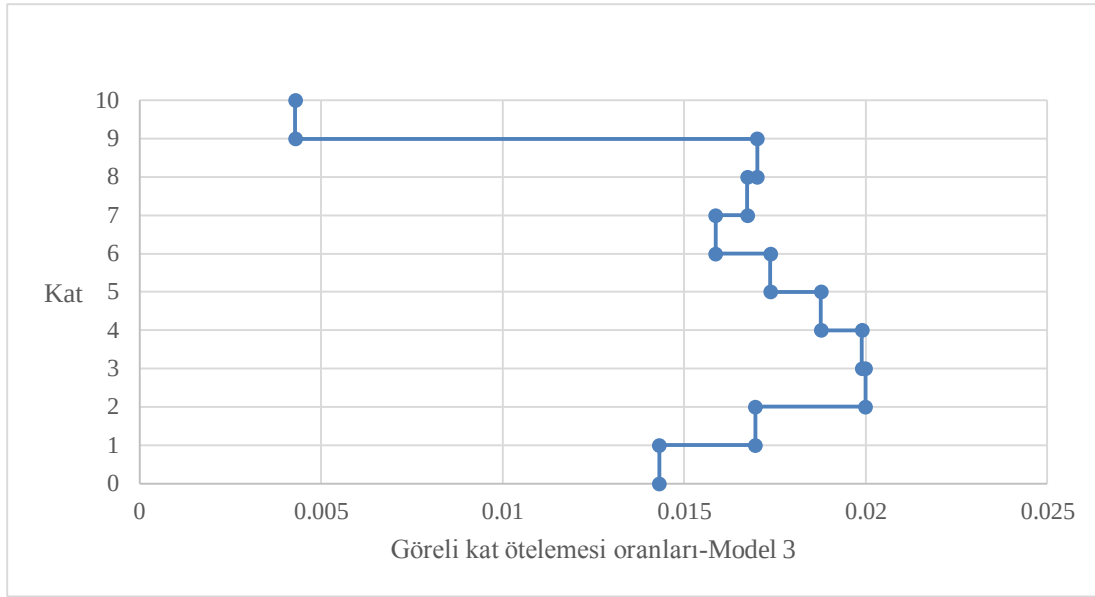
Görelî kat ötelemesi oranlarının belirlenmesinde %2'lik sınır duruma ilk erişen kat dikkate alınmış ve tüm grafikler bu durum için elde edilmiştir(Şekil 6.3-Şekil 6.7).



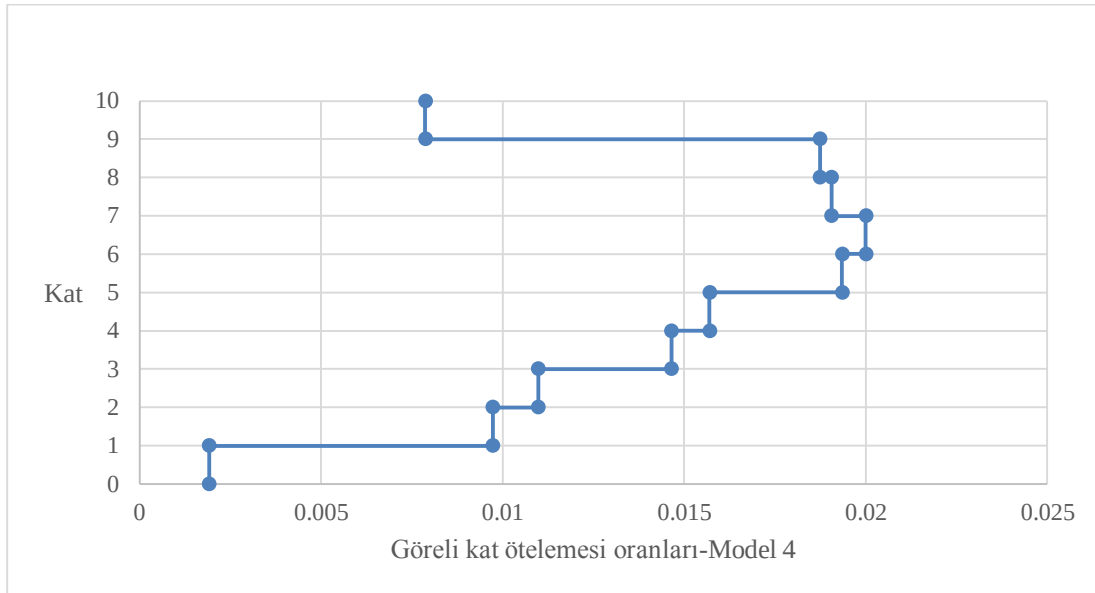
Şekil 6.3 : Model 1 için görelî kat ötelemesi oranları.



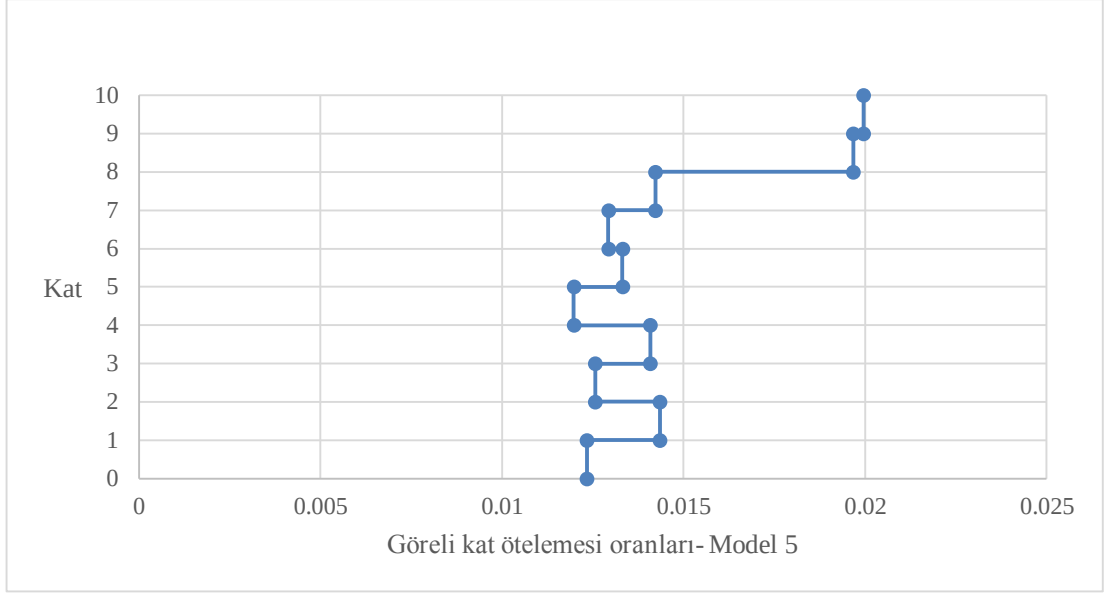
Şekil 6.4 : Model 2 için görelî kat ötelemesi oranları.



**Şekil 6.5 :** Model 3 için görel kat ötelemesi oranları.



**Şekil 6.6 :** Model 4 için görel kat ötelemesi oranları.



**Şekil 6.7 :** Model 5 için görel kat ötelemesi oranları.

### 6.3 Bağ Kirişleri Dayanım Kapasiteleri

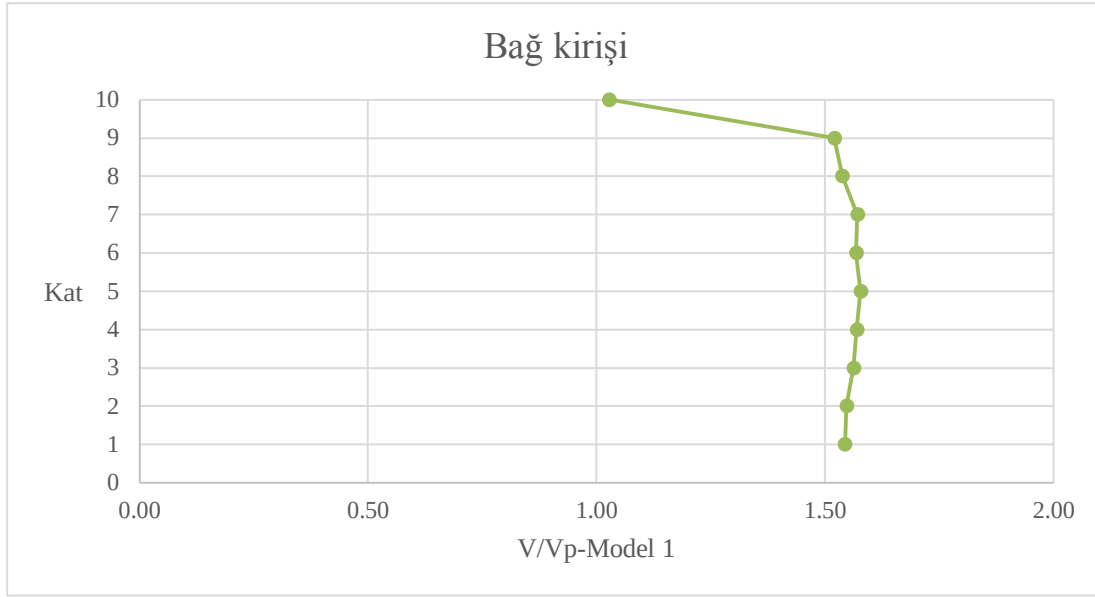
Bağ kirişlerinde oluşan kesme kuvvetlerinin plastik kesme kuvvetlerine oranları ile bağ kirişi dönme açıları her bir model için Şekil 6.8’den Şekil 6.17’ye kadar ifade edilmektedir. Model 1 için tüm katlardaki bağ kirişleri akma dayanımına ulaşmıştır (Şekil 6.8). Şekil 6.10’da yer alan Model 2 için 10. katta bağ kirişi yer almadığından dolayı bu kat için değer verilmemiştir. 9. kat haricinde bağ kirişleri akma dayanımına ulaşmışlardır. Model 3’de her kat için bağ kirişi akma dayanım değerine ulaşmıştır. Model 4 ve 5’de ise bağ kirişleri iki katta bir yer almaktadır ve akma dayanımına erişmişlerdir.

Bağ kirişi plastik dönme açıları denklem 6.3’e göre hesaplanmıştır. Enerji esaslı çalışmalarda kullanılan elastik akma dönmesi değeri literatürdeki [43-44] kullanım değerleri baz alınarak 0.005 olarak alınmıştır.

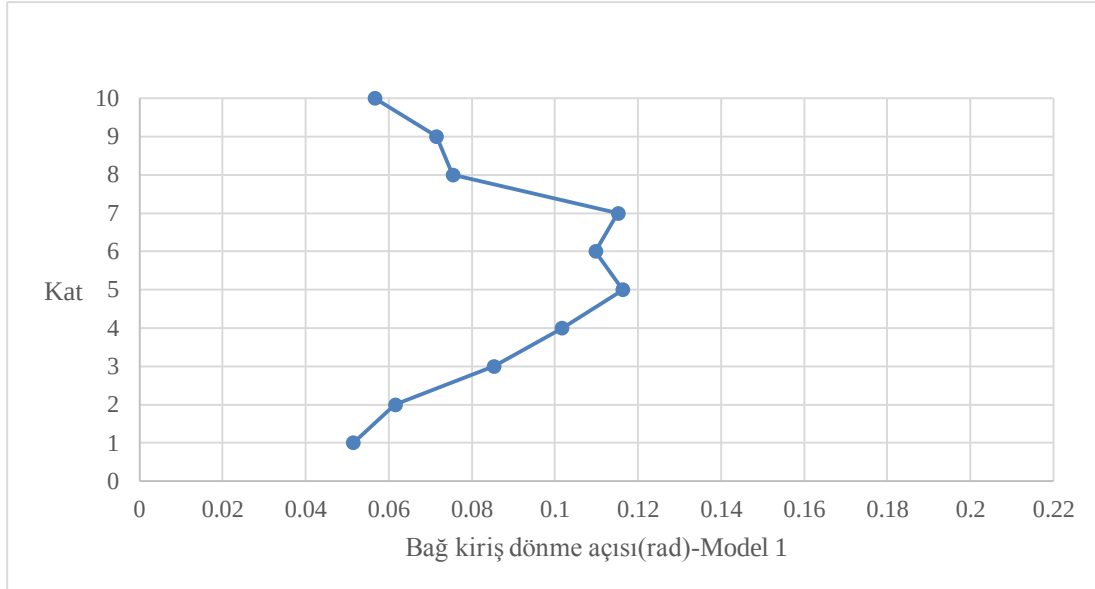
$$\gamma_p = \frac{L}{e} \times (\theta_p - \theta_e) \quad (6.3)$$

0.08 radyan, bağ kirişi dönme açıları için sınır değer olarak verilmektedir[2]. Aynı katta iki bağ kirişi bulunması durumunda (Model 3 ve Model 4) sınır değer aşılmamıştır. Bu modellerin haricinde ise bağ kirişi dönme açısı 0.116 rad değerine erişmektedir. Yapılan deneysel ve nümerik çalışmalarda bağ kirişi plastik dönme açılarının 0.08 rad değerini aşarak 0.12, 0.166 hatta 0.19 rad değerlerine eriştiği ve bu

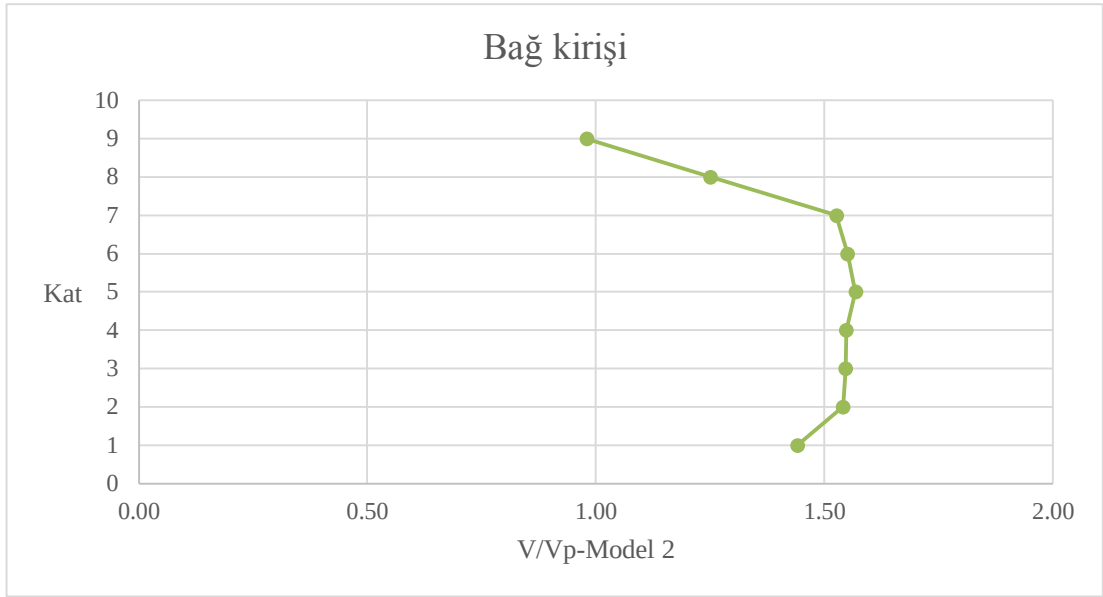
değerler arasında değişen değerler aldığı ifade edilmektedir [8,21,29,43,45,46]. Yapılan çalışmaların sonuçlarında, malzeme ve kesit özelliklerinden yükleme protokollerine hatta birleşim detaylarına kadar birçok parametrenin etkili olduğunu da ifade etmek gerekir. Sonuç olarak elde edilen değerlerin önceki çalışmalar ile tutarlılık gösterdiği ifade edilebilir.



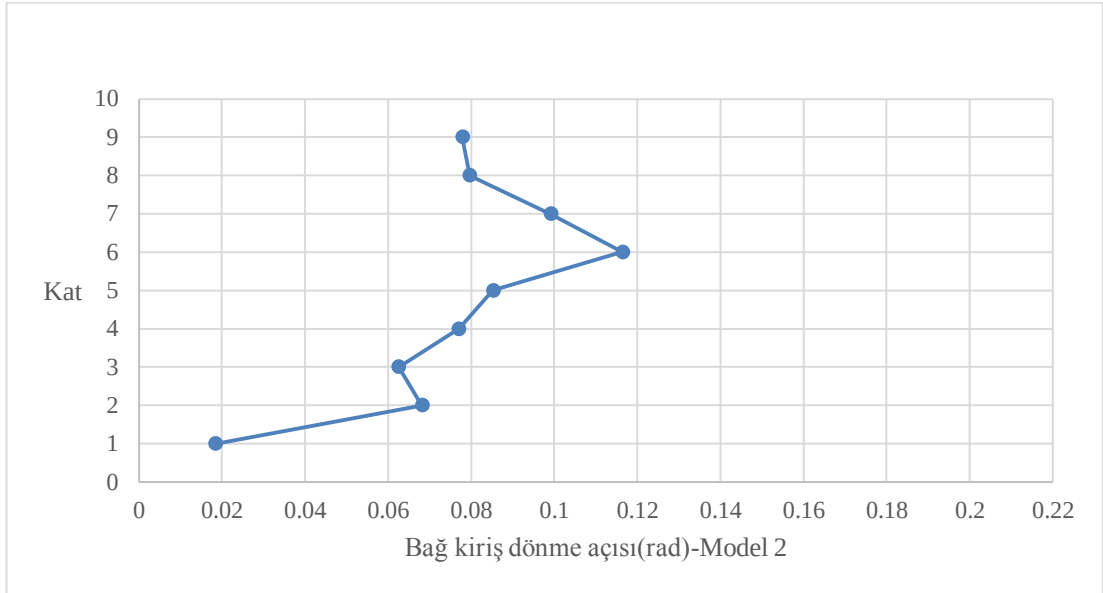
**Şekil 6.8 :** Model 1 bağ kirişlerinin V/Vp oranları.



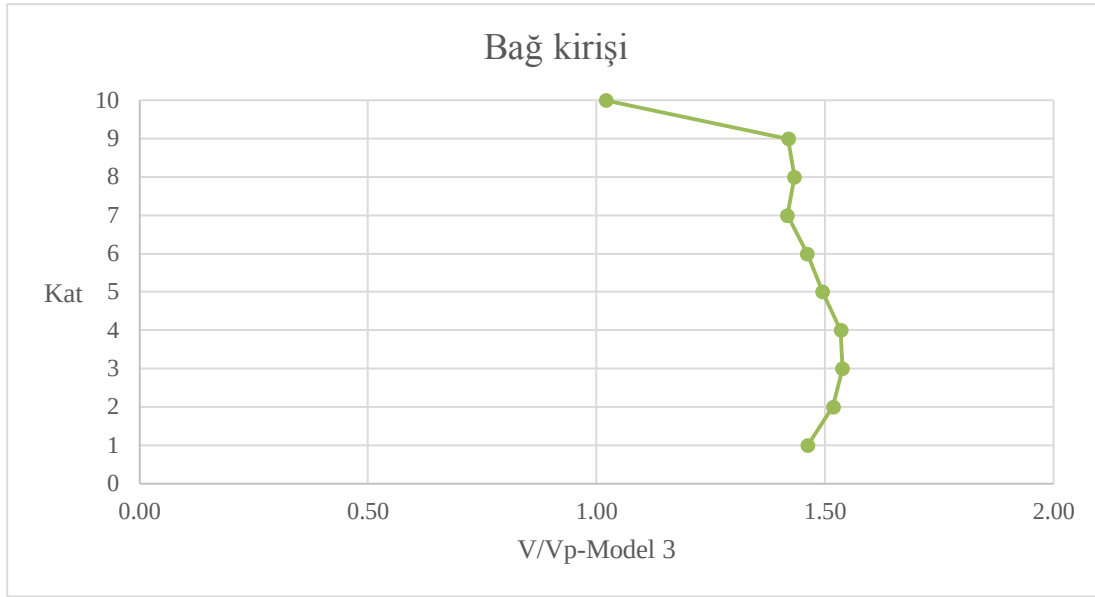
**Şekil 6.9 :** Model 1 bağ kirişlerindeki dönme açıları.



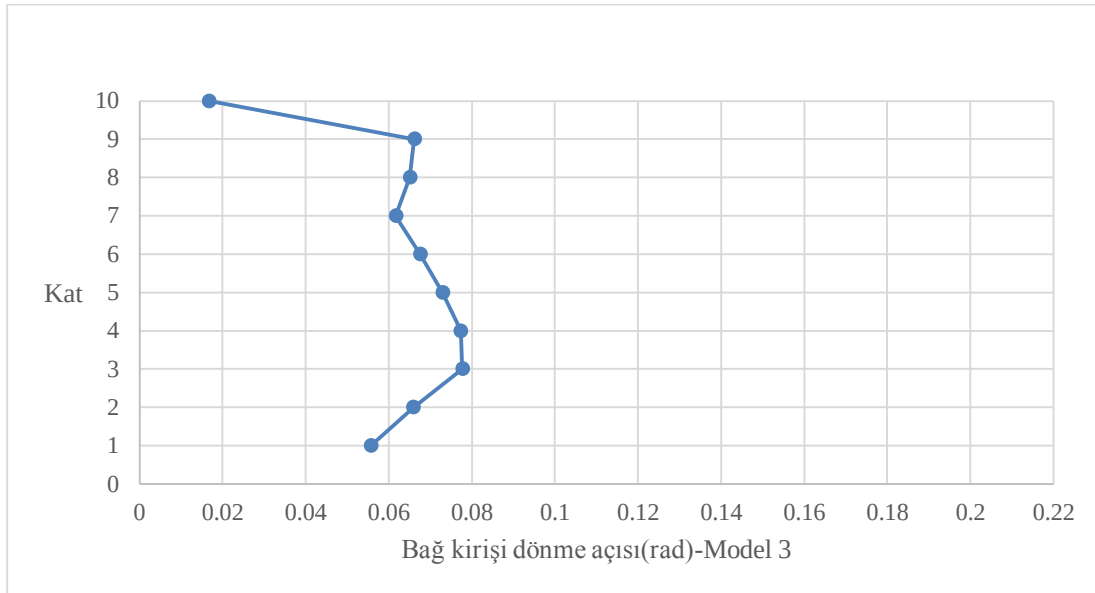
**Şekil 6.10 : Model 2 bağ kirişlerinin V/Vp oranları.**



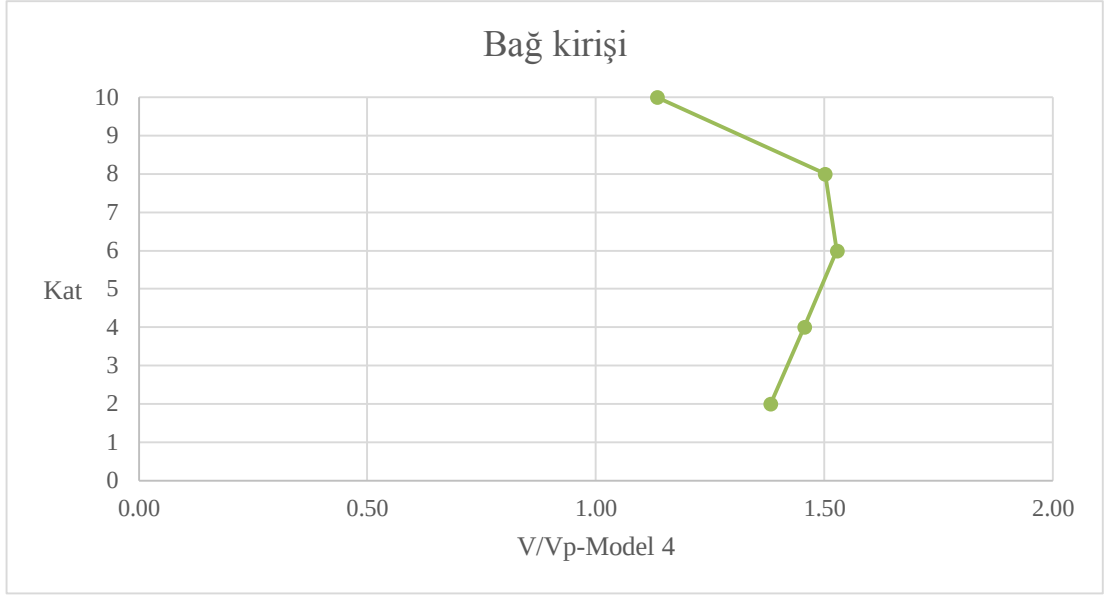
**Şekil 6.11 : Model 2 bağ kirişlerindeki dönme açıları.**



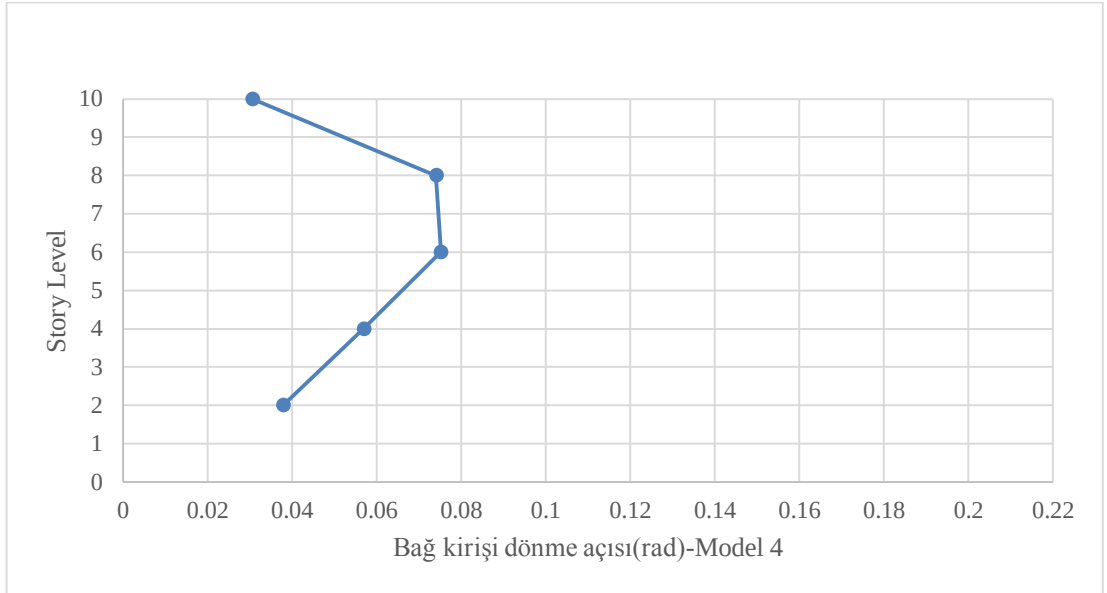
**Şekil 6.12 :** Model 3 bağ kirişlerinin V/Vp oranları.



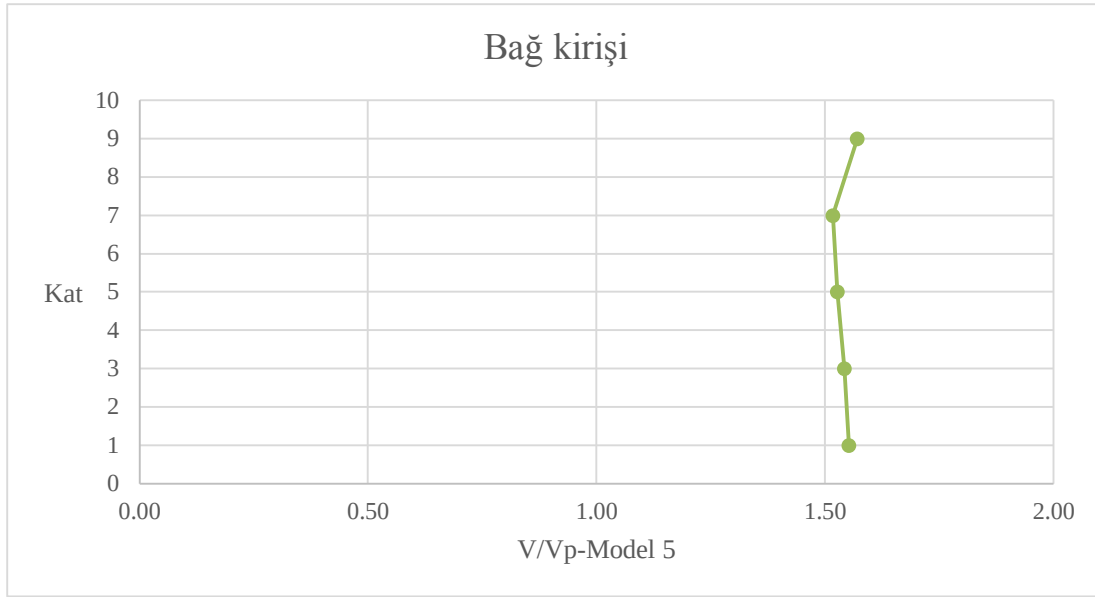
**Şekil 6.13 :** Model 3 bağ kirişlerindeki dönme açıları.



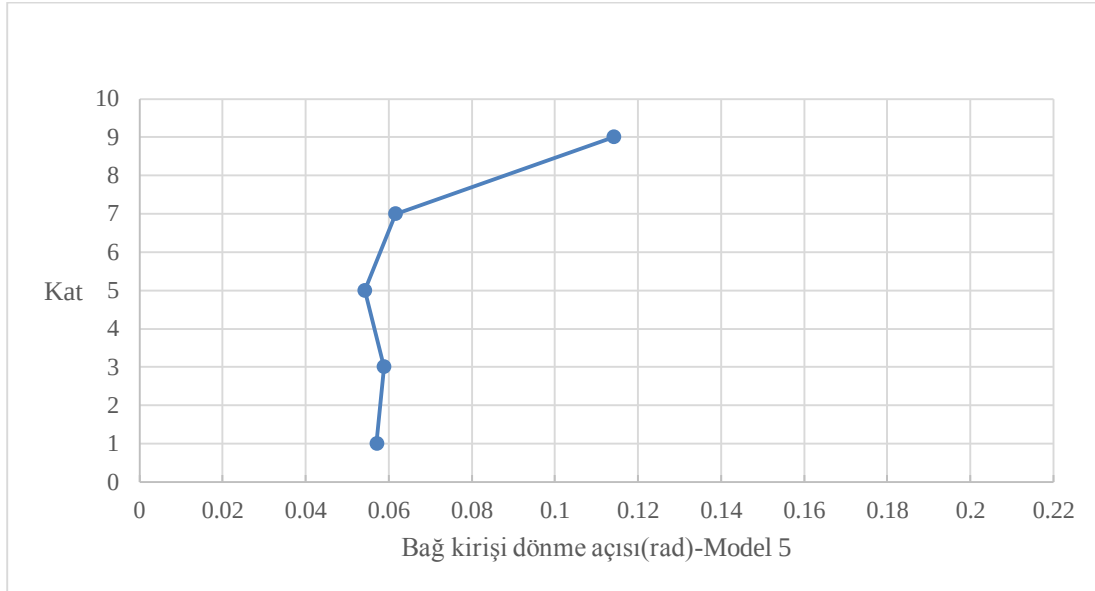
**Şekil 6.14 : Model 4 bağ kirişlerinin V/Vp oranları.**



**Şekil 6.15 : Model 4 bağ kirişlerindeki dönme açıları.**



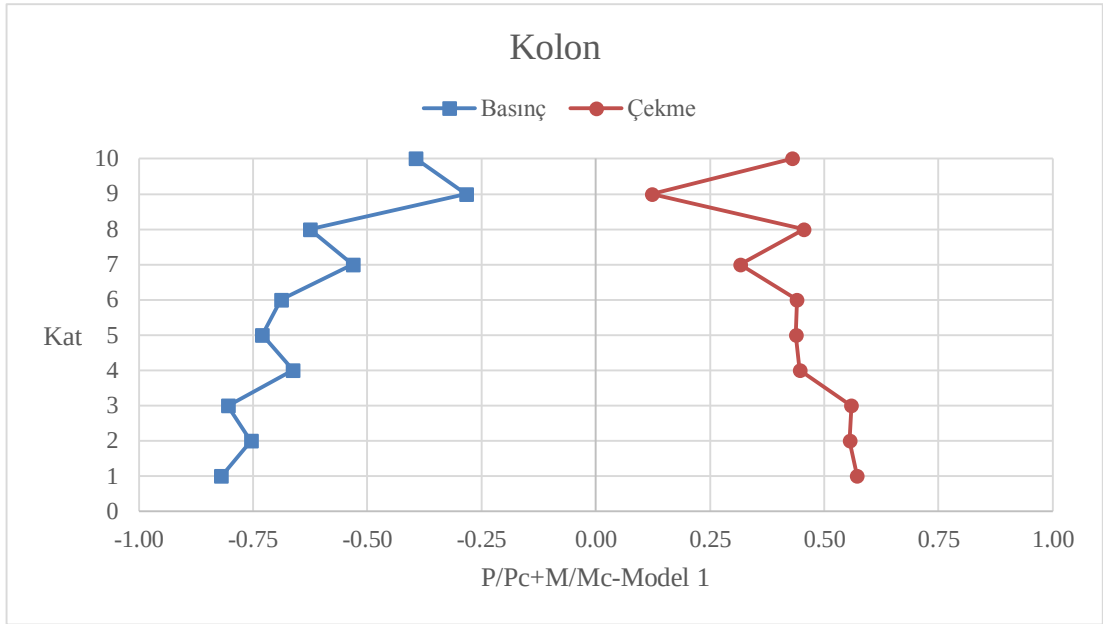
**Şekil 6.16 :** Model 5 bağ kirişlerinin V/Vp oranları.



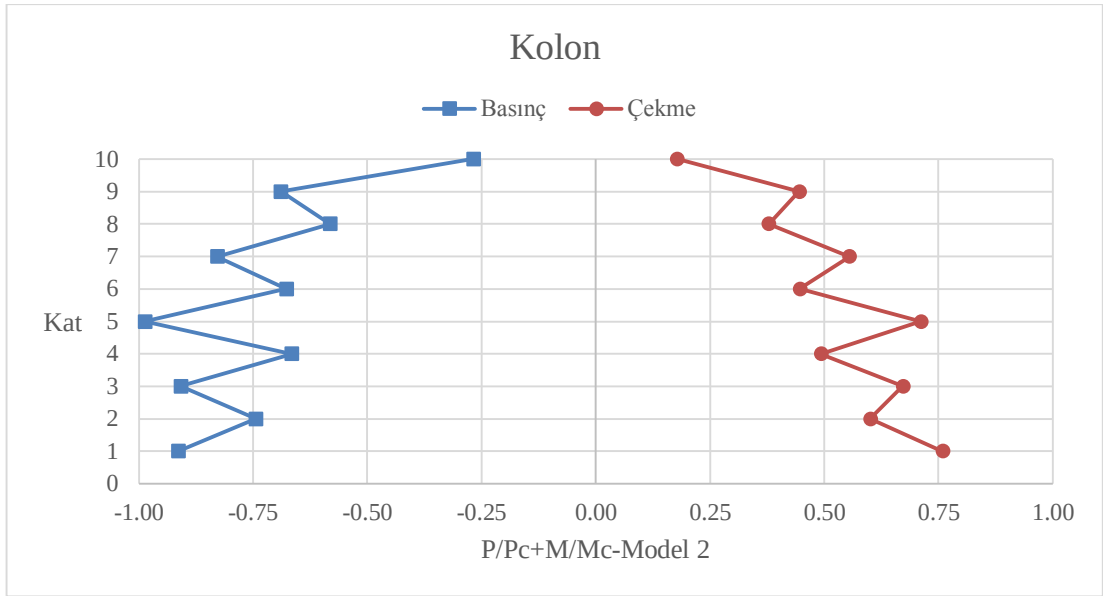
**Şekil 6.17 :** Model 5 bağ kirişlerindeki dönme açıları.

#### 6.4 Kolonların Dayanım Kapasiteleri

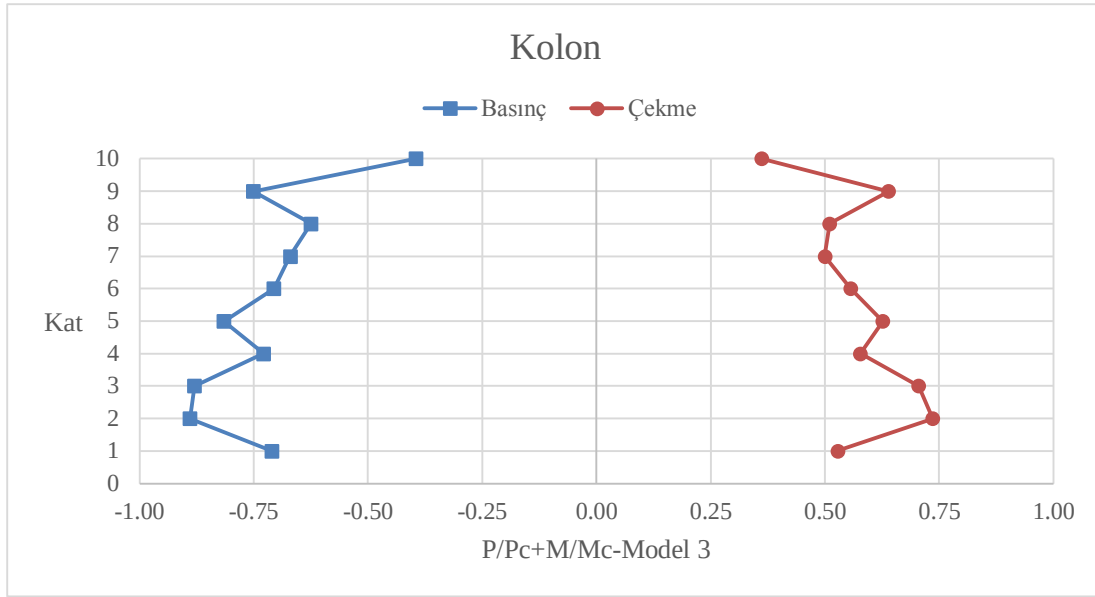
Eksenel kuvvetin basınç ve çekme olması durumlarına göre kolonlara ait istem/kapasite oranları belirtilmektedir (Şekil 6.18-Şekil 6.22). Bu oranlar eleman üzerindeki moment ve eksenel kuvvet etkileşiminin en elverişsiz sonucu oluşturduğu duruma karşılık gelmektedir. Artırılmış yükler altında tasarımı yapılan elemanların hiçbirinde kapasitelerini aşan istem değeri bulunmamaktadır.



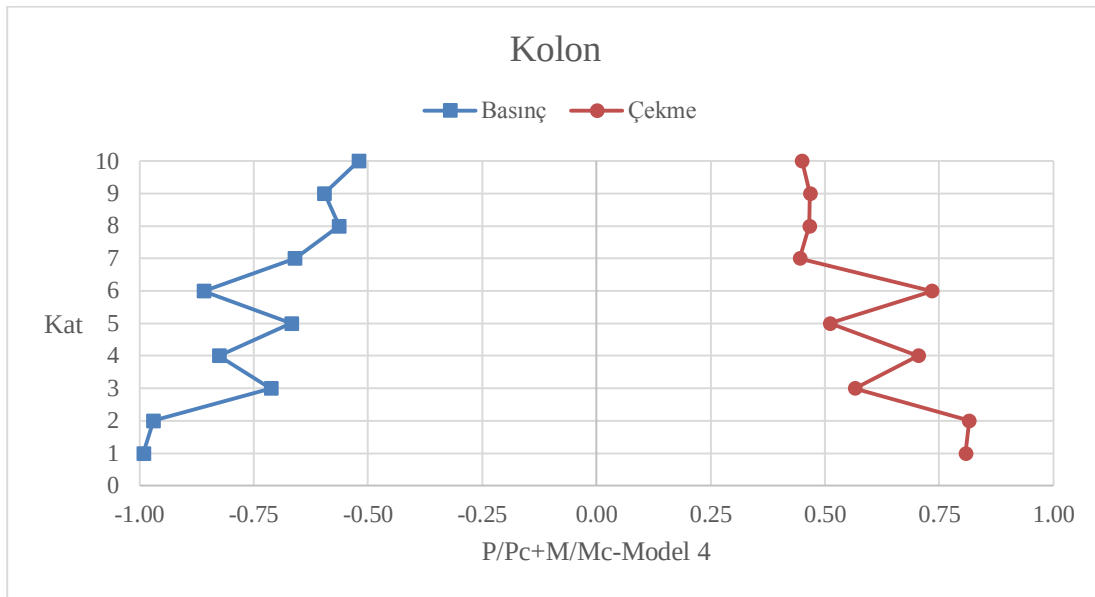
**Şekil 6.18 :** Model 1 kolonlarının eksenel kuvvet-moment etkileşimi altında istem/kapasite oranları.



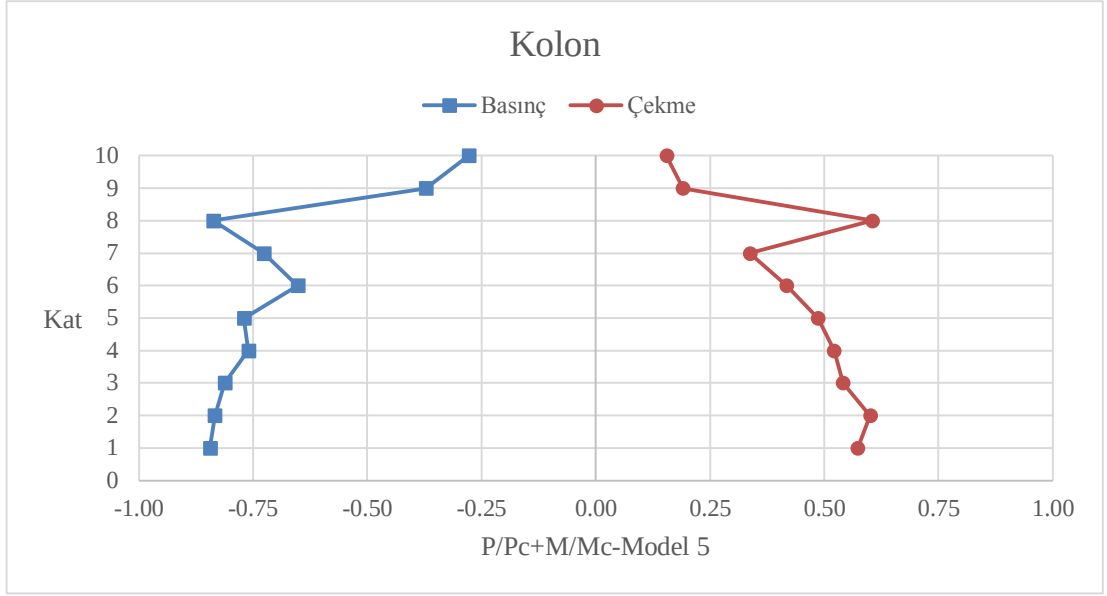
**Şekil 6.19 :** Model 2 kolonlarının eksenel kuvvet-moment etkileşimi altında istem/kapasite oranları.



**Şekil 6.20 :** Model 3 kolonlarının aksenal kuvvet-moment etkileşimi altında istem/kapasite oranları.



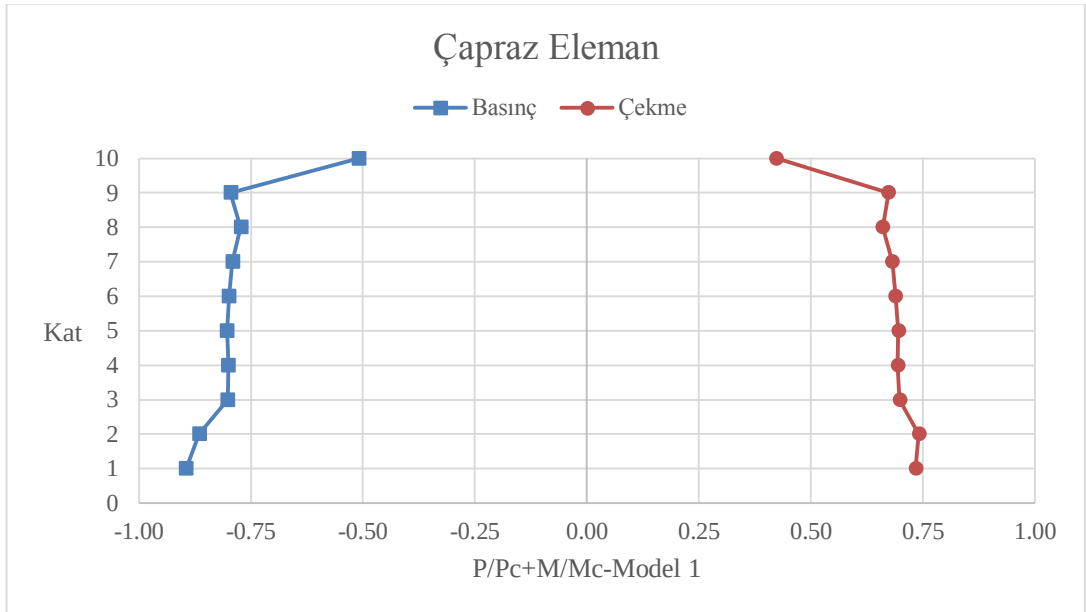
**Şekil 6.21 :** Model 4 kolonlarının aksenal kuvvet-moment etkileşimi altında istem/kapasite oranları.



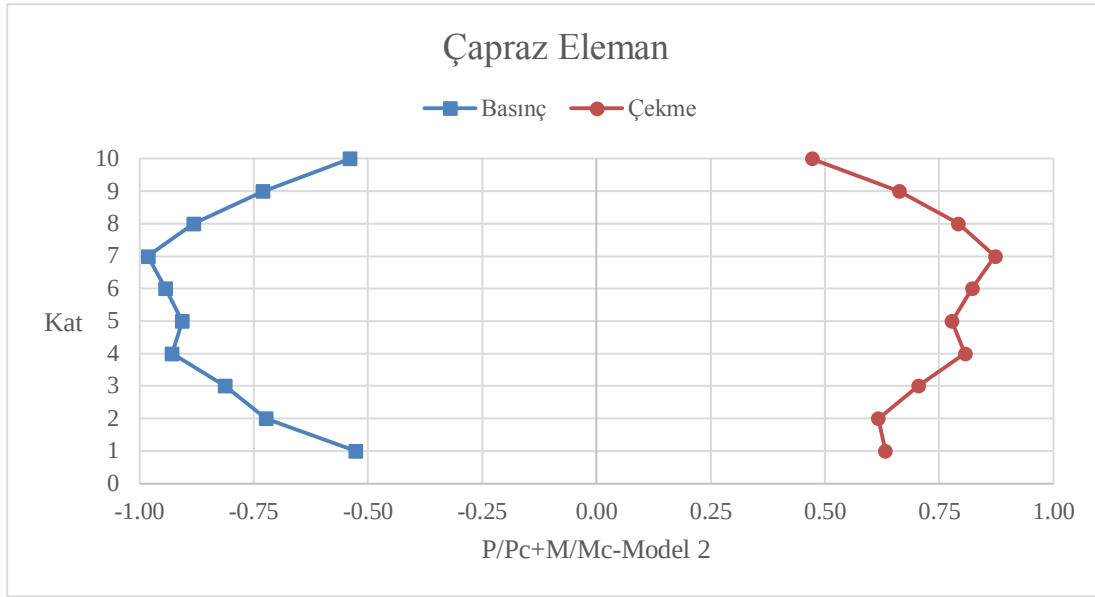
**Şekil 6.22 :** Model 5 kolonlarının eksenel kuvvet-moment etkileşimi altında istem/kapasite oranları.

### 6.5 Çapraz Elemanların Dayanım Kapasiteleri

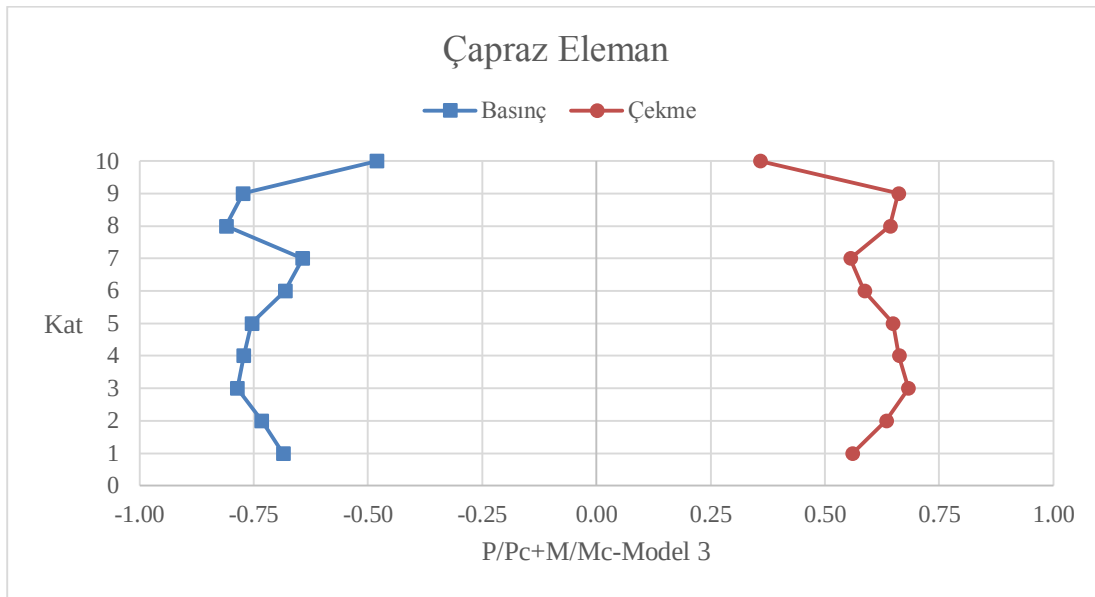
Eksenel kuvvetin basınç ve çekme olması durumlarına göre çapraz elemanlar için istem/kapasite oranları belirtilmektedir (Şekil 6.23-Şekil 6.27). Bu oranlar eleman üzerindeki moment ve eksenel kuvvet etkileşiminin en elverişsiz sonucu oluşturduğu duruma karşılık gelmektedir. Artırılmış yükler altında tasarımı yapılan elemanların hiçbirinde kapasitelerini aşan istem değeri bulunmamaktadır.



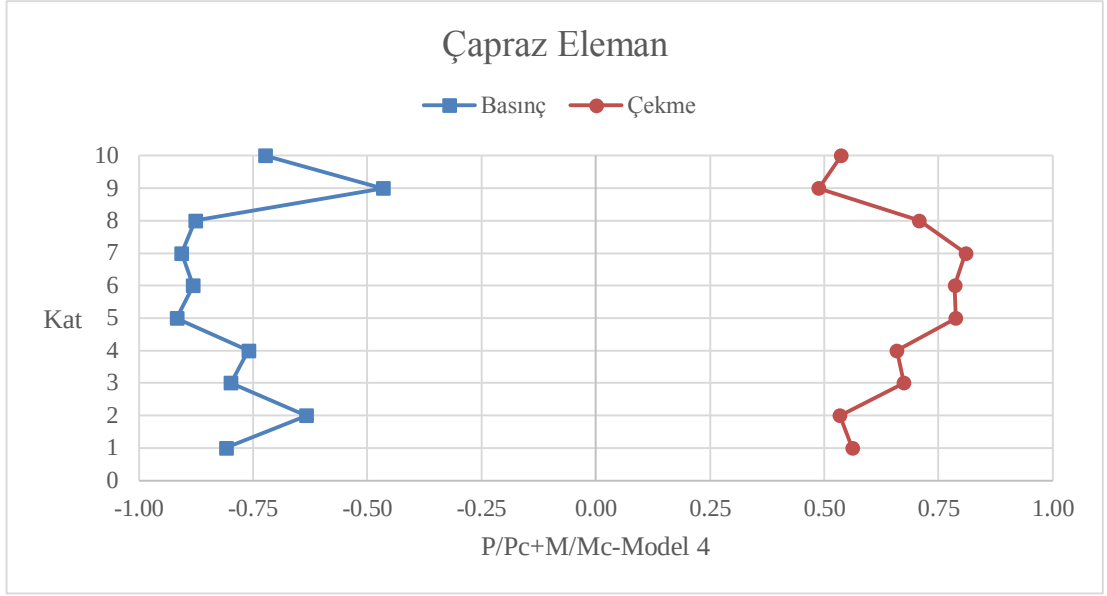
**Şekil 6.23 :** Model 1 çaprazlarının eksenel kuvvet moment etkileşimi altında istem/kapasite oranları.



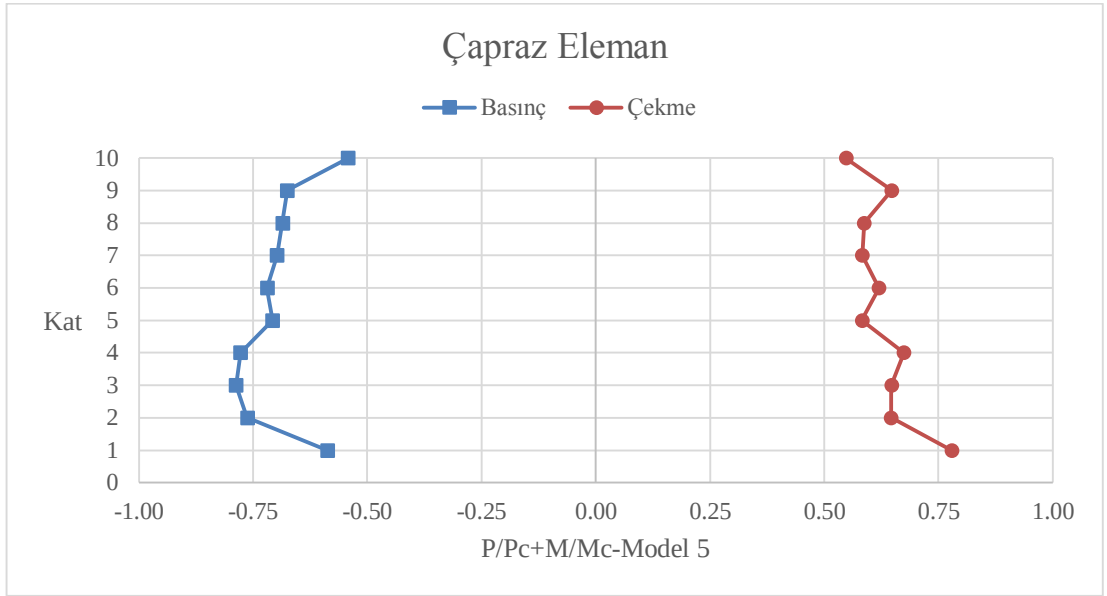
**Şekil 6.24 :** Model 2 çaprazlarının aksenal kuvvet moment etkileşimi altında istem/kapasite oranları.



**Şekil 6.25 :** Model 3 çaprazlarının aksenal kuvvet moment etkileşimi altında istem/kapasite oranları.



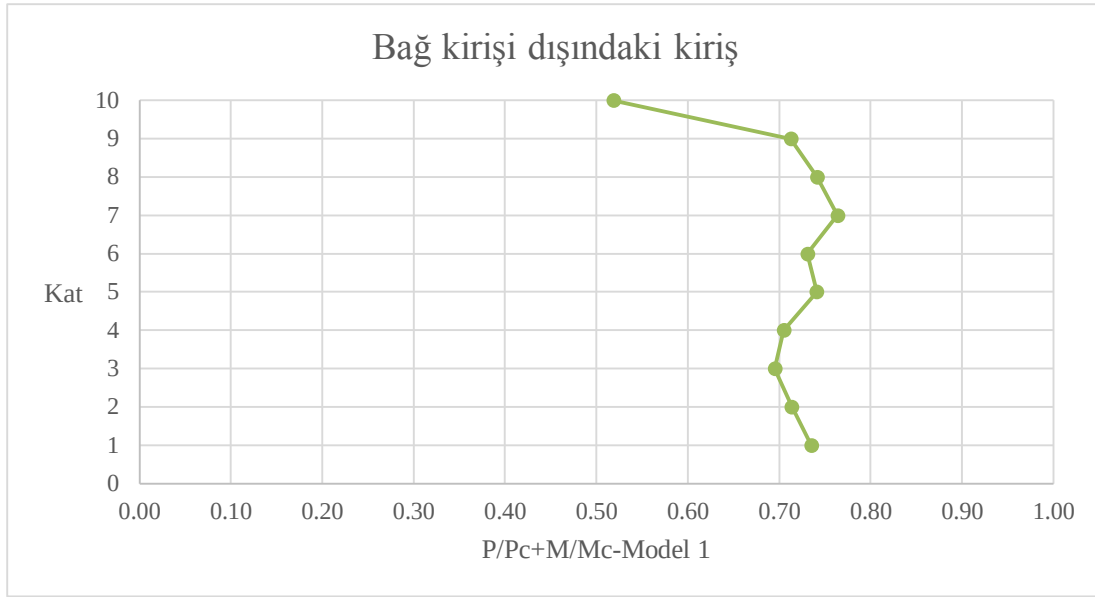
**Şekil 6.26 :** Model 4 çaprazlarının eksenel kuvvet moment etkileşimi altında istem/kapasite oranları.



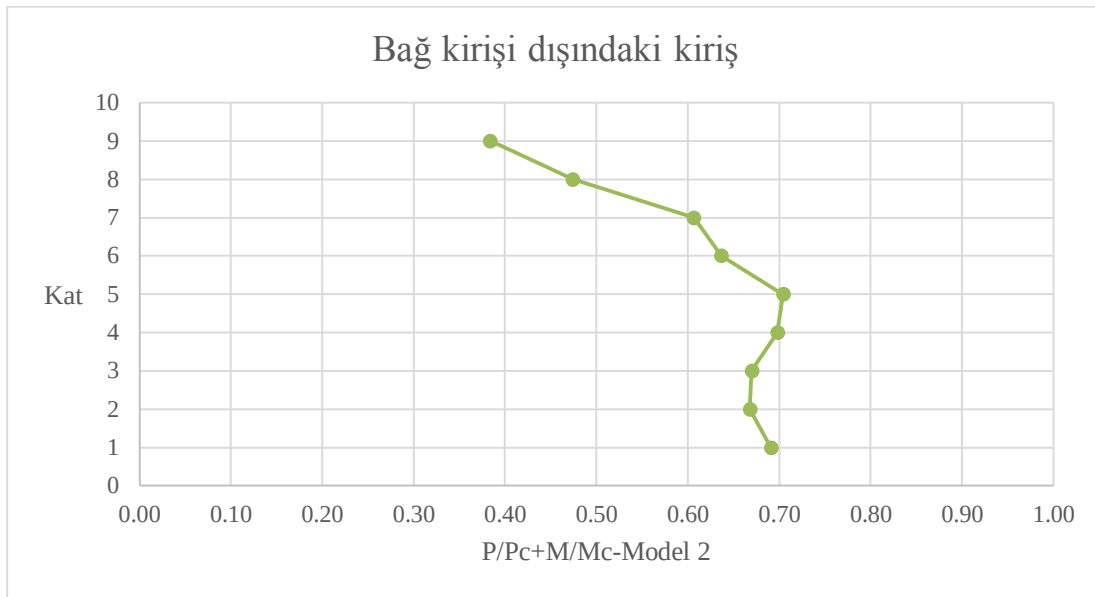
**Şekil 6.27 :** Model 5 çaprazlarının eksenel kuvvet moment etkileşimi altında istem/kapasite oranları.

## 6.6 Bağ Kirişi Dışındaki Kiriş Parçalarının Dayanım Kapasiteleri

Bağ kirişi dışındaki kiriş parçalarına ait istem/kapasite değerleri grafiklerde ifade edildiği gibidir. Kapasite değerleri hesaplanırken etkiyen eksenel kuvvetin basınç olması durumunda denklem 6.1, çekme kuvveti olması durumunda ise denklem 6.2 kullanılmıştır. Bağ kirişi dışındaki kiriş parçalarının kapasitelerini aşacak bir etkiye maruz kalmadıkları ve elastik bölgede kaldıkları görülmektedir.



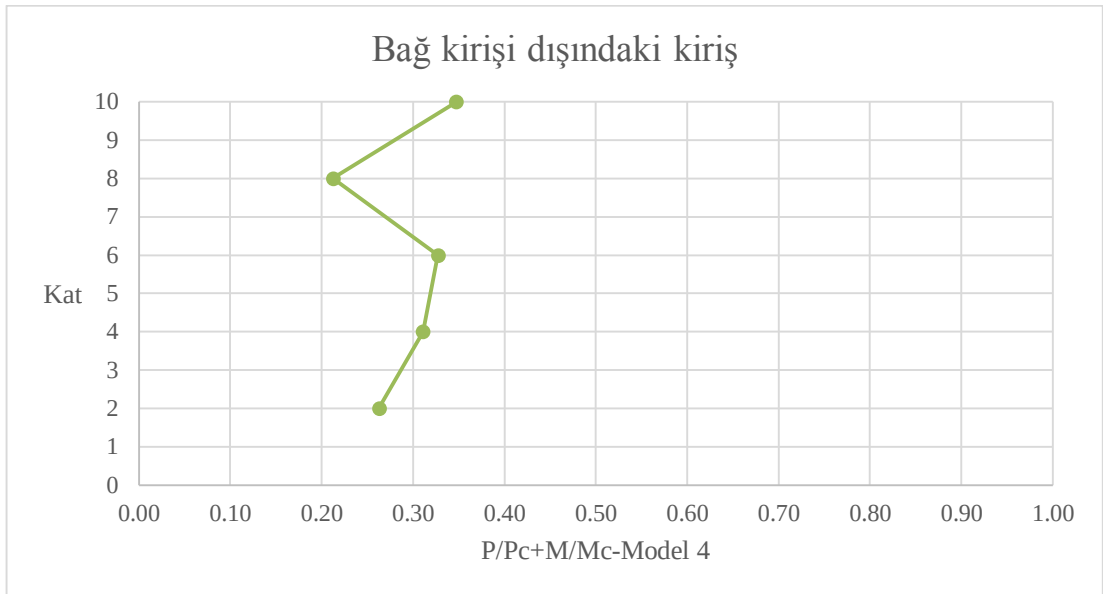
**Şekil 6.28 :** Model 1 bağ kirişleri dışında kalan kiriş parçaları için istem/kapasite oranları.



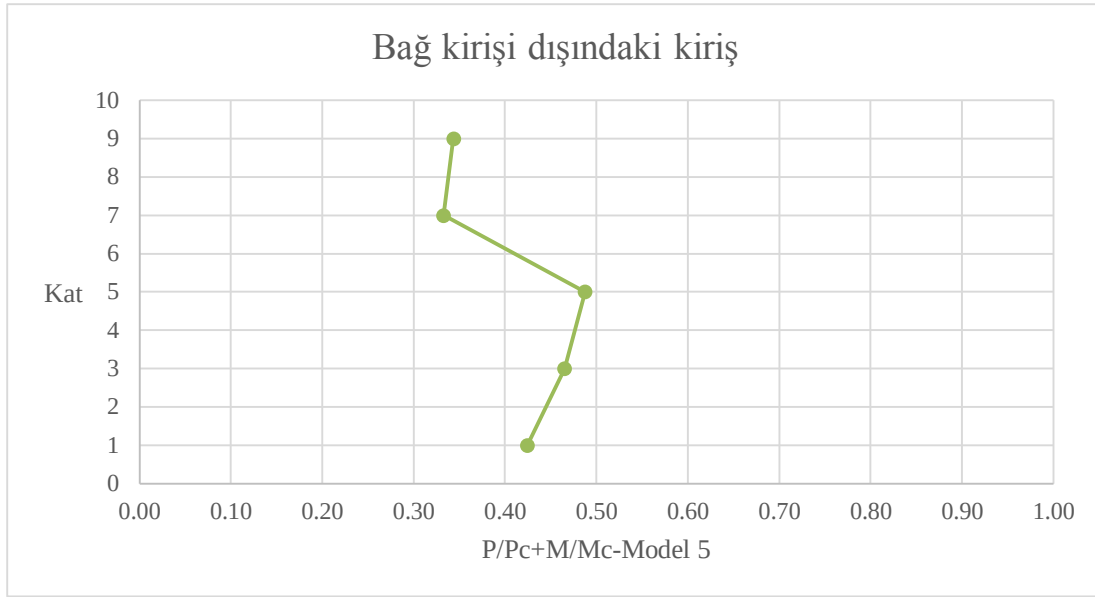
**Şekil 6.29 :** Model 2 bağ kirişleri dışında kalan kiriş parçaları için istem/kapasite oranları.



**Şekil 6.30 :** Model 3 bağ kirişleri dışında kalan kiriş parçaları için istem/kapasite oranları.



**Şekil 6.31 :** Model 4 bağ kirişleri dışında kalan kiriş parçaları için istem/kapasite oranları.



**Şekil 6.32 :** Model 5 bağ kirişleri dışında kalan kiriş parçaları için istem/kapasite oranları.

## 7. SONUÇ

Beş farklı bağ kirişi teşkili için dışmerkez çaprazlı çelik çerçeve modellerinin ilgili yönetmeliklere [1-3] göre analiz ve tasarımları yapıldıktan sonra OpenSEES [5] programı yardımıyla doğrusal olmayan statik itme analizleri gerçekleştirilmiştir. Sistemlerin doğrusal olmayan davranışları, istem/kapasite oranları ve yönetmelikçe verilen sınır durumlara ilişkin sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen sonuçların maddeler halinde ifade edilmesi gerekirse:

- Bağ kirişlerinin plastik şekil değiştirme ile enerji sönümleme görevini üstlenmesi, dışmerkez çaprazlı çelik çerçeve sistemlerin karakteristik özelliği olarak ifade edilmişti. Plastik şekildeğiştirmeler tasarım esnasında öngörüldüğü üzere sadece bağ kirişlerinde meydana gelmiştir.
- Bağ kirişlerini akma sınır durumuna eriştiren etki bir diğer önemli sonuçtur. Tasarım esnasında tüm modellerde kayma etkisi altında plastik şekildeğiştirmelerin oluşacağı bağ kirişi modeli esas alınmıştır ve sonuçlardan da görüleceği üzere bağ kirişlerindeki plastik şekil değiştirme, akma sınır durumu için karakteristik kayma dayanımına ulaşılması neticesinde oluşmuştur. Bağ kirişi uzunluğunun  $1.6M_p/V_p$  değerinden küçük olmasıyla bu durum sağlanmaktadır.
- Bağ kirişlerinin akma sınır durumuna eriştiği anda geride kalan sistem elemanlarının elastik bölgede bulunması amaçlanarak, bu elemanlara depremden gelen etkiler bağ kirişinin beklenen kesme kuvveti kapasitesinin deprem etkisiyle bağ kirişinde oluşan kesme kuvvetine oranıyla artırılmıştı. İlgili grafiklerden de görüleceği üzere bağ kirişi haricindeki sistem elemanları elastik bölgede kalmıştır.
- Aynı katta çift bağ kirişi bulunması durumu haricinde, plastik bağ kirişi dönme açılarından yönetmelikçe [2] verilen 0.08 radyan sınır değerini aşan durumlar bulunmaktadır (0.116). Yapılan deneysel ve nümerik çalışmalarda bağ kirişi plastik dönme açılarının 0.08 radyan değerini aşarak 0.12, 0.166 hatta 0.19

radyan değerlerine eriştiği ve bu aralıkta değişen değerler aldığı ifade edilmektedir [8,21,29,43,45,46]. Bu sonuçlarda, malzeme ve kesit özelliklerinden yükleme protokollerine hatta birleşim detaylarına kadar birçok parametrenin etkili olduğunu da ifade etmek gerekir. Bu çalışmadaki sonuçların yönetmelikçe verilen sınır değeri aşmış olmasıyla birlikte, önceki çalışmalar ile de tutarlılık gösterdiği ifade edilebilir.

- Dayanım fazlalığı katsayıları sistemler için sırasıyla 2.81, 2.84, 2.82, 2.59 ve 2.47 olarak belirlenmiştir. Dayanım fazlalığı katsayısı yönetmelikte [1] dışmerkez çaprazlı çelik çerçeve sistemler için 2 olarak ifade edilmektedir. Bu çalışmada bulunan sonuçlar, yönetmeliğe göre kabul edilen 2 değerinden daha büyüktür.
- Dayanım fazlalığı katsayısının; fazlalık faktörü (redundancy factor), görelî kat ötelemesi sınırı, yük kombinasyonları, pekleşme (strain hardening), yapısal olmayan elemanlar ve diğer parametrelerden etkilendiği ifade edilmektedir[47]. Bunun haricinde, yapılan bir diğer çalışmada ise dayanım fazlalığı değerlerinin 1.16 ile 6.01 arasında olduğu ve ortalama olarak 2.36 değerinin bulunduğu ifade edilmektedir[13]. Literatürdeki bahsi geçen çalışmaların ışığında, bu tez çalışması kapsamında ele alınan modellerin geometri ve bağlantı (rijit veya mafsallı) durumları bir bütün olarak değerlendirildiğinde elde edilen sonuçların (2.81, 2.84, 2.82, 2.59 ve 2.47) normal ve önceki çalışmalar ile de uyumlu olduğu rahatlıkla ifade edilebilir.
- Dayanım fazlalığı (overstrength factor) katsayısı her katta bağ kirişi olması durumunda, iki katta bir bağ kirişi olmasına nazaran, daha büyüktür.
- Daha ekonomik kesitlerle benzer performansı sağlayan konfigürasyonlar mevcuttur.

## KAYNAKLAR

- [1] **ASCE 7-10** (2010). Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, American Society of Civil Engineering, Reston, VA.
- [2] **AISC 341-10** (2010). Seismic Provisions for Structural Steel Buildings, American Institute of Steel Construction, Chicago, IL.
- [3] **AISC 360-10** (2010). Specification for Structural Steel Buildings, American Institute of Steel Construction, Chicago, IL.
- [4] **SAP2000** Structural Analysis Program. Computer and Structures Inc., Berkeley, California
- [5] **Mazzoni, S., McKenna, F., Scott, M. H., Fenves, G. L.** (2006). The Open System for Earthquake Simulation (OpenSEES) User Command-Lnaguage Manual. Pacific Earthquake Enginnering Research Center, University of California, Berkeley, CA, (<http://opensees.berkeley.edu/>)
- [6] **Kuşylmaz, A. ve Topkaya, C.** (2015). Displacement amplification factors for steel eccentrically braced frames. *Earthuqauke Engineering & Structural Dynamics*, **44**, 167-184 doi:10.1002/eqe.2463
- [7] **Kuşylmaz, A. ve Topkaya, C.** (2015). Fundemantal periods of eccentrically braced frames. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, **24**, 123-140 doi:10.1002/tal.1157
- [8] **Okazaki, T., Engelhardt, M. D., Hong J. -K., Uang, C. -M., Drolas, A.** (2014). Improved Link-to-Column Connections for Steel Eccentrically Braced Frames. *Journal of Structural Engineering, ASCE*, doi:10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001041, 04014201
- [9] **Duan, L., Su, M., Li, H.** (2014). Experimental Study on Seismic Behaviour of High Strength Composite K-Type Eccentrically Braced Frames. *Advanced Materials Research*, **838-841**, 559-563 doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.838-841.559
- [10] **Zhao, C. ve Gong, K.** (2014). Finite Element Analysis of the Seismic Behaviors on Web-Bolted Connected of Replaceable Shear Links for Eccentrically Braced Steel Frame. *Advanced Materials Research*, **1020**, 258-263 doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.1020.258
- [11] **Massah, S. R. ve Dorvar, H.** (2014). Design and analysis of eccentrically braced steel frame with vertical links using shape memory alloys. *Smart Materials and Structures*, **23**, 16 doi:10.1088/0964-1726/23/11/115015
- [12] **Sullivan, T.** (2013). Direct displacement-based seismic design of steel eccentrically braced frame structures. *Bulletin of Earthquake Engineering*, **11**, 2197-2231 doi:10.1007/s10518-013-9486-8
- [13] **Kuşylmaz, A. ve Topkaya, C.** (2013). Design Overstrength of Steel Eccentrically Braced Frames. *International Journal of Steel Strcutures*, **13**, 2197-2231 doi:10.1007/s13296-013-3012-3
- [14] **Bosco, M. ve Rossi, P. P.** (2013). A design procedure for dual eccentrically braced systems:Numerical investigation. *Journal of Constructional Steel Research*, **80**, 453-464 doi:10.1016/j.jcsr.2012.09.019

- [15] **Bosco, M. ve Rossi, P. P.** (2013). A design procedure for dual eccentrically braced systems: Analytical formulation. *Journal of Constructional Steel Research*, **80**, 440-452 doi:10.1016/j.jcsr.2012.08.003
- [16] **Gong, Y., Xue, Y., Xu, L.** (2013). Optimal capacity design of eccentrically braced steel frameworks using nonlinear response history analysis. *Engineering Structures*, **48**, 28-36 doi:10.1016/j.engstruct.2012.10.001
- [17] **Durgun Y., Vatansever C., Girgin, K., Orakdöğen, E.** (2013). Dış merkez çaprazlı bir çelik perdenin deprem performansının doğrusal olmayan dinamik hesap yöntemi ile değerlendirilmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **19**, 266-274 doi:10.5505/pajes.2013.22932
- [18] **Florea, F. S.** (2012). Behaviour of Seismic Resistant Eccentrically Braced Frames. *Ovidius University Annal Series: Civil Engineering*, issue 14
- [19] **Pan, X., Hao, J., Gao, J.** (2011). Sesismic Behaviour Experimental Study of the D-Type Energy Dissipating Eccentrically Brace. *Advanced Materials Research*, **255-260**, 2414-2420 doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.255-260.2414
- [20] **Hu, Y., Lei, J., Luo, W.** (2011). Analysis in seismic responses of different types of eccentrically braced steel frames. *Advanced Materials Research*, **243-249**, 3737-3742 doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.243-249.3737
- [21] **Mansour, N., Christopoulos, C., Tremblay, R.** (2011). Experimental Validation of Replaceable Shear Links for Eccentrically Braced Steel Frames. *Journal of Structural Engineering, ASCE*, **137**, 1141-1152 doi:10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0000350
- [22] **Gulec, C. K., Gibbons, B., Chen, A., Whittaker, A. S.** (2011). Damage states and fragility functions for link beams in eccentrically braced frames. *Journal of Constructional Steel Research*, **67**, 1299-1309 doi:10.1016/j.jcsr.2011.03.014
- [23] **Sabol, T. A. ve Nishi, D. E.** (2011). Application of performance-based design to an eccentrically braced frame structure. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, **20**, 76-84 doi:10.1002/tal.740
- [24] **Richards, P. W.** (2010). Estimating the Stiffness of Eccentrically Braced Frames. *Pracatice Predioidal on Structural Design and Construction*, **15**, 91-95 doi:10.1061/(ASCE)SC.1943-5576.0000027
- [25] **Koboevic, S. ve David, S. O.** (2010). Design and seismic behaviour of taller eccentrically braced frames. *Canadian Journaş of Civil Engineering*, **37**, 195-208 doi:10.1139/L09-131
- [26] **Okazaki, T., Engelhardt, M. D., Drolas, A., Schell, E., Hong, J. -K., Uang, C. -M.** (2009). Experimental inevstigation of link-to-column connections in eccentrically braced frames. *Journal of Constructional Steel Research*, **65**, 1401-1412 doi:10.1016/j.jcsr.2009.02.003
- [27] **Prinz, G. S. ve Richards, P. W.** (2009). Eccentrically braced frame links with reuced web sections. *Journal of Constructional Steel Research*, **65**, 1971-1978 doi:10.1016/j.jcsr.2009.04.017

- [28] **Özhendekçi, D. ve Özhendekçi N.** (2008). Effects of the frame geometry on the weight and inelastic behaviour of eccentrically braced chevron steel frame. *Journal of Constructional Steel Research*, **64**, 326-343 doi:10.1016/j.jcsr.2009.07.009
- [29] **Okazaki, T. ve Engelhardt, M. D.** (2007). Cyclic loading of EBF links constructed of ASTM A992 steel. *Journal of Constructional Steel Research*, **63**, 751-765 doi:10.1016/j.jcsr.2006.08.004
- [30] **Rossi, P. P. ve Lombardo, A.** (2007). Influence of the link overstrength factor on the seismic behaviour of eccentrically braced frames. *Journal of Constructional Steel Research*, **63**, 1529-1545 doi:10.1016/j.jcsr.2006.01.006
- [31] **Berman, J. W., Bruneau, M.** (2007). Experimental and analytical investigation of tubular links for eccentrically braced frames. *Engineering Structures*, **29**, 1929-1938 doi:10.1016/j.engstruct.2006.10.012
- [32] **Okazaki, T., Engelhardt, M. D., Nakashima, M., Suita, K.** (2006). Experimental Performance of Link-to-Column Connections in Eccentrically Braced Frames. *Journal of Structural Engineering, ASCE*, **132**, 1201-1211 doi:10.1061/(ASCE)0733-9445(2006)
- [33] **Okazaki, T., Arce, G., Ryu, H.-C., Engelhardt, M. D.** (2005). Experimental Study of Local Buckling, Overstrength, and Fracture of Links in Eccentrically Braced Frames. *Journal of Structural Engineering, ASCE*, **131**, 1526-1535 doi:10.1061/(ASCE)0733-9445(2005)
- [34] **Hjelmstad, K. D. ve Popov, E. P.** (1984). Characteristics of Eccentrically Braced Frames. *Journal of Structural Engineering, ASCE*, **110**, 340-353
- [35] **Bruneau, M., Uang, C. -M., Sabelli, R.** (2011). Ductile Design of Steel Structures (2nd ed.). Mc. Graw Hill
- [36] **Tohumcu, P., Kılıç, H., Özaydın, K.** (2003). Yerel Zemin Koşullarının Deprem Sırasında Yapısal Davranış Üzerinde Etkileri Yönünden Sınıflandırılması, (<http://www.sigma.yildiz.edu.tr/2003-4-10-tam.pdf>)
- [37] **AISC 327-12A** (2012). Seismic Design Manual, 2nd ed. American Institute of Steel Construction, Chicago, IL.
- [38] **Taranath, B. S.** (2005). Wind and Earthquake Resistant Buildings-Structural Analysis and Design. Marcel Dekker.
- [39] **Ramadan, T. Ve Ghobarah, A.** (1995). Analytical Model for Shear-Link Behaviour. *Journal of Structural Engineering, ASCE*, **121**, 1574-1580
- [40] **Richards, P. W. ve Uang, C. -M.** (2006). Testing Protocol for Short Links in Eccentrically Braced Frames. *Journal of Structural Engineering, ASCE*, **132**, 1183-1191 doi:10.1061/(ASCE)0733-9445
- [41] **Chao, S. -H., Goel, S. C., Lee, S. -S.** (2007). A Seismic Design Lateral Force Distribution Based on Inelastic State of Structures. *Earthquake Spectra*, **23**, 547-569 doi:10.1193/1.2753549
- [42] **Salmon, C. G., Johnson, J. E., Malhas, F. A.** (2009). Steel Structures-Design and Behaviour (5th ed.). Pearson, Prentice Hall, USA. Marcel Dekker.

- [43] **Chao, S. -H. ve Goel, S. C.** (2005). Performance-Based Seismic Design of EBF Using Target Drift and Yield Mechanism as Performance Criteria. *A report on research sponsored by the American Institute of Steel Construction*, Department of Civil and Environmental Engineering, The university of Michigan.
- [44] **FEMA P-750** (2009). NEHRP Recommended Seismic Provisions for New Buildings and Other Structures, Building Seismic Safety Council, Washington, D.C.
- [45] **Okazaki, T., Arce, G., Ryu, H.-C., Engelhardt, M. D.** (2004). Recent Research on Link Performance in Steel Eccentrically Braced Frames. *13th World Conference on Earthquake Engineering*, Paper No. 302, Canada, 1-6 Ağustos
- [46] **Mohebkah, A. ve Chegeni, B.** (2014). Overstrength and rotation capacity for EBF link made of European IPE sections. *Thin-Walled Structures*, **74**, 255-260 doi:10.1061/j.tws.2013.10.013
- [47] **Uang, C. -M.** (1991). Establishing R (or  $R_w$ ) and  $C_d$  factors for building seismic provisions. *Journal of Structural Engineering, ASCE*, **117**, 19-28
- [48] **Vatansever, C.** (2012). Çelik Yapılar I, *Ders notları*

## **ÖZGEÇMİŞ**

**Ad Soyad** : Abdurrahman KAYGUSUZ

**Doğum Yeri ve Tarihi** : Ankara, 1989

**E-Posta** : akaygusuz2007@hotmail.com

### **ÖĞRENİM DURUMU:**

- **Lisans** : 2012, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü
- **Yükseklisans** : 2015, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Mühendisliği Programı