

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇOK KATLI BİR ÇELİK YAPININ TASARIMINDA  
YATAY KAFES KİRİŞLİ ÇERÇEVE SİSTEM  
UYGULAMASININ ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İnş. Müh. Ayça KATİPOĞLU**

**Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**Programı : YAPI MÜHENDİSLİĞİ**

**TEMMUZ 2008**

**ÇOK KATLI BİR ÇELİK YAPININ TASARIMINDA  
YATAY KAFES KİRİŞLİ ÇERÇEVE SİSTEM  
UYGULAMASININ ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İnş. Müh. Ayça KATİPOĞLU  
(501061014)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 16 Temmuz 2008  
Tezin Savunulduğu Tarih: 17 Temmuz 2008**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Filiz PİROĞLU  
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Erdoğan UZGİDER  
Yrd. Doç. Dr. Fevzi DANSIK**

**TEMMUZ 2008**

## ÖNSÖZ

Tez çalışmam süresince paylaşmış olduğu bilgileri ve desteğinden ötürü tez danışmanım Sn. Doç. Dr. Filiz PİROĞLU'na, tecrübesinden çokça faydalandığım İnş. Yük. Müh. Doğukan KÖSE, İnş. Müh. Suat Emrah DÜLGER ve İnş. Yük. Müh. Armağan ERCAN'a, bu yoğun çalışma temposunda beni yalnız bırakmayan, her türlü özveriyle beni bugünlere getiren annem Yük. Mim. Nuray KATİPOĞLU, babam İnş. Müh. Özcan KATİPOĞLU, ablam Çevre Yük. Müh.-Moleküler Biolog Tuğçe KATİPOĞLU, teyzem Prof. Dr. Yurdanur DÜLGEROĞLU ve anneannem Hasibe DÜLGEROĞLU'na teşekkürü bir borç bilirim.

Temmuz 2008

Ayça KATİPOĞLU

## İÇİNDEKİLER

|                                                                     |           |
|---------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>KISALTMALAR</b>                                                  | viii      |
| <b>TABLO LİSTESİ</b>                                                | ix        |
| <b>ŞEKİL LİSTESİ</b>                                                | x         |
| <b>SEMBOLLER</b>                                                    | xii       |
| <b>ÖZET</b>                                                         | xv        |
| <b>SUMMARY</b>                                                      | xvi       |
| <br>                                                                |           |
| <b>1 GİRİŞ</b>                                                      | <b>1</b>  |
| 1.1 Konu                                                            | 1         |
| 1.2 Hesap Yöntemleri ve Yapılan Kabuller                            | 4         |
| <br>                                                                |           |
| <b>2 ÇOK KATLI ÇELİK YAPILARDA TAŞIYICI SİSTEMLER</b>               | <b>9</b>  |
| 2.1 Çok Katlı Yapılarda Yaygın Olarak Kullanılan Taşıyıcı Sistemler | 9         |
| 2.1.1 Çerçeve Sistemler                                             | 9         |
| 2.1.2 Çerçeve ve Perde Duvarlı Sistemler                            | 10        |
| 2.1.3 Çekirdekli Sistemler                                          | 10        |
| 2.1.4 Tübüler Sistemler                                             | 10        |
| 2.1.5 Hibrid Sistemler                                              | 10        |
| 2.2 Yatay Kafes Kirişli Çerçeve ve Çekirdekli Sistemler             | 11        |
| <br>                                                                |           |
| <b>3 ÇOK KATLI ÇELİK BİR KULE YAPISININ STATİK ANALİZİ</b>          | <b>12</b> |
| 3.1 İMO – 02. R-01 Standart'ının Genel İlkeleri                     | 12        |
| 3.2 Yapı Çeliği Malzeme Özellikleri                                 | 12        |
| 3.3 Yapının Tanıtımı ve Kullanım Amacı                              | 12        |
| 3.4 Yapı Taşıyıcı Sistem Seçimi                                     | 13        |
| 3.5 Yük Analizi                                                     | 13        |
| 3.5.1 Düşey Yükler                                                  | 13        |
| 3.5.1.1 Normal Kat Döşeme Yükleri                                   | 13        |
| 3.5.1.2 Çatı Katı Döşeme Yükleri                                    | 14        |
| 3.5.1.3 Cephe Yükleri                                               | 14        |
| 3.5.2 Hareketli Yük                                                 | 14        |
| 3.5.3 Kar Yükü                                                      | 15        |
| 3.5.4 Rüzgar Yükü                                                   | 15        |
| 3.5.4.1 Rüzgarın Darbe Etkisi Analizi                               | 15        |
| 3.5.5 Deprem Yükleri                                                | 18        |
| 3.6 Yapının Sap 2000 Programı ile Dinamik Analizi                   | 18        |
| 3.6.1 Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi                                   | 18        |
| 3.6.2 Mod Birleştirme Yöntemi                                       | 21        |
| 3.6.3 Yükleme Kombinasyonları                                       | 23        |
| 3.6.4 Deprem Yükünün Yapıya Etkitilmesi                             | 24        |
| 3.6.5 Arttırılmış Deprem Etkileri                                   | 25        |
| 3.7 Taşıyıcı Sistem Şekilleri                                       | 26        |
| 3.7.1 Çekirdek ve Moment Aktaran Çerçeve Sistem                     | 26        |
| 3.7.2 Çekirdek, Moment Aktaran Çerçeve ve Dış Cephe Çaprazlı Sistem | 26        |

|                                                   |           |
|---------------------------------------------------|-----------|
| 3.7.3 Yatay Kafes Kirişli Çerçeve Sistem          | 26        |
| 3.8 Yapı Taşıyıcı Sistem Analiz Sonuçları         | 28        |
| 3.9 Deplasman Kontrolleri                         | 35        |
| 3.9.1 Etkin Göreli Kat Ötelenmesi                 | 35        |
| 3.9.2 II. Mertebe Etkileri                        | 38        |
| <b>4 YAPI ELEMANLARININ BOYUTLANDIRILMASI</b>     | <b>41</b> |
| 4.1 Kolonların Boyutlandırılması                  | 41        |
| 4.1.1 1.Kat Çekirdek Kolonları                    | 41        |
| 4.1.1.1 Enkesit Kontrolü                          | 42        |
| 4.1.1.2 Gerilme Kontrolü                          | 42        |
| 4.1.1.3 Kesme Güvenliği Kontrolü                  | 46        |
| 4.1.1.4 Arttırılmış Deprem Yükleri Kontrolü       | 47        |
| 4.1.2 2.-10. Çekirdek Kolonları                   | 47        |
| 4.1.2.1 Enkesit Kontrolü                          | 48        |
| 4.1.2.2 Gerilme Kontrolü                          | 48        |
| 4.1.2.3 Kesme Güvenliği Kontrolü                  | 51        |
| 4.1.2.4 Arttırılmış Deprem Yükleri Kontrolü       | 51        |
| 4.1.3 11.-20. Kat Çevre Kolonları                 | 51        |
| 4.1.3.1 Enkesit Kontrolü                          | 52        |
| 4.1.3.2 Gerilme Kontrolü                          | 53        |
| 4.1.3.3 Kesme Güvenliği Kontrolü                  | 55        |
| 4.1.3.4 Arttırılmış Deprem Yükleri Kontrolü       | 55        |
| 4.1.4 21.-30. Kat Çekirdek Kolonları              | 56        |
| 4.1.4.1 Enkesit Kontrolü                          | 57        |
| 4.1.4.2 Gerilme Kontrolü                          | 57        |
| 4.1.4.3 Kesme Güvenliği Kontrolü                  | 59        |
| 4.1.4.4 Arttırılmış Deprem Yükleri Kontrolü       | 59        |
| 4.1.4.5 HD 400X818 Hadde Profili Gerilme Kontrolü | 60        |
| 4.1.5 31.-40. Kat Çevre Kolonları                 | 62        |
| 4.1.5.1 Enkesit Kontrolü                          | 64        |
| 4.1.5.2 Gerilme Kontrolü                          | 64        |
| 4.1.5.3 Kesme Güvenliği Kontrolü                  | 66        |
| 4.1.5.4 Arttırılmış Deprem Yükleri Kontrolü       | 66        |
| 4.1.6 41.-50. Kat Çekirdek Kolonları              | 67        |
| 4.1.6.1 Enkesit Kontrolü                          | 68        |
| 4.1.6.2 Gerilme Kontrolü                          | 68        |
| 4.1.6.3 Kesme Güvenliği Kontrolü                  | 70        |
| 4.1.6.4 Arttırılmış Deprem Yükleri Kontrolü       | 71        |
| 4.1.6.5 HD 400X744 Hadde Profili Gerilme Kontrolü | 71        |
| 4.1.7 51.-60. Kat Çevre Kolonları                 | 74        |
| 4.1.7.1 Enkesit Kontrolü                          | 75        |
| 4.1.7.2 Gerilme Kontrolü                          | 75        |
| 4.1.7.3 Kesme Güvenliği Kontrolü                  | 77        |
| 4.1.7.4 Arttırılmış Deprem Yükleri Kontrolü       | 78        |
| 4.2 Kirişlerin Boyutlandırılması                  | 78        |
| 4.2.1 X-X Yönü Kirişleri                          | 78        |
| 4.2.1.1 Enkesit Kontrolü                          | 78        |
| 4.2.1.2 Gerilme Kontrolü                          | 79        |
| 4.2.1.3 Yanal Burkulma Kontrolü                   | 79        |

|                                                                      |           |
|----------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.2.1.4 Arttırılmış Deprem Yükleri Kontrolü                          | 80        |
| 4.2.1.5 Sehim Kontrolü                                               | 80        |
| 4.2.2 Y-Y Yönü Kirişleri                                             | 80        |
| 4.2.2.1 Enkesit Kontrolü                                             | 81        |
| 4.2.2.2 Gerilme Kontrolü                                             | 81        |
| 4.2.2.3 Yanal Burkulma Kontrolü                                      | 81        |
| 4.2.2.4 Arttırılmış Deprem Yükleri Kontrolü                          | 82        |
| 4.2.2.5 Sehim Kontrolü                                               | 83        |
| 4.3 Çaprazların Boyutlandırılması                                    | 83        |
| 4.3.1 1-26. Kat Çaprazları                                           | 83        |
| 4.3.1.1 Enkesit Kontrolü                                             | 83        |
| 4.3.1.2 Gerilme Kontrolü                                             | 83        |
| 4.3.1.3 Arttırılmış Deprem Yükleri Kontrolü                          | 84        |
| 4.3.2 27. Kat Çaprazları                                             | 84        |
| 4.3.2.1 Enkesit Kontrolü                                             | 84        |
| 4.3.2.2 Gerilme Kontrolü                                             | 84        |
| 4.3.2.3 Arttırılmış Deprem Yükleri Kontrolü                          | 85        |
| 4.4 Kuvvetli Kolon – Zayıf Kiriş Kontrolü                            | 85        |
| 4.5 Yapma Kolon ve Takviyeli Yapma Kolon Kaynak Hesapları            | 87        |
| 4.5.1 1.-10. Kat Çevre Kolonları Kaynak Hesabı                       | 87        |
| 4.5.2 11.-20. Kat Çevre Kolonları Kaynak Hesabı                      | 88        |
| 4.5.3 21.-27. Çevre Kolonları Kaynak Hesabı                          | 89        |
| 4.5.4 1. Kat Çekirdek Kolonları Kaynak Hesabı                        | 90        |
| 4.5.5 2.-10. Kat Çekirdek Kolonları Takviye Plakaları Kaynak Hesabı  | 91        |
| 4.5.6 11.-20. Kat Çekirdek Kolonları Takviye Plakaları Kaynak Hesabı | 92        |
| 4.5.7 21.-27. Kat Çekirdek Kolonları Takviye Plakaları Kaynak Hesabı | 93        |
| <b>5 YAPI ELEMANLARININ BİRLEŞİM HESAPLARI</b>                       | <b>95</b> |
| 5.1 Kolon – Kolon Ek Detayı                                          | 95        |
| 5.1.1 H 595X600- H 595X600 Kolon Eki                                 | 96        |
| 5.1.1.1 Gövde Levhası Bulon Hesabı                                   | 98        |
| 5.1.1.2 Başlık Levhası Bulon Hesabı                                  | 100       |
| 5.1.1.3 Gövde Levhası Tahkiki                                        | 101       |
| 5.1.1.4 Başlık Levhası Tahkiki                                       | 101       |
| 5.2 Kiriş – Kiriş Ek Detayı                                          | 101       |
| 5.2.1 HEB 550 Eki                                                    | 101       |
| 5.2.1.1 Gövde Levhası Bulon Hesabı                                   | 102       |
| 5.2.1.2 Başlık Levhası Bulon Hesabı                                  | 104       |
| 5.2.1.3 Gövde Levhası Tahkiki                                        | 104       |
| 5.2.1.4 Başlık Levhası Tahkiki                                       | 105       |
| 5.3 Çapraz – Kolon, Kiriş Bağlantı Detayı                            | 105       |
| 5.3.1 PD457*40- H 540X580-IPE 550 Birleşimi                          | 107       |
| 5.3.1.1 Düğüm Levhasını Kiriş Başlığına Bağlayan Kaynak Kontrolü     | 108       |
| 5.3.1.2 Düğüm Levhasını Kolon Yüzüne Bağlayan Kaynak Kontrolü        | 108       |
| 5.3.1.3 Whitmore Kesiti Analizi                                      | 109       |
| 5.3.1.4 Levha Gerilme Kontrolleri                                    | 109       |
| 5.4 Çapraz – Kiriş Bağlantı Detayı                                   | 110       |
| 5.4.1 PD406.4*30-IPE 550 Birleşimi                                   | 110       |
| 5.4.1.1 Çaprazların Bulon Birleşimlerinin Kontrolü                   | 111       |
| 5.4.1.2 Çaprazların Kaynaklı Birleşimlerinin Kontrolü                | 111       |

|                                                                    |            |
|--------------------------------------------------------------------|------------|
| 5.4.1.3 Dügüm Levhası Kaynak Kontrolü                              | 112        |
| 5.4.1.4 Whitmore Kesiti Analizi                                    | 112        |
| 5.4.1.5 Levha Gerilme Kontrolleri                                  | 113        |
| 5.5 Ana Kiriş – Tali Kiriş Bağlantı Detayı                         | 113        |
| 5.5.1 HEB 550-IPE 360 Birleşimi                                    | 113        |
| 5.5.1.1 Bulon Hesabı                                               | 113        |
| 5.5.1.2 Kiriş Azalan Gövde Kontrolü                                | 115        |
| 5.5.1.3 Nervür Levhasındaki Kaynak Kontrolü                        | 115        |
| 5.6 Rijit Kolon – Kiriş Birleşim Detayları                         | 115        |
| 5.6.1 H 540X580-HEB 550 Ek Başlık Levhalı Kaynaklı Birleşimi       | 115        |
| 5.6.1.1 Kayma Bölgesi Kontrolü                                     | 117        |
| 5.6.1.2 Süreklilik Levhası Kontrolü                                | 117        |
| 5.6.1.3 Başlık Ek Levhası Kaynak Boyu Hesabı                       | 118        |
| 5.6.1.4 Gövde Kayma Elemanı Kaynak Boyu Hesabı                     | 118        |
| 5.6.2 H 550X590-IPE 550 Alın Levhalı Bulonlu Birleşimi             | 118        |
| 5.6.2.1 Bulon Hesabı                                               | 119        |
| 5.6.2.2 Alın Levhası Tahkiki                                       | 120        |
| 5.6.2.3 Kaynak Hesabı                                              | 121        |
| 5.6.2.4 Süreklilik Levhası Kontrolü                                | 121        |
| 5.7 Ankastre Kolon Ayak Detayı                                     | 122        |
| 5.7.1 HT 600X600 Takviyeli Yapma Profil Kolon Ayağı                | 122        |
| 5.7.1.1 Kolon Ayak Detayı Sonlu Eleman Model Analizi               | 123        |
| 5.7.1.2 Beton Basınç Gerilmesi Kontrolü                            | 127        |
| 5.7.1.3 Guse Levhalarını Kolon Başlığına Bağlayan Kaynak Hesabı    | 127        |
| 5.7.1.4 Guse Levhalarının Uç Kesitlerinde Gerilme Tahkiki          | 127        |
| 5.7.1.5 Guse Levhasını Taban Levhasına Bağlayan Kaynak Hesabı      | 127        |
| 5.7.1.6 Ankraj Bulonu ve Ankraj Profili Kontrolü                   | 128        |
| 5.7.1.7 Kolon Gövdesini Taban Levhasına Bağlayan Kaynak Hesabı     | 129        |
| 5.7.1.8 Kama Hesabı                                                | 129        |
| <b>6 KOMPOZİT DÖŞEME HESABI</b>                                    | <b>132</b> |
| 6.1 Döşeme Sistemi Tanıtımı                                        | 132        |
| 6.2 Kompozit Döşeme Hesabı                                         | 132        |
| 6.2.1 Kompozit Döşemenin Boyutlandırılması                         | 132        |
| 6.2.2 Kesit Zorlarının Belirlenmesi                                | 133        |
| 6.2.3 Katlanmış Çelik Sacın Kalıp Süresince Hesabı                 | 134        |
| 6.2.4 Kompozit Çalışma Süresinde Döşemenin Kontrolü                | 137        |
| 6.3 Kompozit Döşeme Kirişlerinin Hesabı                            | 144        |
| 6.3.1 IPE 360 Profili Enkesit Kontrolü                             | 145        |
| 6.3.2 Pozitif ve Negatif Moment Bölgesinde Plastik Moment Dayanımı | 146        |
| 6.3.3 Basit Kirişlerde Kayma Bağlantısı                            | 149        |
| 6.3.4 Sürekli Kirişlerde Kayma Bağlantısı                          | 151        |
| 6.3.5 Kayma Bağlantıları için Konstrüktif Kurallar                 | 152        |
| 6.3.6 Düşey Kayma Dayanımı                                         | 152        |
| 6.3.7 Sehim Hesabı                                                 | 153        |
| 6.3.8 Yanal Burkulma Hesabı                                        | 153        |
| 6.3.9 Enine Takviye Hesabı                                         | 154        |
| <b>7 TEMEL HESABI</b>                                              | <b>155</b> |
| 7.1 Radye Temelin Boyutlandırılması                                | 155        |

|                                                 |            |
|-------------------------------------------------|------------|
| 7.2 Radye Temelin Sap 2000 Programı İle Analizi | 155        |
| 7.2.1 Zemin Emniyet Gerilmesi Kontrolü          | 155        |
| 7.3 Donatı Hesabı                               | 156        |
| 7.4 Zımbalama Kontrolü                          | 158        |
| <b>8 SONUÇLAR</b>                               | <b>159</b> |
| <b>KAYNAKLAR</b>                                | <b>161</b> |
| <b>EKLER</b>                                    | <b>162</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ</b>                                 | <b>167</b> |

## **KISALTMALAR**

|                   |                                                                     |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------|
| <b>BS</b>         | : Beton Sınıfı                                                      |
| <b>BÇ</b>         | : Beton Çeliği                                                      |
| <b>DBYBHY2007</b> | : Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik<br>2007 |
| <b>SDGT</b>       | : Sınır Durumlarına Göre Tasarım                                    |
| <b>TS</b>         | : Türk Standardı                                                    |

## TABLO LİSTESİ

|                                                                                          | <u>Sayfa No</u> |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| <b>Tablo 1.1</b> : Elektrod mekanik özellikleri.....                                     | 7               |
| <b>Tablo 1.2</b> : Kaynak emniyet gerilme değerleri .....                                | 7               |
| <b>Tablo 1.3</b> : Bulonlar için emniyet gerilme değerleri (St52) .....                  | 8               |
| <b>Tablo 3.1</b> : X Doğrultusu cephe yüklerinin tekil yüke dönüştürülmesi .....         | 14              |
| <b>Tablo 3.2</b> : Y Doğrultusu cephe yüklerinin tekil yüke dönüştürülmesi .....         | 14              |
| <b>Tablo 3.3</b> : Binanın kısa doğrultusuna ait rüzgar yükü parametreleri.....          | 17              |
| <b>Tablo 3.4</b> : Yüksekliğe bağlı olarak rüzgar hızı ve basıncı .....                  | 18              |
| <b>Tablo 3.5</b> : Taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R) .....                          | 22              |
| <b>Tablo 3.6</b> : $\Omega_0$ Büyütme katsayıları.....                                   | 25              |
| <b>Tablo 3.7</b> : Modal periodları.....                                                 | 29              |
| <b>Tablo 3.8</b> : Modal kütle katılım oranları .....                                    | 29              |
| <b>Tablo 3.9</b> : Taşıyıcı sistem taban kesme kuvvetleri.....                           | 33              |
| <b>Tablo 3.11</b> : Rüzgarlı durumda y yönü taban kesme kuvvetinin katlara dağılımı..... | 35              |
| <b>Tablo 3.12</b> : Yapı tepe noktası deplasmanları .....                                | 36              |
| <b>Tablo 3.13</b> : Etkin görelî kat ötelenmeleri.....                                   | 37              |
| <b>Tablo 3.14</b> : II. mertebe etkileri.....                                            | 39              |
| <b>Tablo 3.15</b> : Rüzgar ve deprem yükü değerleri .....                                | 40              |
| <b>Tablo 4.1</b> : HT 600X600 takviyeli yapma profil kesit özellikleri .....             | 41              |
| <b>Tablo 4.2</b> : HT 595X600 takviyeli yapma profil kesit özellikleri .....             | 48              |
| <b>Tablo 4.3</b> : H 595X600 yapma profil kesit özellikleri .....                        | 52              |
| <b>Tablo 4.4</b> : HT 550X590 takviyeli yapma profil kesit özellikleri .....             | 56              |
| <b>Tablo 4.5</b> : H 550X590 yapma profil kesit özellikleri .....                        | 63              |
| <b>Tablo 4.6</b> : HT 540X580 takviyeli yapma profil kesit özellikleri .....             | 67              |
| <b>Tablo 4.7</b> : H 540X580 yapma profil kesit özellikleri .....                        | 74              |
| <b>Tablo 4.8</b> : IPE 550 kesit özellikleri .....                                       | 78              |
| <b>Tablo 4.9</b> : HEB 550 kesit özellikleri .....                                       | 81              |
| <b>Tablo 4.10</b> : PD 406.4x30 kesit özellikleri.....                                   | 83              |
| <b>Tablo 4.11</b> : PD 457x40 kesit özellikleri .....                                    | 84              |
| <b>Tablo 4.12</b> : $D_a$ Arttırma katsayıları .....                                     | 86              |
| <b>Tablo 4.13</b> : Kesitlerin kapasite değerleri .....                                  | 86              |
| <b>Tablo 4.14</b> : Çekirdek kolonlar için kuvvetli kolon – zayıf giriş kontrolü .....   | 86              |
| <b>Tablo 4.15</b> : Çevre kolonlar için kuvvetli kolon – zayıf giriş kontrolü .....      | 87              |
| <b>Tablo 5.1</b> : H 595X600 yapma profil kesit özellikleri .....                        | 96              |
| <b>Tablo 5.2</b> : PD457*40 kesit özellikleri .....                                      | 107             |
| <b>Tablo 5.3</b> : PD406*30 kesit özellikleri .....                                      | 111             |
| <b>Tablo 6.1</b> : IPE 360 kesit özellikleri .....                                       | 144             |
| <b>Tablo 7.1</b> : Temel özellikleri .....                                               | 155             |
| <b>Tablo 7.2</b> : Zemin özellikleri .....                                               | 155             |
| <b>Tablo 7.3</b> : Radye temelde okunan maksimum moment değerleri .....                  | 157             |
| <b>Tablo 7.4</b> : Açıklık ve mesnetler için donatılar .....                             | 157             |

## ŞEKİL LİSTESİ

|                                                                                | <u>Sayfa No</u> |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| Şekil 1.1 : İzometrik görünüş.....                                             | 2               |
| Şekil 1.2 : Normal kat ve çatı katı dispozisyon planı.....                     | 3               |
| Şekil 1.3 : Genel görünüş-1 .....                                              | 5               |
| Şekil 1.4 : Genel görünüş-2 .....                                              | 6               |
| Şekil 3.1 : $W_x$ rüzgar yüklemesi.....                                        | 19              |
| Şekil 3.2 : $W_y$ rüzgar yüklemesi.....                                        | 20              |
| Şekil 3.3 : Çekirdek ve moment aktaran çerçeve sistem normal kat planı.....    | 27              |
| Şekil 3.4 : Çekirdek, moment çerçevesi ve dış cephe çaprazları .....           | 27              |
| Şekil 3.5 : Yatay kafes kirişli sistem çatı katı planı .....                   | 28              |
| Şekil 3.6 : Binanın uzun doğrultusu cephe çaprazları .....                     | 30              |
| Şekil 3.7 : Binanın kısa doğrultusu cephe çaprazları .....                     | 30              |
| Şekil 3.8 : Yatay kafesli çerçeve sistem cephe görünüşü-1 .....                | 31              |
| Şekil 3.10: Yatay kafes kirişli çerçeve sistem izometrik görünüşü.....         | 34              |
| Şekil 3.11: Taşıyıcı sistem mod şekilleri.....                                 | 38              |
| Şekil 4.1 : HT 600X600 Kesiti.....                                             | 41              |
| Şekil 4.2 : HT 595X600 Kesiti.....                                             | 47              |
| Şekil 4.3 : H 595X600 Kesiti.....                                              | 52              |
| Şekil 4.4 : HT 550X590 Kesiti.....                                             | 56              |
| Şekil 4.5 : H 550X590 Kesiti.....                                              | 63              |
| Şekil 4.6 : HT 540X580 Kesiti.....                                             | 67              |
| Şekil 4.7 : H 540X580 Kesiti.....                                              | 74              |
| Şekil 4.8 : Kuvvetli kolon – zayıf kiriş kontrolü.....                         | 85              |
| Şekil 5.1 : Kolon ek detayı.....                                               | 96              |
| Şekil 5.2 : Kiriş ek detayı.....                                               | 102             |
| Şekil 5.3 : Çapraz-kiriş-kolon bağlantı detayı .....                           | 107             |
| Şekil 5.4 : Çapraz-kiriş bağlantı detayı .....                                 | 110             |
| Şekil 5.5 : Ana kiriş-tali kiriş birleşim detayı .....                         | 114             |
| Şekil 5.6 : Ek başlık levhali kaynaklı kolon-kiriş birleşim detayı .....       | 116             |
| Şekil 5.7 : Alın levhali bulonlu kolon-kiriş birleşim detayı .....             | 119             |
| Şekil 5.8 : Kolon ayak detayı .....                                            | 122             |
| Şekil 5.9 : Çekirdek kolonu taban levhası sonlu eleman bilgisayar modeli ..... | 124             |
| Şekil 5.10: Taban levhası basınç durumu Von Misses gerilmesi .....             | 124             |
| Şekil 5.11: Taban levhası Basınç Gerilmesi .....                               | 125             |
| Şekil 5.12: Taban levhası çekme durumu Von Misses gerilmesi .....              | 126             |
| Şekil 5.13: Taban levhası çekme gerilmesi .....                                | 126             |
| Şekil 5.14: Kama elemanının teşkili.....                                       | 130             |
| Şekil 6.1 : Kompozit döşeme çelik sac-beton enkesiti .....                     | 133             |
| Şekil 6.2 : Kompozit döşeme enkesiti .....                                     | 144             |
| Şekil 6.3 : Normal kat planı kompozit döşeme oluk doğrultusu.....              | 145             |
| Şekil 7.1 : D+L+2E kombinasyonuna göre zemin gerilmeleri .....                 | 156             |
| Şekil A.1 : Etki faktörü.....                                                  | 163             |

|                                                    |            |
|----------------------------------------------------|------------|
| <b>Şekil A.2 : Türbülans faktörü.....</b>          | <b>164</b> |
| <b>Şekil A.3 : Boyut küçültme faktörü.....</b>     | <b>165</b> |
| <b>Şekil A.4 : Darbe etkisi enerji oranı .....</b> | <b>165</b> |
| <b>Şekil A.5 : Pik faktörü .....</b>               | <b>166</b> |

## SEMBOLLER

|                                     |                                                                                                |
|-------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>A(T)</b>                         | : Spektral İvme Katsayısı                                                                      |
| <b>A<sub>o</sub></b>                | : Etkin Yer İvmesi Katsayısı                                                                   |
| <b>A<sub>s</sub></b>                | : Çekme donatısı kesit alanı                                                                   |
| <b>b</b>                            | : Genişlik                                                                                     |
| <b>b<sub>bf</sub></b>               | : Kiriş kesitinin başlık genişliği                                                             |
| <b>b<sub>cf</sub></b>               | : Kolon kesitinin başlık genişliği                                                             |
| <b>b<sub>x</sub>, b<sub>y</sub></b> | : Zımbalama çevresinin (up) “x” ve “y” doğrultularındaki boyutları                             |
| <b>C</b>                            | : Atalet momenti değişken çubuklarda, sabit atalet momenti elde etmek için kullanılan yardımcı |
| <b>C<sub>b</sub></b>                | : Moment değişiminin burkulma üzerindeki etkisini belirleyen bir katsayı                       |
| <b>C<sub>m</sub></b>                | : Eksenel basınç ve eğilmenin etkidiği sistemlerde, kolonun şeklini gözönüne alan bir katsayı  |
| <b>D</b>                            | : Dairesel halka kesitlerde dış çap                                                            |
| <b>d</b>                            | : Perçin veya civata çapı                                                                      |
| <b>D<sub>a</sub></b>                | : Akma gerilmesi arttırma katsayısı                                                            |
| <b>d<sub>b</sub></b>                | : Kiriş enkesit yüksekliği                                                                     |
| <b>d<sub>c</sub></b>                | : Kolon enkesit yüksekliği                                                                     |
| <b>E</b>                            | : Çeliğin elasisite modülü (E = 2100000 kgf/ cm <sup>2</sup> )                                 |
| <b>E</b>                            | : Deprem yükü simgesi                                                                          |
| <b>e</b>                            | : Dışmerkezlik                                                                                 |
| <b>E1Y</b>                          | : Esas ve ilave yüklerin toplamı                                                               |
| <b>EY</b>                           | : Esas yüklerin toplamı                                                                        |
| <b>F</b>                            | : En kesit alanı                                                                               |
| <b>F<sub>b</sub></b>                | : Basınç başlığının en kesit alanı                                                             |
| <b>f<sub>ck</sub></b>               | : Beton karakteristik basınç dayanımı                                                          |
| <b>f<sub>ctk</sub></b>              | : Beton karakteristik eksenel çekme dayanımı                                                   |
| <b>F<sub>i</sub></b>                | : Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi’nde i’inci kata etkiyen eşdeğer deprem yükü                      |
| <b>F<sub>n</sub></b>                | : Faydalı en kesit alanı                                                                       |
| <b>g</b>                            | : Yerçekimi ivmesi (9.81 m/s <sup>2</sup> )                                                    |
| <b>h<sub>i</sub></b>                | : Binanın i’inci katının kat yüksekliği                                                        |
| <b>H<sub>N</sub></b>                | : Binanın temel üstünden itibaren ölçülen toplam yüksekliği                                    |
| <b>I</b>                            | : Bina Önem Katsayısı                                                                          |
| <b>I<sub>x</sub>, I<sub>y</sub></b> | : En kesitin atalet momenti                                                                    |
| <b>K</b>                            | : Burkulma boyunu belirleyen bir katsayı                                                       |
| <b>ℓ’</b>                           | : Kiriş uçlarındaki olası plastik mafsalları arasındaki uzaklık                                |
| <b>ℓ<sub>b</sub></b>                | : Kirişin yanal doğrultuda mesnetlendiği noktalar arasındaki uzaklık                           |

|                                       |                                                                                            |
|---------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>M</b>                              | : Düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanan eğilme                 |
| <b>M<sub>p</sub></b>                  | : Eğilme momenti kapasitesi                                                                |
| <b>M<sub>pa</sub></b>                 | : Kolonun alt ucunda hesaplanan moment kapasitesi                                          |
| <b>M<sub>pi</sub></b>                 | : Kirişin sol ucu i’de hesaplanan pozitif veya negatif moment kapasitesi                   |
| <b>M<sub>pj</sub></b>                 | : Kirişin sağ ucu j’de hesaplanan negatif veya pozitif moment kapasitesi                   |
| <b>M<sub>pü</sub></b>                 | : Kolonun üst ucunda hesaplanan moment kapasitesi                                          |
| <b>N</b>                              | : Düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanan eksenel kuvvet         |
| <b>n</b>                              | : Hareketli Yük Katılım Katsayısı                                                          |
| <b>N</b>                              | : Zımbalamada kolon eksenel yükü                                                           |
| <b>N<sub>bp</sub></b>                 | : Eksenel basınç kapasitesi                                                                |
| <b>N<sub>çp</sub></b>                 | : Eksenel çekme kapasitesi                                                                 |
| <b>Q</b>                              | : Hareketli yük simgesi                                                                    |
| <b>R</b>                              | : Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı                                                       |
| <b>R<sub>ax</sub>, R<sub>ay</sub></b> | : Deprem Yüğü Azaltma Katsayıları                                                          |
| <b>s</b>                              | : Kirişin basınç başlığında dönmeye ve yanal deplasmana karşı mesnetleri arasındaki mesafe |
| <b>S(T)</b>                           | : Spektrum Katsayısı                                                                       |
| <b>S<sub>x</sub>, S<sub>y</sub></b>   | : Çubuğun burkulma boyu                                                                    |
| <b>T</b>                              | : Bina doğal titreşim periyodu [s]                                                         |
| <b>T<sub>1</sub></b>                  | : Binanın birinci doğal titreşim periyodu [s]                                              |
| <b>T<sub>A</sub>, T<sub>B</sub></b>   | : Spektrum Karakteristik Periyotları [s]                                                   |
| <b>t<sub>bf</sub></b>                 | : Kiriş kesitinin başlık kalınlığı                                                         |
| <b>t<sub>cf</sub></b>                 | : Kolon kesitinin başlık kalınlığı                                                         |
| <b>T<sub>m</sub>, T<sub>n</sub></b>   | : Binanın m’inci ve n’inci doğal titreşim periyotları [s]                                  |
| <b>t<sub>p</sub></b>                  | : Takviye levhaları dahil olmak üzere, kayma bölgesindeki toplam levha kalınlığı           |
| <b>t<sub>t</sub></b>                  | : Takviye levhası kalınlığı                                                                |
| <b>t<sub>w</sub></b>                  | : Gövde kalınlığı                                                                          |
| <b>u</b>                              | : Kayma bölgesi çevresinin uzunluğu                                                        |
| <b>u<sub>p</sub></b>                  | : Zımbalama çevresi (yüklenen alana d/2 uzaklıkta)                                         |
| <b>V</b>                              | : Kesme kuvveti                                                                            |
| <b>V<sub>d</sub></b>                  | : Düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanan kesme kuvveti          |
| <b>V<sub>dy</sub></b>                 | : Kirişin kolona birleşen yüzünde düşey yüklerden meydana gelen basit kiriş kesme kuvveti  |
| <b>V<sub>e</sub></b>                  | : Kolon-kiriş birleşim bölgesinin gerekli kesme dayanımı                                   |
| <b>V<sub>i</sub></b>                  | : Gözönüne alınan deprem doğrultusunda binanın i’inci katına etki eden kat kesme kuvveti   |
| <b>V<sub>ke</sub></b>                 | : Kayma bölgesinin gerekli kesme dayanımı                                                  |
| <b>V<sub>p</sub></b>                  | : Kesme kuvveti kapasitesi                                                                 |
| <b>V<sub>pd</sub></b>                 | : Tasarım zımbalama kuvveti                                                                |
| <b>V<sub>pr</sub></b>                 | : Zımbalama dayanımı                                                                       |

|                    |                                                                                                                                                                      |
|--------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $V_t$              | : Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nde gözönüne alınan deprem doğrultusunda binaya etkiyen toplam eşdeğer deprem yüğü (taban kesme kuvveti)                               |
| $V_{tb}$           | : Mod Birleştirme Yöntemi'nde, gözönüne alınan deprem doğrultusunda modlara ati katkıların birleştirilmesi ile bulunan bina toplam deprem yüğü (taban kesme kuvveti) |
| $W$                | : Binanın, hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak bulunan toplam ağırlığı                                                                                      |
| $W$                | : Rüzgar etkisi                                                                                                                                                      |
| $w_i$              | : Binanın i'inci katının, hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak hesaplanan ağırlığı                                                                           |
| $W_p$              | : Plastik mukavemet momenti                                                                                                                                          |
| $Y$                | : Mod Birleştirme Yöntemi'nde hesaba katılan yeterli doğal titreşim modu                                                                                             |
| $\beta$            | : Mod Birleştirme Yöntemi ile hesaplanan büyüklüklerin alt sınırlarının belirlenmesi için kullanılan katsayı                                                         |
| $\gamma$           | : Zımbalamada eğilme etkisini yansıtan katsayı                                                                                                                       |
| $\Delta F_N$       | : Binanın N'inci katına (tepesine) etkiyen ek eşdeğer deprem yüğü                                                                                                    |
| $\Delta_i$         | : Binanın i'inci katındaki azaltılmış görelî kat ötelemesi                                                                                                           |
| $\delta_i$         | : Binanın i'inci katındaki etkin görelî kat ötelemesi                                                                                                                |
| $\theta_i$         | : i'inci katta tanımlanan İkinci Mertebe Gösterge Değeri                                                                                                             |
| $\lambda$          | : Narinlik modülü,                                                                                                                                                   |
| $\rho_{min}$       | : Minimum donatı oranı                                                                                                                                               |
| $\sigma_b$         | : Yalnız eğilme momenti etkisi altında hesaplanan basınç gerilmesi                                                                                                   |
| $\sigma_B$         | : Yalnız eğilme momenti etkisi altında müsaade edilecek basınç eğilme gerilmesi                                                                                      |
| $\sigma_{bem}$     | : Yalnız basınç kuvveti etkisi altında müsaade edilecek basınç gerilmesi                                                                                             |
| $\sigma_{cem}$     | : Çekme emniyet gerilmesi                                                                                                                                            |
| $\sigma_{eb}$      | : Yalnız basınç kuvveti altında hesaplanan gerilme                                                                                                                   |
| $\sigma_{ez}$      | : Ezilme emniyet gerilmesi                                                                                                                                           |
| $\sigma_v$         | : Asal gerilmeleri gözönüne alındığında kıyaslama gerilmesi                                                                                                          |
| $\sigma_a$         | : Yapı çeliğinin akma gerilmesi                                                                                                                                      |
| $\sigma_{em}$      | : Emniyet gerilmesi                                                                                                                                                  |
| $\tau$             | : Hesaplanan kayma gerilmesi                                                                                                                                         |
| $\tau_{em}$        | : Kayma emniyet gerilmesi                                                                                                                                            |
| $\omega$           | : Basınç emniyet gerilmesinin hesabında kullanılan çubuğun narinliği ile bağlantılı burkulma                                                                         |
| $\Omega_0$         | : Büyütme katsayısı                                                                                                                                                  |
| $(\delta_i)_{max}$ | : Binanın i'inci katındaki maksimum etkin görelî kat ötelemesi                                                                                                       |
| $(\Delta_i)_{ort}$ | : Binanın i'inci katındaki ortalama azaltılmış görelî kat ötelemesi                                                                                                  |

## ÇOK KATLI BİR ÇELİK YAPININ TASARIMINDA YATAY KAFES KİRİŞLİ ÇERÇEVE SİSTEM UYGULAMASININ ANALİZİ

### ÖZET

Yüksek lisans tezi olarak hazırlanan bu çalışmada, süreklilik düzeyi yüksek kule tipi çok katlı bir çelik yapının tasarımı için üç taşıyıcı sistem şekli arasında karşılaştırmalar yapılmış, bina için en uygun sonucu veren merkezi çelik çaprazlı perdelerle güçlendirilmiş çekirdek, moment aktaran çerçeve ve yatay kafes kirişli sistem uygulamasına gidilmiştir. Ayrıca bina tasarımında önemli rol oynayan rüzgar ve deprem yüklemeleri karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Bu hesap, ilgili imalat resimleri ile sunulmuştur.

Yapı modeli x doğrultusunda 47.1 m, y dorultusunda ise 39.5 m uzunluğundadır. X yönünde 7, y yönünde ise 3 açıklıklı olan bina, yaklaşık 1861 m<sup>2</sup> alana sahip bir kule tipi yapıdır. Normal kat yüksekliği 3.7 m, toplam yüksekliği 103 m olan 27 katlı yapının ilk ve son kat yükseklikleri sırasıyla 4.5 ve 6 m'dir. Kat döşemeleri 152.5 cm arayla döşenmiş kompozit döşeme ile çözümlenmiştir. Her kat alanı için döşemede bırakılan 112 m<sup>2</sup>'lik asansör, merdiven ve tesisat boşlukları kullanıma açık olmayan son katta sona ermektedir.

Yapı 1. Derece deprem bölgesinde ve Z2 sınıfı özelliklerine sahip bir zemin üzerinde oturmaktadır. Zemin emniyet gerilmesi 500 kN/m<sup>2</sup>'dir. Yapıda BS III betonarme çeliği kullanılmış, kompozit döşemelerde de C35 kalitesinde beton seçilmiştir. Hadde profillerden teşkil edilen tüm yapı elemanları ve levhalar St52 kalitesindedir. Birleşimlerde yüksek mukavemetli bulonlar kullanılmıştır.

Yapının statik ve dinamik analizi SAP 2000 programı kullanılarak yapılmıştır. Oluşturulan bilgisayar modelinde kolon ve kirişler çubuk elemanı olarak girilmiş, programdan alınan veriler doğrultusunda tüm elemanlar TS 648, İMO – 02. R-01, 'Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik 2007' ve Kanada Yönetmeliği dikkate alınarak boyutlandırılmıştır. Yük değerleri için TS 498, betonarme hesapları için ise TS 500 Yönetmelikleri esas alınmıştır. Temel sistemi, radye temel olarak düşünülmüş ve oluşturulan ayrı bir bilgisayar modelinde yaylar tanımlanarak modellenmiştir.

Yapının genel yerleşim ve imalat resimleri XSsteel v8.02 programı yardımıyla çizilmiş ve ekte verilmiştir.

Son bölümde elverişsiz çıkan rüzgar kuvvetine göre tasarlanan kule tipi çok katlı çelik yapıda uygulanan taşıyıcı sistemin özellikleri irdelenmiştir.

## **THE APPLICATION OF HORIZONTAL TRUSS BEAM IN HIGH RISE STEEL STRUCTURE DESIGN**

### **SUMMARY**

In this study, which is presented as a master thesis, three load carrying systems for a high rise steel structure are considered. A system consisting of eccentrically braced core, moment frames and horizontal truss system that gives the optimum result is designed. The wind and earthquake loads having significant roles in the design of the structure is analyzed. Its drawings are presented.

In the computer model, dimensions of the structure in x and y axis are respectively 47.1 and 39.5 m. That tower has 7 spans in longitudinal axis, 3 spans in transverse axis. The area is about 1861 m<sup>2</sup>. However 25 floors have 3.7 m heights each, the ground floor is 4.5 m and the final stage is 6 m. Floors are consisted of floor beams which have 152.5 cm spans and designed as composite members. Every floor has 112 m<sup>2</sup> space used for elevator, stairs and installation.

It is assumed that the office building is based on in the first degree of earthquake zone on the Z2 soil class. The ground safety tension is 500 kN/m<sup>2</sup>. For the design of the structure, quality of C35 concrete and BÇIII reinforced concrete steel bars are chosen. All steel members have the quality of St52 and the bolts are high strength.

SAP 2000 which is a very actual structural analysis software is used for static and dynamic analysis. In the computer model, columns and beams are defined as frame elements. According to the output of the computer program, all members are formed with respect to TS 648, İMO – 02. R-01, Turkish Earthquake Code Zone called ‘Regulations for Buildings of Disasters Regions 2007’ and Canadian Standards Association Offshore Structures Code. TS498 and TS 500 are used for respectively load datas and concrete design. Base structure is chosen as a mat foundation. In a different computer model, the mat foundation is modeled with considering spring elements

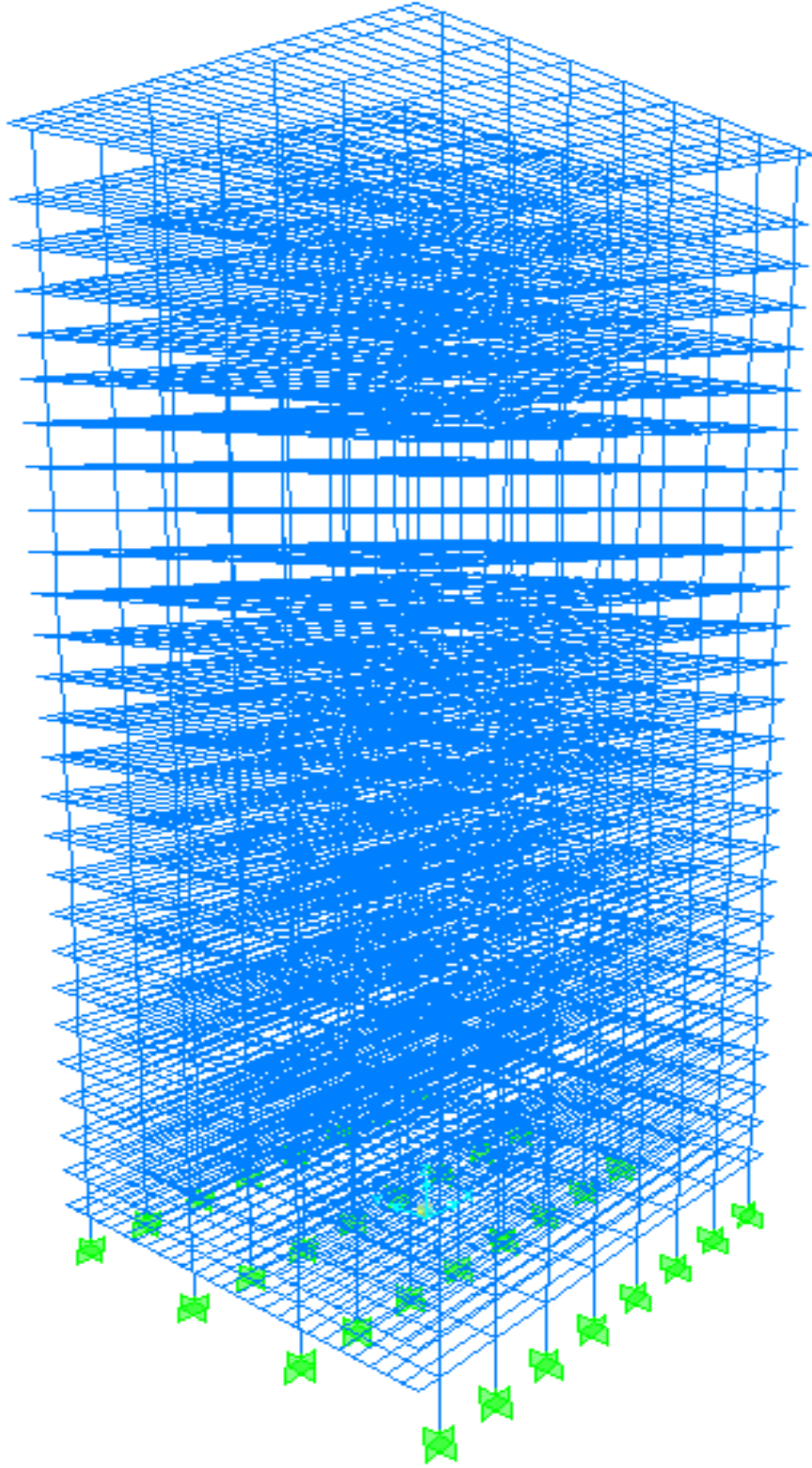
Drawings of the structure are prepared by XSteel v8.02 program and they are given in appendix. In the final part, features of the load carrying system of the tower building which is designed under wind loads are briefly discussed.

# 1 GİRİŞ

## 1.1 Konu

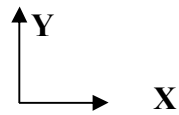
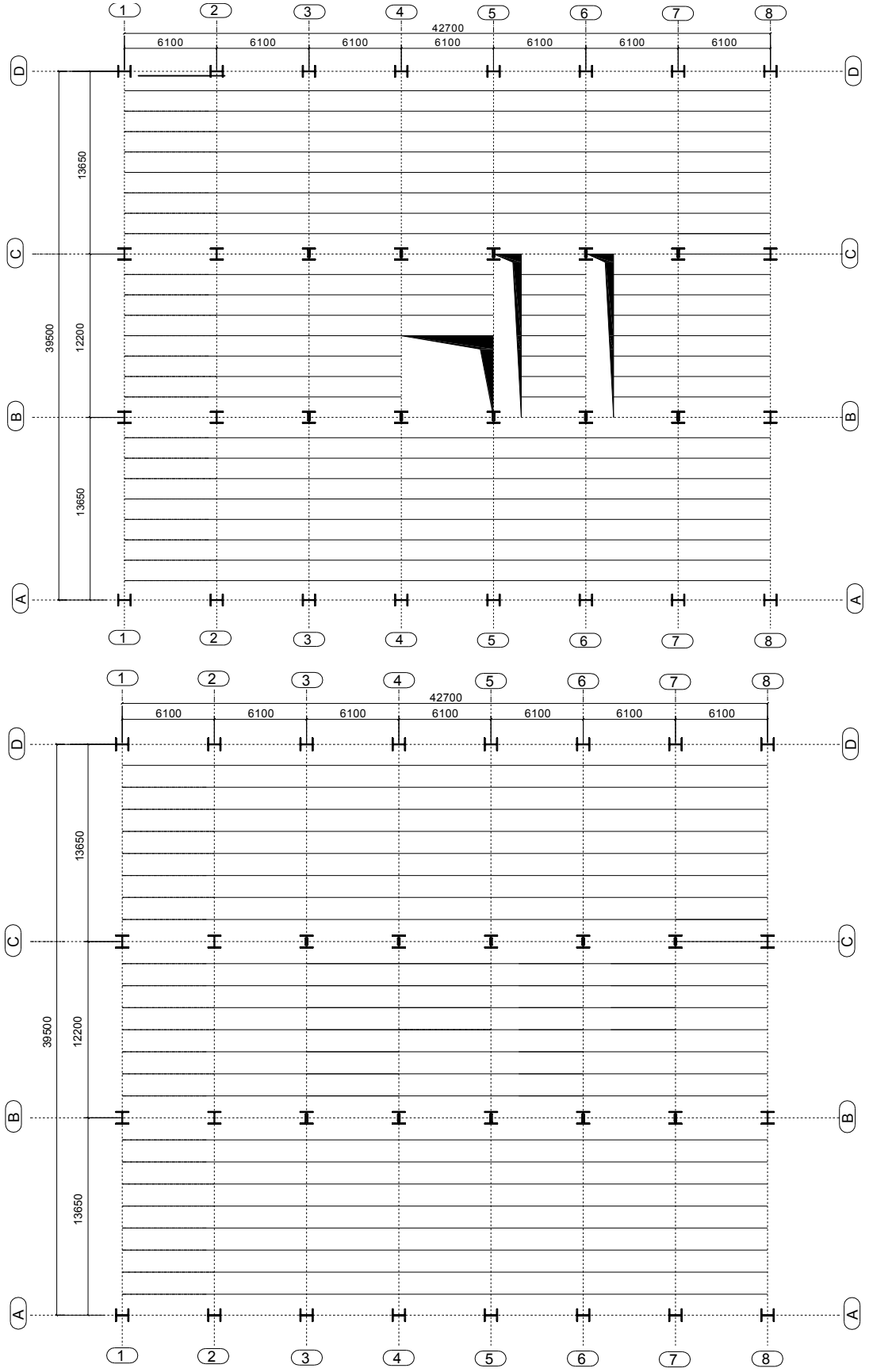
Son yıllarda dünyada tek amaçlı yapılardan çok amaçlı yapılara doğru hızlı ve açık bir gidiş söz konusudur. Bu doğrultuda konut, büro gibi farklı işlevlerin aynı yapıda toplandığı çok katlı yapıların geliştiği görülmektedir. Ancak rüzgar ve doğal felaketlerden biri olan deprem, bu hızla yükselen yapıların önünde asla küçümsenmemesi gereken bir durum olarak ortaya çıkmaktadır. Bu tür yapılarda mimari kaygıların ötesinde taşıyıcı sistemin doğru saptanması daha önemli bir durumdur.

Ele alınan bu çalışmada, yukarıda belirtilen nedenlerden ötürü deprem göz önüne alınmadan boyutlandırılan, taşıyıcı sistemin çerçevelerle birlikte kompozit iç ve dış kolonlarla güçlendirildiği, ABD New York'taki çelik Union Carbide Corporation yapısının mimari planları örnek alınarak, günümüzde depreme göre boyutlandırmada en yeni esasların göz önüne alındığı 2007 yılında yürürlüğe giren 'Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007', rüzgarlı durum için ise Kanada Yönetmeliği kullanılarak yeni bir yapı tasarlanmıştır. Düşey yüklerin yanı sıra deprem ve rüzgar gibi yatay etkilerin altında yapı için en uygun taşıyıcı sistem seçimi için ilk olarak binanın büro amaçlı kullanımı ve mimari özellikleri doğrultusunda çekirdek sistem öngörülmüştür. Yapı stabilitesinin yeterli olmadığı bu durumda ikincil olarak sisteme her iki yönde dış cephe çaprazları dahil edilmiş ve yapı analizi tekrarlanmıştır. Yapılan iki sistem analizi sonucu etkin göreceli deplasmanların taşıyıcı sistem şeklinde belirleyici rol oynadığı saptanarak binanın son katında her iki yönde yatay kafes kirişli çerçeve sistem uygulamasına gidilmiştir. Sonuçlar son bölümde tartışılmış ve gerekli imalat paftaları ekte verilmiştir. Mimari boyutları baz alınan Union Carbide Corporation adlı çok katlı çelik yapıya ait izometrik görünüş Şekil 1.1'de gösterilmiştir.



**Şekil 1.1:** İzometrik görünüş

ABD New York'taki iş merkezine ait normal kat ve çatı katı dispozisyon planı Şekil 1.2'de verilmiştir.



Şekil 1.2: Normal kat ve çatı katı dispozisyon planı

## 1.2 Hesap Yöntemleri ve Yapılan Kabuller

Yapının statik, dinamik hesabı için bilgisayar programları kullanılmıştır. Hazırlanan bilgisayar modelinde kolon ve kirişler çubuk eleman olarak girilmiş, radye temel ise kabuk elemanlarla oluşturulmuştur. Sistemin deprem hesabında yapının yüksekliğinin sınır değerlerden yüksek olması nedeniyle bir çok mod katkılarının göz önüne alındığı mod birleştirme yöntemine başvurulmuştur.

Yapıya etkitilen sabit ve hareketli yükler için TS 498 Yönetmeliği'nden yararlanılmıştır. Deprem yüklerinin saptanmasında DBYBHY2007 kurallarına uygun hareket edilmiştir. Rüzgar etkileri için ise Kanada Yönetmeliği esas alınmıştır. Modal analiz sonucunda yapının x ve y doğrultusundaki salınımları incelenmiş ve bu doğrultularda gözlenen periyotlar, yapının karakteristik periyotları olarak işleme dahil edilmiştir. Her iki doğrultudaki bina kütle katılım oranlarının yönetmelikte istenen ilgili şartı sağladığı görülmüştür.

Kule tipi çok katlı çelik yapıda, deprem kuvvetinin süneklik düzeyi yüksek moment aktaran çerçeveler ve merkezi güçlendirilmiş çelik çaprazlı perde sistemler ile karşılanması amaçlandığından, yapıya ait sistem davranış katsayısı  $R=6$  olarak belirlenmiştir. Sisteme etkitilen yük kombinasyonları için TS 648 Yönetmeliği'ne özdeş olarak İstanbul Mühendisler Odası'nca basılan standartlardan (İMO-02) yararlanılmıştır. Analiz sonucunda rüzgarlı durumun depreme göre daha elverişsiz çıktığı görülmüş ve eleman boyut hesapları bu değerlere göre yapılmıştır. Kompozit kiriş, betonarme radye temel hesapları için sırasıyla Eurocode 4 ve TS500 Yönetmeliği esas alınmıştır.

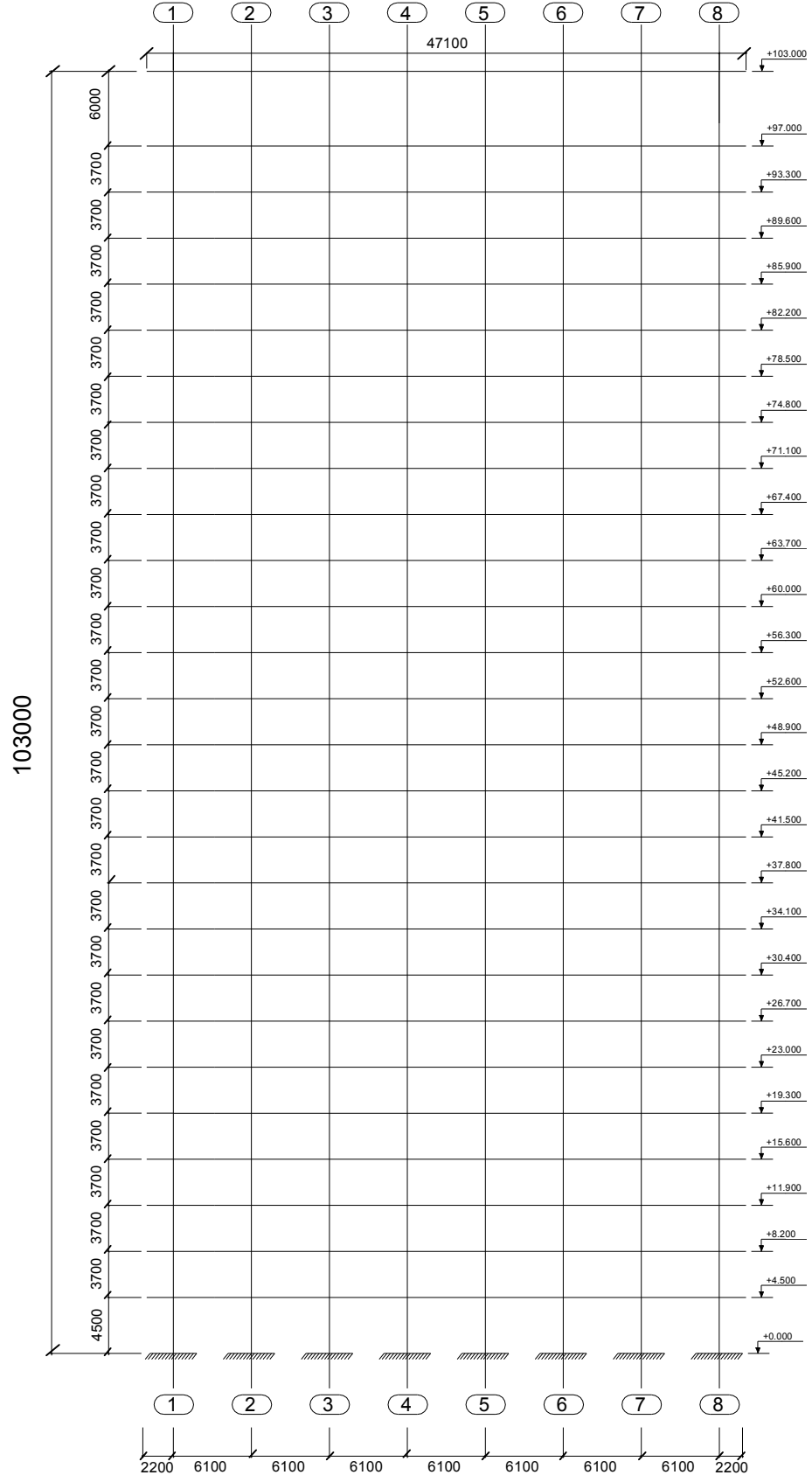
Boyutlandırma hesapları TS648'de verilen gerilme kontrolleri ve DBYBHY2007 Yönetmeliğince istenen enkesit koşulları ışığı altında yapılmıştır.

Bina düzensizlik türlerinin varlığı göz önüne alınan bina için tek tek kontrol edilmiş, hiç bir düzensizlik türüne rastlanmamıştır.

Döşemelerin rijit diyafram olarak çalıştığı bu kule tipi yapıda, görelî kat ötelenmeleri ve II. Mertebe etkileri incelenmiş, sınır değerlere göre gerekli karşılaştırmalar yapılmıştır. Yapıda deplasman koşulları sağlanmıştır. Mimari özellikleri baz alınan büro yapısının genel görüşleri Şekil 1.3 ve Şekil 1.4'te gösterilmiştir.



Şekil 1.3: Genel görünüş-1



Şekil 1.4: Genel görünüş-2

Emniyet gerilmelerinde deprem durumunda DBYBHY2007 Yönetmeliğince izin verilen %33 arttırım, rüzgarlı durumda ise İMO – 02. R-01 standardınca belirlenen %15 arttırım yapılmıştır. Bu arttırım birleşim hesaplarında %15 olarak alınmıştır.

Birleşimlerde kullanılan kaynak hesapları için mevcut kaynak yönetmeliği yerine İstanbul Mühendisler Odası'nca hazırlanan standartlardan (İMO-01) yararlanılmıştır. Her tür birleşim için bazik örtülü kaynak elektrod cinsi belirlenmiş ve bu elektroda ait dayanımlar gerilme değerleri olarak işleme tabi tutulmuştur. Seçilen elektrodlar ve elektrodlara ait dayanım değerleri Tablo 1.1'de verilmiştir.

**Tablo 1.1:** Elektrod mekanik özellikleri

| Elektrod    | Akma Dayanımı<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | Çekme Dayanımı<br>(MPa) | Charpy V Enerjisi<br>(J) |
|-------------|---------------------------------------|-------------------------|--------------------------|
| E8016 – C1  | 470                                   | 560                     | 24 ° C - 27              |
| E10016 – D2 | 610                                   | 700                     | 15 ° C - 27              |
| E11018 - M  | 770                                   | 770                     | 15 ° C - 27              |

İMO-01 standardına göre köşe kaynak dikişleri için kaynak emniyet gerilmesi elektrod malzemesinin ( ilave metal) çekme dayanımının %30'u kadar alınacaktır.

E8016 – C1 tipi elektrod için;

$$\sigma_{v,EY}=56 \times 0.3=16.8 \text{ kN/cm}^2,$$

$$\sigma_{v,EIY}=16.8 \times 1.15=19.3 \text{ kN/cm}^2,$$

$$\sigma_{v,EIY^*}=19.3 \times 1.15=22.3 \text{ kN/cm}^2 \text{ dir.}$$

Benzer durumda diğer elektrodlara ait kaynak emniyet gerilme değerleri Tablo 1.2'de belirtilmiştir.

**Tablo 1.2:** Kaynak emniyet gerilme değerleri

| Elektrod    | $\sigma_{v,EY}$<br>(kN/cm <sup>2</sup> ) | $\sigma_{v,EIY}$<br>(kN/cm <sup>2</sup> ) | $\sigma_{v,EIY^*}$<br>(kN/cm <sup>2</sup> ) |
|-------------|------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------|
| E8016 – C1  | 16.8                                     | 19.3                                      | 22.3                                        |
| E10016 – D2 | 21                                       | 24.1                                      | 27.9                                        |
| E11018 - M  | 23.1                                     | 26.5                                      | 30.7                                        |

Kullanılan tüm yapı elemanlarında St 52 kalitesinde çelik kullanılmıştır. Birleşimlerde ise 10.9 standardında yüksek mukavemetli bulonlar kullanılmış ve bu bulonlara ait emniyet gerilmesi değerleri esas alınmıştır. Detaylarda SL, SLP, GV, GVP birleşim tipleri kullanılmıştır. Birleşimlerde kullanılan tam öngermeli yüksek mukavemetli bulonlarla ilgili malzeme karakteristikleri Tablo 1.3'te verilmiştir.

**Tablo 1.3:** Bulonlar için emniyet gerilme değerleri (St52)

| Gerilme<br>Değerleri | SL<br>Tipi Bulonlar<br>(kN/cm <sup>2</sup> ) | SLP<br>Tipi Bulonlar<br>(kN/cm <sup>2</sup> ) | GV-GVP<br>Tipi Bulonlar<br>(kN/cm <sup>2</sup> ) |
|----------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| $\tau_{sem,H}$       | 24                                           | 28                                            | -                                                |
| $\tau_{sem,HZ}$      | 27                                           | 32                                            | -                                                |
| $\sigma_{lem,H}$     | 57                                           | 63                                            | 72                                               |
| $\sigma_{lem,HZ}$    | 64                                           | 71                                            | 81                                               |

## **2 ÇOK KATLI ÇELİK YAPILARDA TAŞIYICI SİSTEMLER**

Strüktürel formların gelişmesinde yüksek yapıların varlığı, tasarımında bir çok faktörün etkili olması dolayısıyla oldukça karmaşıktır. Diğer yapı türlerine oranla çok katlı yapılarda taşıyıcı sistem seçimi yapının güvenlik, stabilite ve malzeme tasarrufu sağlanabilmesi yönünden çok daha önemlidir. Bu nedenle özellikle deprem kuşağında bulunan tüm yerleşim bölgelerinde inşa edilen yüksek yapılarda çok farklı taşıyıcı sistem türlerine rastlanır.

### **2.1 Çok Katlı Yapılarda Yaygın Olarak Kullanılan Taşıyıcı Sistemler**

Çok katlı yapılarda taşıyıcı sistem, düşey kuvvetlerin oluşturduğu basınç ve yatay kuvvetlerin neden olduğu eğilme etkisinde zeminden ankastre bir konsola benzetilebilir. 100 katın üzerindeki yapılarda rüzgar kuvvetinin elverişsiz çıkma nedeni de tam olarak budur, fakat sistem elemanlarının boyutlandırılmasında yatay yüklerin payı, düşey yüklerin taşınması için gerekli olandan öteye geçmemelidir. Yükseklikle beraber artan deprem ve rüzgar kuvvetlerinin karşılanması artan eleman boyutlarıyla değil, taşıyıcı sistemin etkinliği ile sağlanmalıdır.

Yüksek çelik yapılarda yaygın olarak uygulanan taşıyıcı sistem formları, kısaca aşağıdaki alt bölümlerde özetlenebilir.

#### **2.1.1 Çerçeve Sistemler**

Rijit çerçeve sistemler, basitçe birbirlerine rijit birleşimlerle bağlanmış kolon ve kirişlerden oluşan, 8-10 kata kadar kullanımı uygun olan bir taşıyıcı sistem şeklidir. Moment dayanımlı çerçeve ise elemanların moment dayanımına bağlı olarak yatay yüklere dayanım gösteren, ızgara formunda birbirlerine rijit olarak bağlanmış yatay ve düşey elemanlardan oluşur. Diğer sistemlerle karşılaştırıldığında bu tip çerçeveler, elastik olmayan sınırlar içindeki performans düzeylerinden dolayı sismik bölgeler için daha ideal strüktürlerdir. 20-30 kata kadar kullanılabilirler.

### **2.1.2 Çerçeve ve Perde Duvarlı Sistemler**

Çerçeve ve çelik çaprazlı perde sistemler, yüklerin çerçeveler ve perdeler arasında paylaşıldığı sistemlerdir. Yapı yüksekliğinin ve dolayısıyla kiriş-kolon boyutlarının arttığı durumlarda çerçeve sistemlerin yeterli kalmadığı, ekonomik olmadığı görülmüş ve çerçeveler yüksek yapılarda diğer taşıyıcı elemanlarla güçlendirilmiştir. Bu elemanlar betonarme binalarda kolon aralarının betonarme duvarlarla, çelik yapılarda ise çapraz elemanlarla örülmesinden oluşurlar. Bu sistemler 40-60 katlı binalar için uygundur.

### **2.1.3 Çekirdekli Sistemler**

Çekirdekli sistemler iki doğrultuda da rijitleştirilmiş perde davranışı gösteren, perdelerin birleştirilmesiyle oluşmuş düşey taşıyıcı elemanlardır. Büro ve ticari amaçlı yapılarda geniş alana olan gereksinim nedeniyle perdeler daha çok çekirdek kısmında toplanırlar. Binanın geometri özelliğine göre çekirdek iç, uç, köşe ya da dış bölgelerde de oluşturulabilir. Bu tip sistemlerde yatay yüklere dayanım açısından perde içinde çeşitli maksatlarla bırakılan açıklıklar küçük olmalıdır.

### **2.1.4 Tübüler Sistemler**

Tübüler sistemler yüksek yapılarda daha fazla yatay yük dayanımı için geliştirilen teknolojilerden biridir. Bu form dikdörtgen ya da benzeri bir boruya benzeyen birbirine yakın dış kolonlardan oluşmaktadır. Bina çevresinde tüpün duvarları yüksek kırımlarla çevrilidir. Deprem ve rüzgar gibi dinamik etkilere karşı sistem tümüyle konsol tüp davranışı gösterir. Tüp içinde tüp, kolon ve diyagonal kafesli tüp, demet tüp gibi bir çok uygulama şeklinden söz edilebilir.

### **2.1.5 Hibrid Sistemler**

Yüksek yapılarda yukarıda adı geçen taşıyıcı sistem şekillerinden farklı olarak hibrid sistemler, yapının yatay yüklere dayanıklı kendi çerçevesini oluşturduğu bir dizi farklı elemanlardan oluşan strüktür şeklindedir. Bu tip örneklerde yüksek dayanımlı betonarme kolonlar, yerinde inşa edilen çelik kafesli çekirdekler söz konusudur.

## 2.2 Yatay Kafes Kirişli Çerçeve ve Çekirdekli Sistemler

Genellikle 30 katın üzerindeki bina tasarımlarında düşey çaprazlı perde bulunan sistemler yeterli rijitlik ve dayanım göstermezler. Bu nedenle taşıyıcı sistemin rijitliği, çerçeveyi çekirdeğe bağlayan yatay kafes kirişler kullanılarak %30 oranında arttırılabilir.

Günümüzde özellikle büro işlevli yapılarda, asansör ve servis gereksinimlerinin bulunduğu çekirdek bölgesinin varlığı ve çekirdek ile cephe arasında geniş, kolonsuz çalışma mekanları istenmesi dolayısıyla bina ara kat veya son katlarında yatay kafes kiriş sistemi uygulanmaktadır. Yatay kafes kiriş sistemi olmaksızın iki büyük strüktür elemanı olan çekirdek ve dış çerçeve ayrı çalışmakta ve yapının devrilme dayanımı azalmaktadır. Çekirdek yatay yüklerin etkisinde eğilmeye çalıştığında mafsallı teşkil edilen yatay kafes kirişler, kolonlara eksenel yük ileten bir manivela kolu gibi davranır. Bu sistemler genellikle yapının en üst ve kullanıma açık olmayan mekanik tesisat katlarında teşkil edilir.

Yatay kafes kiriş uygulamasının getirdiği avantajlar: çekirdekteki devrilme momentlerinde, kolon ve temellerde artan basınç etkilerinde, kat deplasmanlarında azalma şeklindedir. Ayrıca dıştaki çerçeve daha ekonomik olan, rijit bağlantı detayı gerektirmeyen basit kiriş ve kolonlarla oluşturulabilir.

### **3 ÇOK KATLI ÇELİK BİR KULE YAPISININ STATİK ANALİZİ**

#### **3.1 İMO – 02. R-01 Standart'ının Genel İlkeleri**

İstanbul Mühendisler Odası'nca TS 648 yönetmeliğine eşdeğer olarak hazırlanan İMO – 02. R-01 Çelik Yapılar, Emniyet Gerilmesi Esasına Göre Hesap ve Proje Esasları, çelik yapıların emniyet gerilmesi esasına göre boyutlandırılmasını öneren, malzemenin tamamen lineer elastik davranışını esas alan bir standarttır. Bu kapsamda emniyet gerilmeleri orantılı sınır gerilmeleri altında kalır ve şekil değiştirmeler belirli sınırları aşmaz [4].

#### **3.2 Yapı Çeliği Malzeme Özellikleri**

Yapıda kullanılan yapı çeliğinin (St 52) mekanik özellikleri aşağıda verilmiştir.

$E$  (Yapı çeliği elastisite modülü)=21000 kN/cm<sup>2</sup>

$G$  (Yapı çeliği kayma modülü)=8100 kN/cm<sup>2</sup>

$\alpha_t$  (Yapı çeliği ısı genleşme katsayısı)=0.000012

$p$  (Yapı çeliği yoğunluğu)=78.5 kN/cm<sup>2</sup>

$\sigma_a$  (Akma gerilmesi)= 36 kN/cm<sup>2</sup>

$\sigma_f$  (Kopma gerilmesi)= 52 kN/cm<sup>2</sup>

#### **3.3 Yapının Tanıtımı ve Kullanım Amacı**

Ele alınan proje planda 39.5 m genişlik ve 47.1 m uzunluğa sahip, 103 m yükseliğinde, 27 katlı, tamamen çelik profillerle düzenlenmiş bir ofis yapısıdır.

Projelendirilen yapı, çok katlı bir iş merkezi olarak tasarlanmıştır. Kule tipi çelik çok katlı binada her iki doğrultuda da geniş aks aralıkları bırakılmış; merdiven, asansör ve tesisat bölümü çekirdek bölgesine toplanarak yapı içinde ulaşım kolaylığı sağlanmıştır.

### 3.4 Yapı Taşıyıcı Sistem Seçimi

Ele alınan kule tipi bu çelik çok katlı büro yapı tasarımı için sırasıyla üç farklı taşıyıcı sistem şekli incelenmiştir. Süneklik düzeyi yüksek olarak düşünülen bina için ilk olarak her iki yönde moment aktaran çerçeve ile binanın iç akslarında teşkil edilen çekirdek sistem uygulamasına gidilmiştir. İkincil olarak mevcut taşıyıcı sisteme her iki yönde dış cephe çaprazları eklenerek binanın statik ve dinamik analizi yapılmıştır. Uygulanan iki farklı taşıyıcı sistem sonrası bina görece kat deplasmanlarının belirlenen sınırları aştığı görülmüş ve bu problemi ortadan kaldırmak için son kata kadar sürekli devam eden çaprazlar, kullanıma açık olmayan 27. katta her iki doğrultuda da uygulanan yatay kafes kiriş çerçeve sistemlerle güçlendirilmiştir. İncelenen üç farklı taşıyıcı sistem için elde edilen analiz sonuçları ilgili bölümde verilmiştir.

Yapıda kompozit döşeme sistemi uygulanmış olup, tali kirişler kısa doğrultuda çalışacak şekilde teşkil edilmiş ve boyutlandırılmıştır.

### 3.5 Yük Analizi

Profil Ağırlıkları (SAP2000 programa hesaplatılmıştır.)

Döşeme Ağırlığı

Kaplama ve Tespit Edildiği Dikme Ağırlıkları

Hareketli Yük(TS 498)

Kar Yüğü (TS 498)

Deprem Yüğü (DBYBHY2007)

Rüzgar Yüğü (Kanada Yönetmeliğı)

#### 3.5.1 Düşey Yüğü

##### 3.5.1.1 Normal Kat Döşeme Yüğü

###### 1.-26. Kat Normal Kat Döşeme Yüğü

Betonarme Plak Yüğü:  $2.5 \text{ kN/m}^2$

Asma tavan+tesisat :  $0.5 \text{ kN/m}^2$

Zemin Kaplaması: :  $0.5 \text{ kN/m}^2$

Sac :  $0.4 \text{ kN/m}^2$

---

$\Sigma g_1$  :  $3.9 \text{ kN/m}^2$

### 3.5.1.2 Çatı Katı Döşeme Yükleri

#### 27. Kat Çatı Katı Döşeme Yükleri

Betonarme Plak Yükü : 2.5 kN/m<sup>2</sup>

Asma tavan+tesisat : 0.5 kN/m<sup>2</sup>

İzolasyon : 1.2 kN/m<sup>2</sup>

Sac : 0.4 kN/m<sup>2</sup>

---

$\Sigma g_2$  : 4.6 kN/m<sup>2</sup>

### 3.5.1.3 Cephe Yükleri

Yapıya ait kaplama, aşağıdaki elemanlardan oluşmaktadır:

Paslanmaz çelikten cephe duvar

Işığ emen cam (6 mm)

Paslanmaz çelikten dış giydirmeli cephe elemanı kuşağı

Kaplama ve tespit edildiği dikme ağırlıkları: 0.5 kN/m<sup>2</sup>

Cephe yükleri tüm katlarda cephe kolon uçlarına, yük alanları doğrultusunda sisteme tekil ve ölü yük olarak düşey etkilmiştir. Bu değerler Tablo 3.1 ve 3.2’de gösterilmiştir.

**Tablo 3.1:** X Doğrultusu cephe yüklerinin tekil yüke dönüştürülmesi

| Katlar       | 1,8 Aks Kolonları | 2,3,4,5,6,7 Aks Kolonları |
|--------------|-------------------|---------------------------|
| 1.Kat        | 38.4 kN           | 19.3 kN                   |
| 2. – 25. Kat | 22.3 kN           | 11.3 kN                   |
| 26. Kat      | 20.3 kN           | 14.8 kN                   |
| 27. Kat      | 18.1 kN           | 9.1 kN                    |

**Tablo 3.2:** Y Doğrultusu cephe yüklerinin tekil yüke dönüştürülmesi

| Katlar       | B,C Aks Kolonları |
|--------------|-------------------|
| 1.Kat        | 41.1 kN           |
| 2. – 25. Kat | 23.9 kN           |
| 26. Kat      | 31.3 kN           |
| 27. Kat      | 19.3 kN           |

### 3.5.2 Hareketli Yük

Döşeme hareketli yük hesap değeri TS 498 Yönetmeliği Çizelge 7’de gösterildiği üzere büro tipi yapılar için 5kN/m<sup>2</sup> olarak alınmıştır [11].

$Q$  : Hareketli yük hesap değeri

$$Q = 5 \text{ kN/m}^2$$

### 3.5.3 Kar Yüğü

TS 498 Yönetmeliğı'ne göre kar yüğü hesap değeri, yapının bulunduğı bölgeye ve yapı yüksekliğine bağılı olarak Çizelge 4'ten alınan zati kar yüğü değeriine göre belirlenir [11].

$P_k$ : Kar yüğü

$P_{ko}$ : Zati kar yüğü değeri

$m$ : Çatı eğimine bağılı azalma değeri

$$P_k = m \times P_{ko}$$

$$m=1 \quad (\alpha < 30^\circ)$$

$$P_k = 1 \times 0.75 = 0.75 \text{ kN/m}^2 \quad (3.1)$$

### 3.5.4 Rüzgar Yüğü

Bu yapıda genellikle yüksek yapılarda etkili olan rüzgar kuvvetini bulmak amacıyla darbe etkisi analizi yapılmıştır. Hesaplar için esas alınan Kanada Yönetmeliğı uyarınca rüzgar yüğü değeri  $W = C_g \times q$  formülüyle hesaplanır [13].

#### 3.5.4.1 Rüzgarın Darbe Etkisi Analizi

Çok katlı yapılarda rüzgar kuvveti binanın yüksekliğine, cephe şekline, doğal titreşim frekansına, sönümüne, yapılandığı arazi durumuna ve aynı zamanda çevre binaların konumuna göre değişkenlik gösterir. Bu gibi durumlarda artan yükseklikle beraber şiddetlenen rüzgar kuvveti, üst katlarda türbülans halini alarak bina cephelerinde darbe etkisi yaratır. Yapı tasarımında önemli yer tutan bu yük etkisi için ele alınan kule tipi çok katlı çelik yapıda rüzgarın darbe etkisi analiz edilecektir.

Rüzgarın darbe etkisi analizi 'Gust Effect Analysis' için hesaplara ilgili parametreler ve sayısal değerler şu şekilde verilebilir:

$W$ : Rüzgar yük değeri

$C_g$ : Rüzgarın darbe etkisi katsayısı

$q$ : Rüzgar basıncı

$H$  (Bina toplam yüksekliği)=103 m

$W$  (Bina uzunluğu)=47.1 m

$D$  (Bina genişliği)=39.5

$n_o$  (Doğal frekans)=0.2 Hz

$\beta$  (Kritik sönüm oranı)=0.015

Arazi konumu: B Tipi (Şehir merkezi)

$\bar{V}$ (Rüzgar hızı)=27.4 m/sn=98.64 km/h

Binanın en üst noktası rüzgar faktörü bina yüksekliği ve arazi konumuna bağlı olarak Ek1’de verilen tablolardan okunmuştur.

$$C_{EH} = 1.56$$

Yapının en üst noktasındaki ortalama hız:

$$V_H = \bar{V}x\sqrt{C_{EH}} = 27.4x\sqrt{1.56} = 34.22\text{m/sn} \quad (3.2)$$

Yapının en/yükseklik oranı:

$$\frac{W}{H} = \frac{47.1}{103} = 0.45 \quad (3.3)$$

Dalgalanma fonksiyonu:

$$F = \frac{n_o}{V_H} = \frac{0.2}{34.22} = 0.00584 \quad (3.4)$$

Boyut küçültme frekansı:

$$s = Hx \frac{n_o}{V_H} = 103x \frac{0.2}{34.22} = 0.6 \quad (3.5)$$

Yüzeyin prüzlülüğüne bağlı zemin katsayısı (K) B tipi arazi için 0.1 olarak belirlenmiştir.

Türbülans faktörü:

$$B = \frac{4}{3} \int_0^{\frac{914}{H}} \left( 1/1 + \left( \frac{xH}{457} \right) \right) x \left( 1/1 + \left( \frac{xW}{122} \right) \right) x \left( x / (1 + x^2)^{\frac{4}{3}} \right) dx \quad (3.6)$$

B değeri bina toplam yükseklik, yapının genişlik/yükseklik oranına bağlı olarak Ek1’de verilen tablolardan seçilmiştir.

$$B=0.68$$

Boyut küçültme faktörü:

$$s = \frac{\pi}{3} x \left( 1/1 + \left( \frac{8xHxn_o}{3xV_H} \right) \right) x \left( 1/1 + \left( \frac{10xWxn_o}{V_H} \right) \right) \quad (3.7)$$

s değeri yapının en üst noktasındaki ortalama hız, yapının genişlik/yükseklik oranına bağlı olarak Ek1’de verilen tablolardan seçilmiştir.

$$s=0.12$$

Darbe etkisi enerji oranı:

$$F = x_0^2 / (1 + x_0^2)^{\frac{4}{3}} \quad (3.8)$$

$$x_0 = 1220 x n_o / V_H \quad (3.9)$$

$F$  değeri Ek1’de verilen tablolardan seçilmiştir.

$$F=0.27$$

Değişim katsayısı olarak bilinen standart sapma/ortalama oranı:

$$\frac{\sigma}{\mu} = \sqrt{\frac{K}{C_{EH}} x \left( B + \frac{sxF}{\beta} \right)} \quad (3.10)$$

$$\frac{\sigma}{\mu} = \sqrt{\frac{1}{1.56} x \left( 0.68 + \frac{0.12x0.27}{0.015} \right)} = 0.42$$

Ortalama dalgalanma oranı:

$$v = n_o \sqrt{\frac{sxF}{(sxF) + (Bx\beta)}} \quad (3.11)$$

$$v = \sqrt{\frac{0.12x0.27}{(0.12x0.27) + (0.015x0.68)}} = 0.174$$

Pik faktörü:

$$g_p = \sqrt{2 \log_e vT} + \frac{0.577}{\sqrt{2 \log_e vT}} \quad (3.12)$$

$g_p$ , ortalama dalgalanma ve  $T=3600$  s değerine bağlı olarak Ek1’de verilen tablolardan seçilmiştir.

$$g_p = 3.75$$

Gust efekt faktörü:

$$C_g = 1 + g_p \left( \frac{v}{\mu} \right) \quad (3.13)$$

$$C_g = 1 + 3.75x(0.42) = 2.575$$

Uzun doğrultu rüzgar hesabı için yapılan bu hesaplar, binanın kısa doğrultusunda da tekrarlanmış ve ilgili parametreler sırasıyla aşağıdaki tabloda özetlenmiştir.

**Tablo 3.3:** Binanın kısa doğrultusuna ait rüzgar yükü parametreleri

| $C_{EH}$ | $V_H$ | $F$     | $s$ | $K$ | $B$ | $s$   | $F$  | $\beta$ | $\sigma/\mu$ | $v$   | $g_p$ | $C_g$ |
|----------|-------|---------|-----|-----|-----|-------|------|---------|--------------|-------|-------|-------|
| 1.56     | 34.2  | 0.00584 | 0.6 | 0.1 | 0.7 | 0.135 | 0.27 | 0.015   | 0.44         | 0.176 | 3.78  | 2.66  |

Hesaplanan yükler, her iki doğrultuda da cephe kolonlarına yük alanları doğrultusunda yayılı yük olarak etkitilmiştir. Binanın zeminden yüksekliğine bağlı olarak değişen rüzgar hız ve basınç değerleri aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

**Tablo 3.4:** Yüksekliğe bağlı olarak rüzgar hızı ve basıncı

| Zeminden Yükseklik (m) | Rüzgar Hızı (km/h) | Rüzgar Basıncı (kN/m <sup>2</sup> ) |
|------------------------|--------------------|-------------------------------------|
| 0-8                    | 100.8              | 0.5                                 |
| 9-20                   | 129.6              | 0.8                                 |
| 21-100                 | 151.2              | 1.1                                 |
| > 100                  | 165.6              | 1.3                                 |

Yapıya her iki doğrultuda ( $W_x$ ,  $W_y$ ) etkitilen yükler sırasıyla Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’de verilmiştir.

### 3.5.5 Deprem Yükleri

Yapıya etkiyen deprem yükleri programa hesaplatılmış ve sisteme etkitilmiştir. İlgili bölümde daha detaylı incelenecektir.

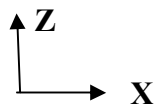
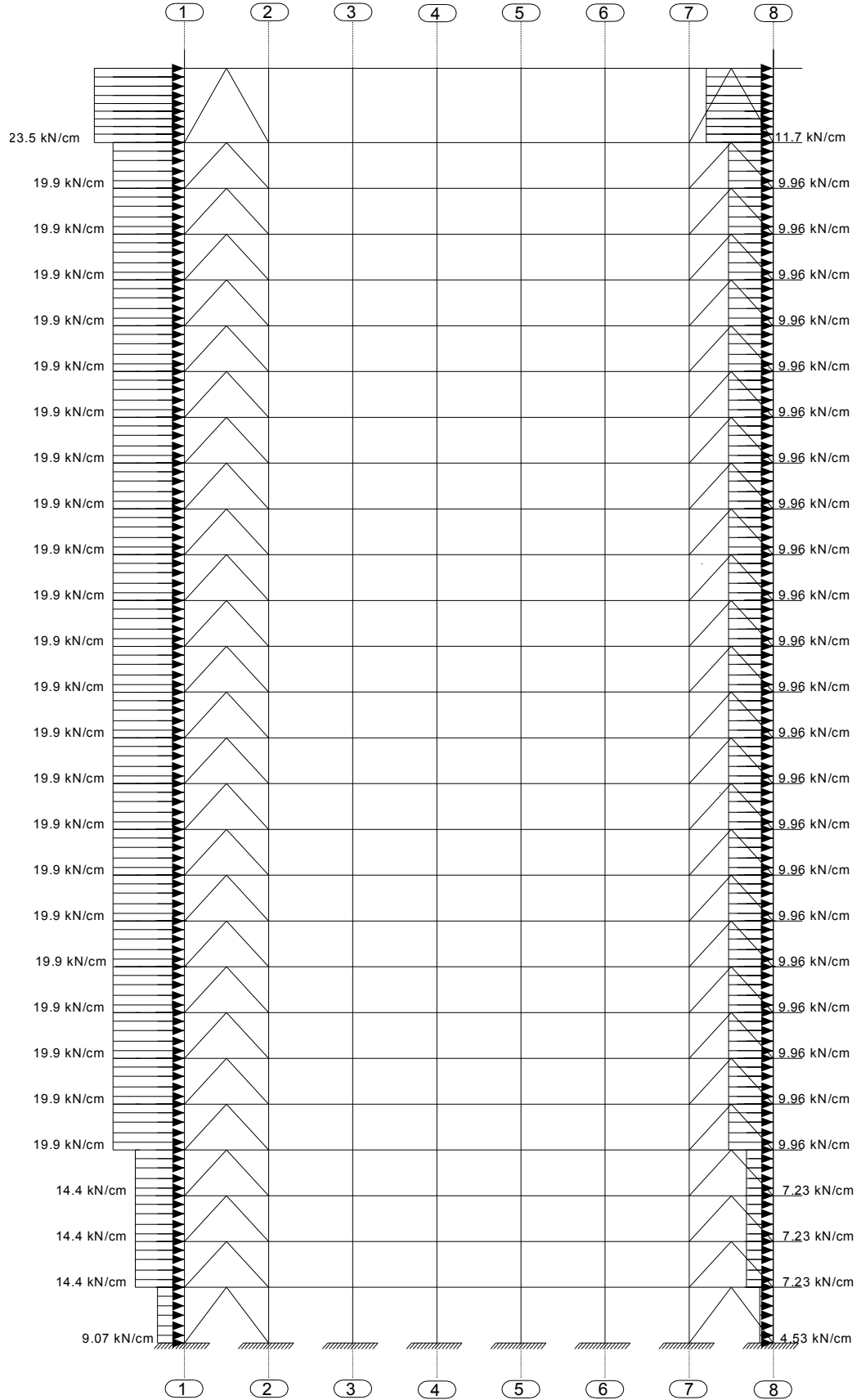
## 3.6 Yapının Sap 2000 Programı ile Dinamik Analizi

Kule tipi çelik çok katlı yapının yapısal analizi, SAP 2000 V10 bilgisayar programı kullanılarak yapılmıştır. Yapı statik bilgisayar modeli sözü edilen programda oluşturulmuş, yapı elemanlarına yukarıda hesaplanan yükler etkitilerek binanın statik ve dinamik analizi yapılmıştır.

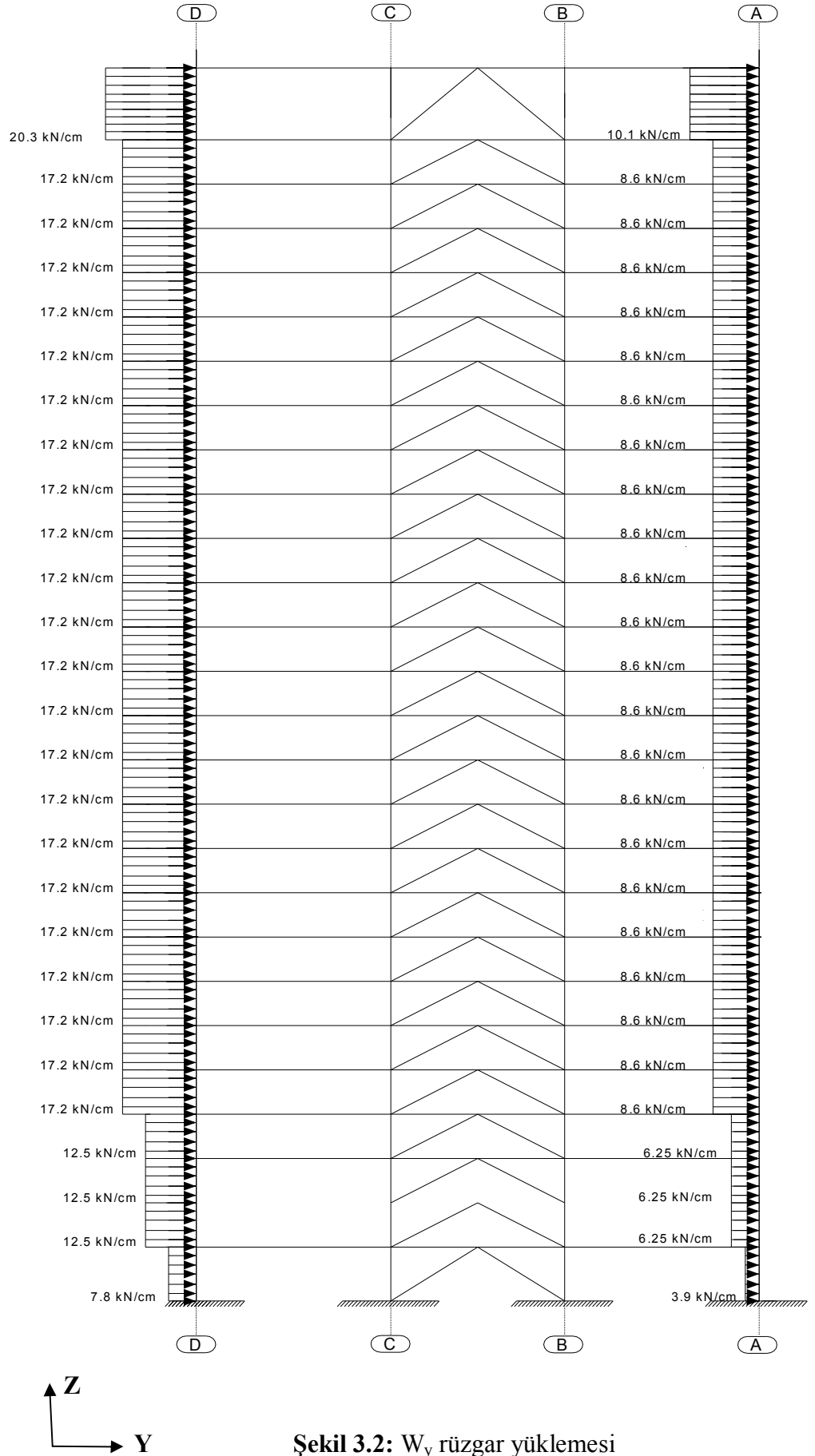
### 3.6.1 Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi

Binaların deprem hesabında kullanılan yöntemlerden biri olan Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi, DBYBHY2007’de belirtildiği gibi bina toplam yükseklik sınırının 40 m olduğu yapılarda uygulanabilmektedir. Söz konusu kule tipi çok katlı yapının yükseklik değeri sınır değerden büyük olduğu için bu yöntem kullanılmamıştır [2]. Yine de hesaplara ilişkin alt sınır değerleri için Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi’ne göre de hesap yapılmıştır.

$$H_N > 40 \text{ m}$$



Şekil 3.1:  $W_x$  rüzgar yüklemesi



Şekil 3.2:  $W_y$  rüzgar yüklemesi

### 3.6.2 Mod Birleştirme Yöntemi

Yapı toplam yükseklik sınırından dolayı deprem hesabı için seçilen Mod Birleştirme Yöntemi'nde, maksimum iç kuvvetler ve yerdeğiştirmeler, binada yeterli sayıda doğal titreşim modunun her biri için hesaplanan maksimum katkıların istatistiksel olarak birleştirilmesi ile elde edilir [2].

Mod Birleştirme Yöntemi'nde diğeri titreşim periyotları ve mod şekilleri de hesaba katılır. Toplam yatay deprem kuvvetinin katlara dağıtılmasında bu ilgili mod şekilleri esas alınır. Çok serbestlik dereceli sistemlerin dinamik davranışının incelenmesinde bu yöntem, sonuca daha yakın değerler verir. Söz konusu bina için 15 mod göz önüne alınmıştır.

Yapıda hiçbir bina düzensizlik türü bulunmamakta ve döşemelerin rijit diyafram olarak çalıştığı kabul edilmiştir.

Deprem hesabı için aşağıdaki formül ve terimlerden yararlanılmıştır:

$$V_t = W x A_o x I x S(T) / R \quad (3.14)$$

$V_t$ : Taban kesme kuvveti

$W$ : Yapı ağırlığı ( $G+n*Q$ )

$n$ : Hareketli yük azaltma katsayısı

$A_o$ : Etkin yer ivme katsayısı

$I$ : Yapı önem katsayısı

$S(T)$ : Spektrum katsayısı

$R$ : Taşıyıcı sistem davranış katsayısı

$G$ : Bina toplam ölü yük değeri

$Q$ : Hareketli yük değeri

$T$ : Bina titreşim periyodu

DBYBHY2007 uyarınca binanın inşa edildiği yer ve süreklilik durumuna göre yukarıda belirtilen terimlerin alması gereken değerler şu şekildedir [2]:

$n = 0.3$  (Bina türü: işyeri)

$A_o = 0.4$  (Deprem bölgesi 1)

$I = 1$  (Kullanım amacı: ofis)

$R = 6$  (Taşıyıcı sistemin moment aktaran çelik çerçeveler ve merkezi çelik çaprazlı perdeler olması durumu)

Süneklik düzeyi yüksek çelik binalar için DBYBHY2007'den alınan R davranış katsayıları aşağıdaki tabloda verilmiştir [2].

**Tablo 3.5:** Taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R)

|                                                                                                                                                 |   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| - Deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşındığı binalar .....                                                                              | 8 |
| - Deprem yüklerinin tamamının, üstteki bağlantıları mafsallı olan kolonlar tarafından taşındığı tek katlı binalar.....                          | 4 |
| - Deprem yüklerinin tamamının çaprazlı perdeler veya yerinde dökme betonarme perdeler tarafından taşındığı binalar                              |   |
| (a) Çaprazların merkezi olması durumu.....                                                                                                      | 5 |
| (b) Çaprazların dışmerkez olması durumu.....                                                                                                    | 7 |
| (c) Betonarme perdelerin kullanılması durumu.....                                                                                               | 6 |
| - Deprem yüklerinin çerçeveler ile birlikte çaprazlı çelik perdeler veya yerinde dökme betonarme perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar |   |
| (a) Çaprazların merkezi olması durumu.....                                                                                                      | 6 |
| (b) Çaprazların dışmerkez olması durumu.....                                                                                                    | 8 |
| (c) Betonarme perdelerin kullanılması durumu.....                                                                                               | 7 |

#### Sınır Durumlarına Göre Tasarım Yöntemi

Kule tipi çok katlı çelik yapının deprem analizi için yapısal yapısal rezerv katsayısından yararlanılabilir. Yapısal rezerv yapının düşey ve yatay yüklere karşı sünekliğinin bir göstergesidir.

Yapısal rezerv oluşmasının nedenleri şu şekilde sıralanabilir:

- Plastikleşme nedeniyle iç kuvvetlerin tekrar dağılımı,
- Boyut verme ve konstrüktif detayların oluşturulması sırasında standartların öngörülerini doğrultusunda yapılanlar,
- Boyutlandırma için standartlarca öngörülen malzeme mukavemetlerini aşan mukavemet değerlerinin varlığı,
- Gerilme pekleşmesi,
- Sistem performansı üzerine konan deformasyon limitleri ve gereğinden büyük kesit seçimidir.

Sınır Durumlarına Göre Tasarım Yöntemi kullanılması halinde;

$$R = \frac{C_{em}}{C_s} = \frac{C_{em}}{C_y} \times \frac{C_y}{C_s} = R_\mu \times \Omega \quad (3.15)$$

Emniyet gerilmesi esasına göre tasarım yapılmak istenirse;

$$R = R_x \frac{C_s}{C_e} \quad (3.16)$$

$$R = R_x Y \quad (3.16a)$$

$$R = R_x 1.4$$

Buradan anlaşılmaktadır ki; emniyet gerilmelerine göre hesap yapılırken SDGT ile ilgili hesap için E deprem kuvvetleri 1.4 katsayısıyla küçültülebilmektedir. Bu durum yük kombinezonlarında gösterilmiştir.

### 3.6.3 Yükleme Kombinasyonları

Sistemin yapısal analizi için standartlarda belirtilen kombinasyonlar oluşturulmuştur. Deprem yükü olarak sırasıyla; x doğrultusunda kütle merkezine, x doğrultusunda +%5 dışmerkezlilikle, x doğrultusunda -%5 dışmerkezlilikle, y doğrultusunda kütle merkezine, y doğrultusunda +%5 dışmerkezlilikle ve y doğrultusunda -%5 dışmerkezlilikle olmak üzere toplam 6 adet tanımlanmıştır [2].

$$E = \pm E_x \pm 0.3 E_y \quad (3.17)$$

$$E = \pm E_y \pm 0.3 E_x \quad \text{olarak alınmıştır.} \quad (3.18)$$

İMO – 02. R-01 Standardınca yapıya etkitilen yük kombinasyonları aşağıda verildiği gibidir:

|                                 |                   |
|---------------------------------|-------------------|
| - D                             | (EY)              |
| - D+L+(L <sub>r</sub> veya S)   | (EY)              |
| - D+L+(L <sub>r</sub> veya S)+T | (EİY)             |
| - D+L+ S+W/2                    | (EİY)             |
| - D+L+W+S/2                     | (EİY)             |
| - 0.9D±E/1.4                    | (EİY)*            |
| - D+L+ S+E/1.4                  | (EİY)*            |
| - D+(W veya E/1.4)              | (EİY) veya (EİY)* |
| - D+L+(W veya E/1.4)            | (EİY) veya (EİY)* |
| - D+L+(W veya E/1.4)+T          | (EİY) veya (EİY)* |

Bu yük kombinezonlarında

D: Ölü yükler, kren yükü ve makinaların kütle kuvvetleri,

L: Hareketli yükler,

$L_r$ : Çatılarda hesaba katılacak hareketli yükler ve su birikmesi nedeniyle oluşan etkiler,

$S$ : Kar yükü,

$W$ : Rüzgar yükü,

$E$ : Deprem yükü,

$T$ : Sıcaklık değişimi ve mesnet çökmesi nedeni ile oluşan etkiler, krenlerde fren ve yanıl çarpma kuvvetleridir.

(EİY) halinde kombinezonda deprem yükü yoktur. Emniyet gerilmeleri 1.15 ile büyütülecektir. (EİY)\* halinde ise deprem yükü vardır. Emniyet gerilmeleri 1.33 ile büyütülecektir [13].

Yapı elemanlarının boyutlandırma analizinde yukarıda verilen kombinezonlara ek olarak bilgisayar programında yine yukarıda verilen kombinezonların en elverişsizini veren ‘MAK’ adlı bir kombinezon oluşturulmuştur.

#### 3.6.4 Deprem Yükünün Yapıya Etkitilmesi

Yapıya etkiyen deprem kuvveti hesaplanırken (3.2) denkleminde verilen  $V_t$  taban kesme kuvveti için  $S(T)$  spektrum eğrisi Z2 zemini için Excel programda spektral ivme fonksiyonu olarak girilmiş, m bina kütlesi programa hesaplatılmıştır. Formülde

$\frac{gxA_0xI}{R}$  elemanı ise response spektrum çarpanı olarak sisteme dahil edilmiştir.

$$\frac{gxA_0xI}{R} = \frac{9.81x0.4x1}{6} = 0.654 \quad (3.19)$$

$T_m < T_n$  olmak üzere, gözönüne alınan herhangi iki titreşim moduna ait doğal periyotların daima  $T_m / T_n < 0.80$  koşulunu sağlamaması durumunda, Tam Karesel Birleştirme Kuralı (CQC) uygulanabilir [2].

Tam Karesel Mod Birleştirme Kuralı (CQC) ile yapılan hesaplar sonucu taban kesme kuvvetleri x doğrultusunda  $V_{tx} = 6493\text{kN}$ , y yönünde  $V_{ty} = 7384\text{kN}$  olarak bulunmuştur. Bu değerler deprem yönetmeliğince belirlenen minimum taban kesme kuvvetinden küçüktür [2].

$$V_{tx}, V_{ty} \leq V_{t\min} = 0.1xWxA_0xI = 0.1x344680x0.4x1 = 13787\text{kN} \quad (3.20)$$

Taban kesme kuvveti olarak deprem yönetmeliğinde tanımlanan minimum taban kesme kuvveti kullanıldığında, efektif elastik deprem yükü azaltma katsayıları saptanmış ve hesaplar tekrarlanmıştır.

$$R_{ax} = R_x \frac{V_{tx}}{V_{tmin}} = 6x \frac{6493}{13787} = 2.82 \quad (3.21)$$

$$R_{ay} = R_x \frac{V_{ty}}{V_{tmin}} = 6x \frac{7384}{13787} = 3.21 \quad (3.22)$$

### 3.6.5 Arttırılmış Deprem Etkileri

Yapı analizinde ayrıca çelik yapı elemanlarının boyutlandırılması ve birleşim detaylarının tasarlanması kapsamında yönetmelikçe belirtilmiş olan arttırılmış deprem etkileri göz önüne alınmalıdır. Arttırılmış deprem yüklemelerini veren bu kombinasyonlar aşağıdaki gibidir [2].

$$D + L \pm \Omega_o E$$

$$0.9D \pm \Omega_o E$$

Deprem yüklerinden oluşacak iç kuvvetlerine uygulanacak  $\Omega_o$  büyütme katsayısı çelik taşıyıcı sistemlerin türüne bağlı olarak Tablo 3.6'da verilmiştir.

**Tablo 3.6:**  $\Omega_o$  Büyütme katsayıları

| Taşıyıcı Sistem Türü                                                 | $\Omega_o$ |
|----------------------------------------------------------------------|------------|
| Süneklik Düzeyi Yüksek Çerçevesler                                   | 2.5        |
| Süneklik Düzeyi Normal Çerçevesler                                   | 2.0        |
| Merkezi Çelik Çaprazlı Perdeler (süneklik düzeyi yüksek veya normal) | 2.0        |
| Dışmerkez Çelik Çaprazlı Perdeler                                    | 2.5        |

Ele alınan kule tipi çok katlı çelik yapı merkezi çelik çaprazlı perdelerle güçlendirildiği için  $\Omega_o=2$  alınmıştır. Bu durumda arttırılmış yük kombinasyonları aşağıdaki gibidir.

$$D + L \pm 2E$$

$$0.9D \pm 2E$$

Deprem Yönetmeliği uyarınca gerekli durumlarda kullanılmak üzere yapı elemanlarının iç kuvvet kapasiteleri aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır [2]. Bu değerler yapı elemanlarının boyutlandırılmasında göz önüne alınmıştır.

Eğilme momenti kapasitesi:

$$M_p = W_p x \sigma_a \quad (3.23)$$

Kesme kuvveti kapasitesi:

$$V_p = 0.6 x A_k x \sigma_a \quad (3.24)$$

Eksenel basınç kapasitesi:

$$N_{bp} = 1.7 x A x \sigma_{bem} \quad (3.25)$$

Eksenel çekme kapasitesi:

$$N_{cp} = A_n x \sigma_{bem} \quad (3.26)$$

### 3.7 Taşıyıcı Sistem Şekilleri

#### 3.7.1 Çekirdek ve Moment Aktaran Çerçeve Sistem

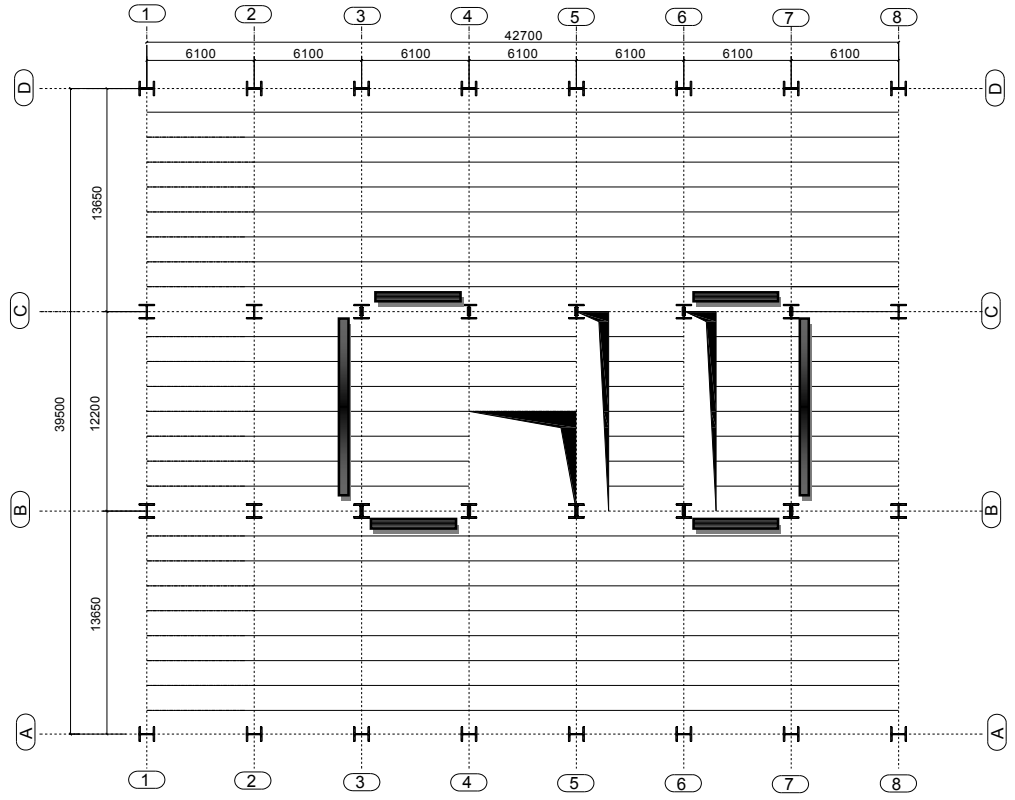
Bu sistemde, yapı stabilitesi binanın iç akslarında teşkil edilen çekirdek ve her iki yönde çerçeve çalışan elemanlarla sağlanmıştır. Şekil 3.3'te verilen normal kat planında görüldüğü gibi yapının kısa doğrultusuna göre ekzantrik yerleştirilen çekirdek çaprazları yapı analizinde DBYBHY2007'nce belirtilen herhangi bir yapı düzensizliğine yol açmamıştır. Yapıda tali kirişler uzun doğrultuda çalışacak şekilde yerleştirilmiştir.

#### 3.7.2 Çekirdek, Moment Aktaran Çerçeve ve Dış Cephe Çaprazlı Sistem

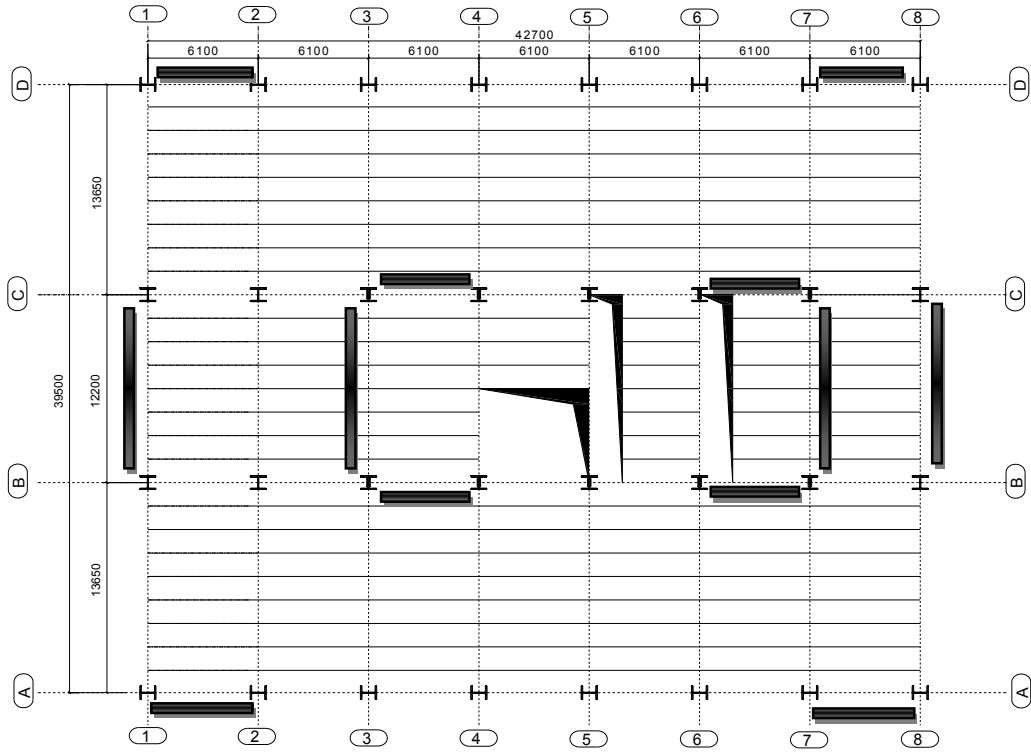
Çekirdek ve moment aktaran çerçeve sisteme ek olarak binanın uzun doğrultusunda ilk ve son akslarda, kısa doğrultusunda ise orta aksta bulunan dış cephe çaprazlarının oluşturduğu bu taşıyıcı sisteme ait normal kat planı Şekil 3.4'te verilmiştir.

#### 3.7.3 Yatay Kafes Kirişli Çerçeve Sistem

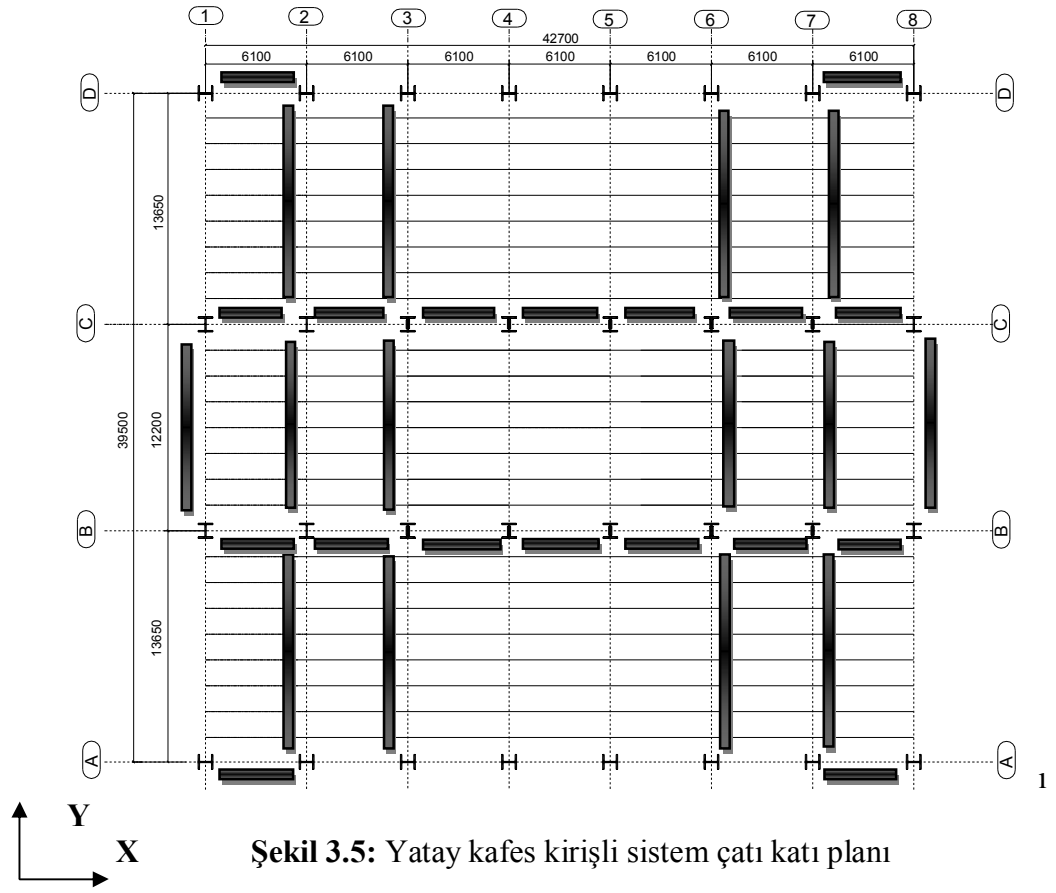
Kule tipi çok katlı çelik büro yapısı için analiz edilen bu son taşıyıcı sistemde çekirdek, moment aktaran çerçeve ve dış cephe çaprazlı sistem kullanıma açık olmayan 27 katta 2-3-6-7-B-C akslarında sürekli olarak yatay kafes kirişli çerçeve ile güçlendirilmiştir. Sisteme ait normal kat planı Şekil 3.4'te, çatı katı planı ise Şekil 3.5'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3: Çekirdek ve moment aktaran çerçeve sistem normal kat planı



Şekil 3.4: Çekirdek, moment çerçevesi ve dış cephe çaprazlı normal kat planı



Şekil 3.5: Yatay kafes kirişli sistem çatı katı planı

### 3.8 Yapı Taşıyıcı Sistem Analiz Sonuçları

Yapısal analiz sonucu incelenen üç taşıyıcı sistem modeline ait ilk 15 mod için binaya ait period ve kütle katılım oranları Tablo 3.7 ve Tablo 3.8’de verilmiştir.

Aşağıdaki tablodan da anlaşıldığı gibi taşıyıcı sistemde teşkil edilen çelik çapraz sayısı arttırıldığı takdirde yapının 1. doğal titreşim periyodu azalmaktadır. Sistemin dinamik yükler altında hakim periyodunun küçülmesi bina stabilitesi ve kullanım sürecindeki fonksiyonelliği açısından önemlidir.

**Tablo 3.7: Modal periodları**

| Çıkış | Tip  | Mod No: | Period (Sec)            |                                              |                                                                 |
|-------|------|---------|-------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
|       |      |         | Çekirdek+Moment Çerçeve | Çekirdek+Moment Çerçeve+Dış Cephe Çaprazları | Çekirdek+Moment Çerçeve+Dış Cephe Çaprazları +Yatay Kafes Kiriş |
| MODAL | Mode | 1       | 4.214                   | 3.729                                        | 3.476                                                           |
| MODAL | Mode | 2       | 3.800                   | 3.087                                        | 2.852                                                           |
| MODAL | Mode | 3       | 3.394                   | 2.667                                        | 2.438                                                           |
| MODAL | Mode | 4       | 1.212                   | 0.993                                        | 0.878                                                           |
| MODAL | Mode | 5       | 1.171                   | 0.860                                        | 0.788                                                           |
| MODAL | Mode | 6       | 1.012                   | 0.726                                        | 0.657                                                           |
| MODAL | Mode | 7       | 0.620                   | 0.459                                        | 0.423                                                           |
| MODAL | Mode | 8       | 0.593                   | 0.424                                        | 0.404                                                           |
| MODAL | Mode | 9       | 0.519                   | 0.380                                        | 0.372                                                           |
| MODAL | Mode | 10      | 0.418                   | 0.367                                        | 0.348                                                           |
| MODAL | Mode | 11      | 0.380                   | 0.351                                        | 0.333                                                           |
| MODAL | Mode | 12      | 0.374                   | 0.342                                        | 0.319                                                           |
| MODAL | Mode | 13      | 0.365                   | 0.327                                        | 0.317                                                           |
| MODAL | Mode | 14      | 0.348                   | 0.320                                        | 0.316                                                           |
| MODAL | Mode | 15      | 0.343                   | 0.318                                        | 0.316                                                           |

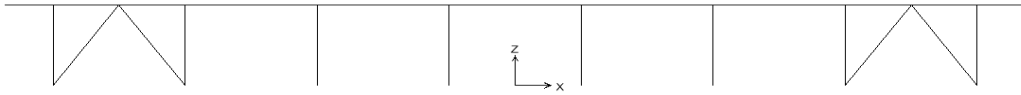
**Tablo 3.8: Modal kütle katılım oranları**

| Çıkış | Tip  | Mod No: | X Yönü                  |                                              |                                                                 | Y Yönü                  |                                              |                                                                 |
|-------|------|---------|-------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
|       |      |         | Çekirdek+Moment Çerçeve | Çekirdek+Moment Çerçeve+Dış Cephe Çaprazları | Çekirdek+Moment Çerçeve+Dış Cephe Çaprazları +Yatay Kafes Kiriş | Çekirdek+Moment Çerçeve | Çekirdek+Moment Çerçeve+Dış Cephe Çaprazları | Çekirdek+Moment Çerçeve+Dış Cephe Çaprazları +Yatay Kafes Kiriş |
| MODAL | Mode | 1       | 0.700                   | 0.673                                        | 0.702                                                           | 0.000004204             | 8.278E-08                                    | 1.154E-07                                                       |
| MODAL | Mode | 2       | 0.700                   | 0.673                                        | 0.702                                                           | 0.305                   | 0.670                                        | 0.690                                                           |
| MODAL | Mode | 3       | 0.700                   | 0.673                                        | 0.702                                                           | 0.711                   | 0.685                                        | 0.716                                                           |
| MODAL | Mode | 4       | 0.843                   | 0.834                                        | 0.848                                                           | 0.711                   | 0.685                                        | 0.716                                                           |
| MODAL | Mode | 5       | 0.843                   | 0.834                                        | 0.848                                                           | 0.758                   | 0.862                                        | 0.871                                                           |
| MODAL | Mode | 6       | 0.843                   | 0.834                                        | 0.848                                                           | 0.878                   | 0.868                                        | 0.876                                                           |
| MODAL | Mode | 7       | 0.843                   | 0.903                                        | 0.906                                                           | 0.890                   | 0.868                                        | 0.876                                                           |
| MODAL | Mode | 8       | 0.907                   | 0.903                                        | 0.906                                                           | 0.890                   | 0.926                                        | 0.929                                                           |
| MODAL | Mode | 9       | 0.907                   | 0.903                                        | 0.906                                                           | 0.931                   | 0.926                                        | 0.929                                                           |
| MODAL | Mode | 10      | 0.907                   | 0.903                                        | 0.914                                                           | 0.936                   | 0.926                                        | 0.929                                                           |
| MODAL | Mode | 11      | 0.907                   | 0.903                                        | 0.914                                                           | 0.936                   | 0.928                                        | 0.930                                                           |
| MODAL | Mode | 12      | 0.934                   | 0.903                                        | 0.914                                                           | 0.936                   | 0.928                                        | 0.930                                                           |
| MODAL | Mode | 13      | 0.942                   | 0.904                                        | 0.914                                                           | 0.936                   | 0.928                                        | 0.930                                                           |
| MODAL | Mode | 14      | 0.942                   | 0.904                                        | 0.914                                                           | 0.954                   | 0.928                                        | 0.930                                                           |
| MODAL | Mode | 15      | 0.942                   | 0.904                                        | 0.914                                                           | 0.954                   | 0.928                                        | 0.930                                                           |

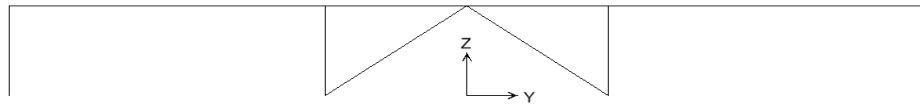
Deprem yönetmeliğinde yer alan hesaba katılan modal kütle katılım oranının %90'dan fazla olması koşulu, ele alınan üç farklı taşıyıcı sistem şeklinde her iki doğrultuda ilk 15 mod için sağlanmıştır [2].

Taşıyıcı sistem modal kütle katılım oranları incelendiğinde yapının 1. doğal titreşim periyodu binanın uzun doğrultusu olan x yönündedir. Bu doğrultuda çapraz sayısı fazla olmasına rağmen bina, kısa doğrultusu olan y yönünde daha rijittir. Bu rijitliğin nedeni bina kısa doğrultusundaki çaprazların aks açıklığının büyük olması ve çapraz elemanların yatay doğrultuya yakın olması sonucu uzun doğrultudakilere nazaran daha fazla eksenel yük taşımaları ile açıklanabilir.

Yukarıda bahsedilen bu durumu ispatlamak amacıyla binanın her iki doğrultusundaki akslardan alınan iki sistem karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Bu sistemler Şekil 3.6 ve Şekil 3.7'de gösterilmiştir.



**Şekil 3.6:** Binanın uzun doğrultusu cephe çaprazları

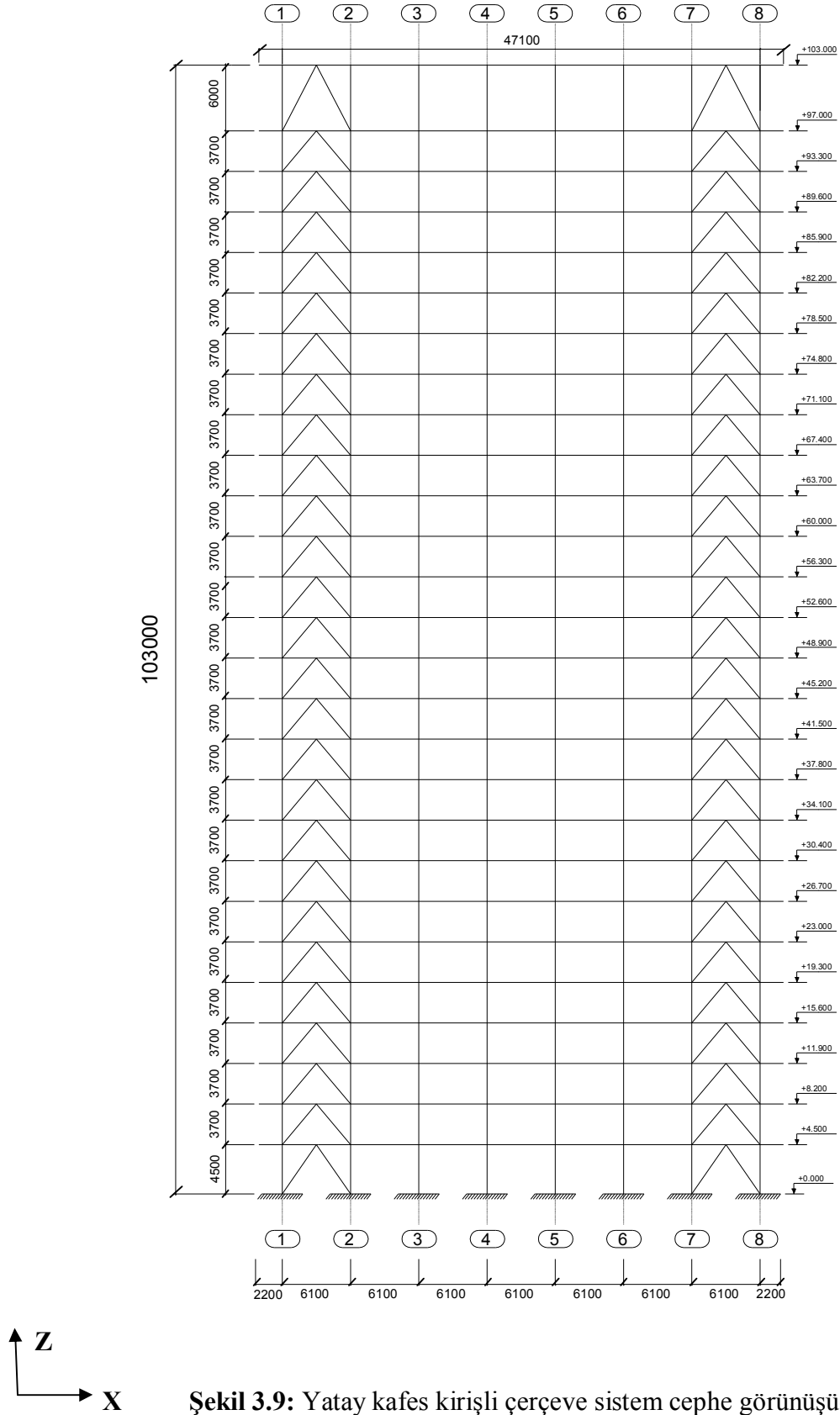


**Şekil 3.7:** Binanın kısa doğrultusu cephe çaprazları

Yapılan analizler sonucu x yönündeki sistemin hakim periyod değeri 0.13 sn, y yönündeki sistemin ise 0.11 sn olarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte y yönündeki çapraz elemanların diğer doğrultudaki çaprazlara göre daha fazla yük taşıdığı görülmüştür. Uzun doğrultudaki sistemin kısa doğrultudakine göre daha fazla uç deplasmanı yapması da yapının y yönünde daha rijit olduğunu ispatlayan diğer bir sonuçtur.

Yatay kafes kirişli çerçeve sisteme ait yapı cephe görünüşleri Şekil 3.8 ve Şekil 3.9'da gösterilmiştir.





Şekil 3.9: Yatay kafes kirişli çerçeve sistem cephe görünüşü-2

Tasarımı yapılan üç farklı yapı taşıyıcı sisteminde yapı için deprem ve rüzgarlı kombinasyonlara ait taban kesme kuvvetleri Tablo 3.9’da verilmiştir. Yapıda teşkil edilen çelik çapraz sayısı artırıldığında yapı ağırlığının ve tabanda oluşan taban kesme kuvvetinin de arttığı da görülmektedir.

**Tablo 3.9:** Taşıyıcı sistem taban kesme kuvvetleri

| Taban Kesme Kuvveti<br>$V_t$ (kN) | Taşıyıcı Sistem Şekli       |                                                      |                                                                           |
|-----------------------------------|-----------------------------|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
|                                   | Çekirdek<br>+Moment Çerçeve | Çekirdek+<br>Moment Çerçeve+<br>Dış Cephe Çaprazları | Çekirdek+<br>Moment Çerçeve+Dış<br>Cephe Çaprazları<br>+Yatay Kafes Kiriş |
| Deprem                            | 13798                       | 13801                                                | 13804                                                                     |
| Rüzgar                            | 16699                       | 16703                                                | 16706                                                                     |

Gözönüne alınan deprem doğrultusunda, elde edilen bina toplam deprem yükü  $V_{tB}$ ’nin, Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi’nde hesaplanan bina toplam deprem yükü  $V_t$ ’ye oranının aşağıda tanımlanan  $\beta$  değerinden küçük olması durumunda ( $V_{tB} < \beta V_t$ ), Mod Birleştirme Yöntemi’ne göre bulunan tüm iç kuvvet ve yerdeğiştirme büyüklükleri büyütülmelidir [2].

Kule tipi çok katlı bina için en uygun sonucu veren yatay kafes kirişli sistem için yönetmelikçe istenen sınır değerler sağlanmıştır.

$$\beta = 0.8 \rightarrow V_{tB} \leq \beta V_t$$

$$\frac{V_{tBx}}{V_{tx}} = \frac{13787}{10179} = 1.35 > 0.8 \quad (\text{uygun}) \quad (3.27)$$

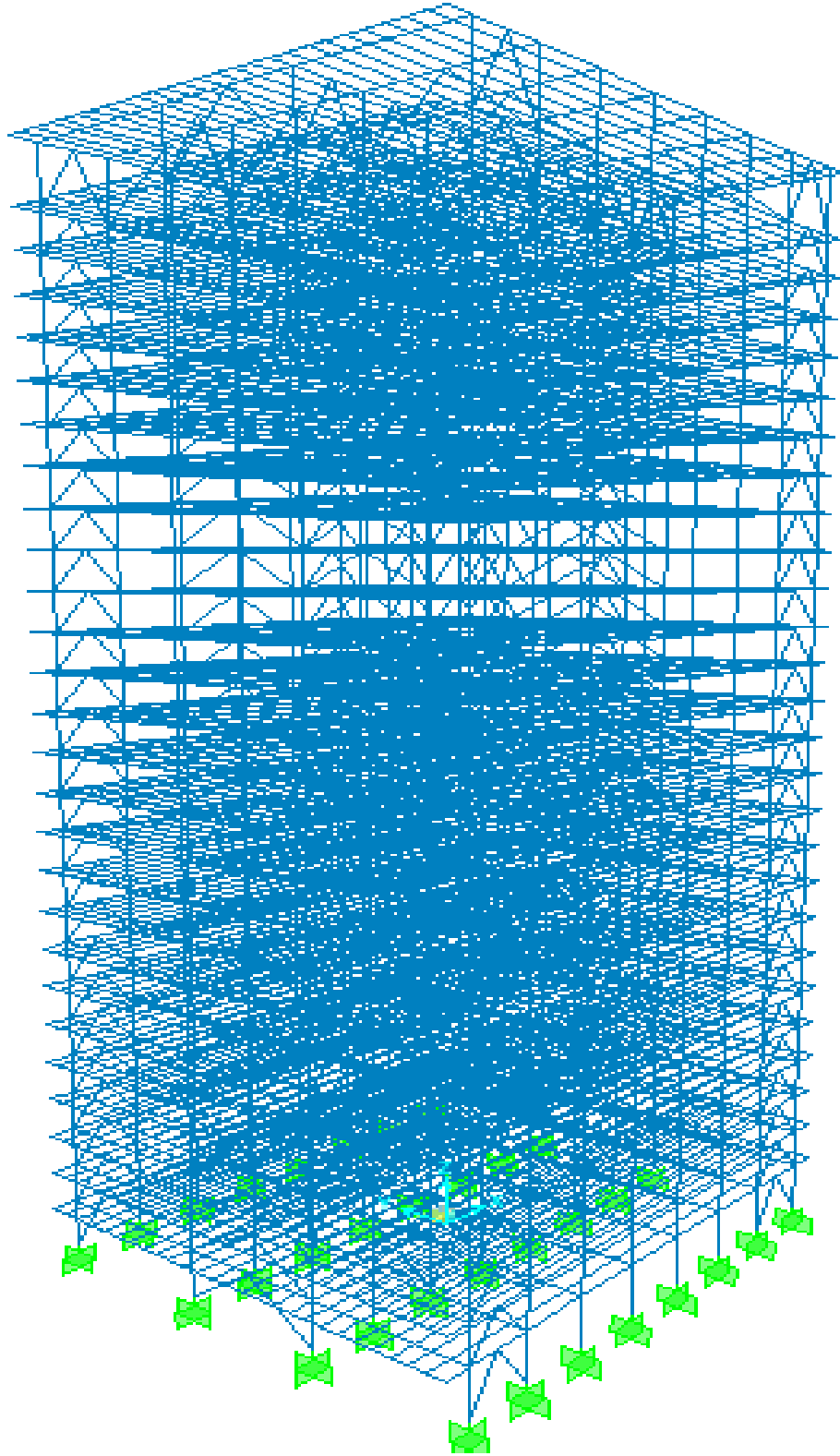
$$\frac{V_{tBy}}{V_{ty}} = \frac{13787}{11925} = 1.15 > 0.8 \quad (\text{uygun}) \quad (3.28)$$

Yatay kafes kirişli çerçeve sistemi için deprem ve rüzgarlı kombinasyonlara ait taban kesme kuvvet değerleri tablo 3.10’da verilmiştir. Rüzgarlı duruma göre sistem daha elverişsizdir.

**Tablo 3.10:** Yatay kafes kiriş sistem deprem ve rüzgar taban kesme kuvvetleri

| Kombinasyon türü | Taban Kesme Kuvveti (kN) |          |
|------------------|--------------------------|----------|
|                  | $V_{tx}$                 | $V_{ty}$ |
| Deprem           | 13804                    | 13775    |
| Rüzgar           | 16706                    | 19240    |

Yatay kafes kirişli çerçeve sisteme ait yapı izometrik görünüşü Şekil 3.10’da verilmiştir.



**Şekil 3.10:** Yatay kafes kirişli çerçeve sistem izometrik görünüşü

**Tablo 3.11:** Rüzgarlı durumda y yönü taban kesme kuvvetinin katlara dağılımı

| Kat | Wi (kN)  | hi (m) | Hi (m) | wi*Hi    | wi*Hi/Σwi*Hi | Fix(kN) | Fiy(kN) | Fix+ΔFnx(kN) | Fiy+ΔFny(kN) |
|-----|----------|--------|--------|----------|--------------|---------|---------|--------------|--------------|
| 27  | 16174.94 | 6      | 103    | 1666019  | 0.09126      | 1400.25 | 1400.25 | 5296.35      | 5296.35      |
| 26  | 12577.25 | 3.7    | 97     | 1219993  | 0.06683      | 1025.38 | 1025.38 | 1025.38      | 1025.38      |
| 25  | 12477.77 | 3.7    | 93.3   | 1164176  | 0.06377      | 978.46  | 978.46  | 978.46       | 978.46       |
| 24  | 12477.77 | 3.7    | 89.6   | 1118008  | 0.06124      | 939.66  | 939.66  | 939.66       | 939.66       |
| 23  | 12477.77 | 3.7    | 85.9   | 1071840  | 0.05871      | 900.86  | 900.86  | 900.86       | 900.86       |
| 22  | 12477.77 | 3.7    | 82.2   | 1025673  | 0.05618      | 862.05  | 862.05  | 862.05       | 862.05       |
| 21  | 12477.77 | 3.7    | 78.5   | 979504.9 | 0.05365      | 823.25  | 823.25  | 823.25       | 823.25       |
| 20  | 12584.39 | 3.7    | 74.8   | 941312.4 | 0.05156      | 791.15  | 791.15  | 791.15       | 791.15       |
| 19  | 12584.39 | 3.7    | 71.1   | 894750.1 | 0.04901      | 752.02  | 752.02  | 752.02       | 752.02       |
| 18  | 12584.39 | 3.7    | 67.4   | 848187.9 | 0.04646      | 712.88  | 712.88  | 712.88       | 712.88       |
| 17  | 12584.39 | 3.7    | 63.7   | 801625.6 | 0.04391      | 673.75  | 673.75  | 673.75       | 673.75       |
| 16  | 12584.39 | 3.7    | 60     | 755063.4 | 0.04136      | 634.61  | 634.61  | 634.61       | 634.61       |
| 15  | 12584.39 | 3.7    | 56.3   | 708501.2 | 0.03881      | 595.48  | 595.48  | 595.48       | 595.48       |
| 14  | 12584.39 | 3.7    | 52.6   | 661938.9 | 0.03626      | 556.34  | 556.34  | 556.34       | 556.34       |
| 13  | 12584.39 | 3.7    | 48.9   | 615376.7 | 0.03371      | 517.21  | 517.21  | 517.21       | 517.21       |
| 12  | 12589.71 | 3.7    | 45.2   | 569054.9 | 0.03117      | 478.28  | 478.28  | 478.28       | 478.28       |
| 11  | 12579.09 | 3.7    | 41.5   | 522032.2 | 0.02859      | 438.76  | 438.76  | 438.76       | 438.76       |
| 10  | 12723.8  | 3.7    | 37.8   | 480959.6 | 0.02635      | 404.24  | 404.24  | 404.24       | 404.24       |
| 9   | 12723.8  | 3.7    | 34.1   | 433881.6 | 0.02377      | 364.67  | 364.67  | 364.67       | 364.67       |
| 8   | 12723.8  | 3.7    | 30.4   | 386803.5 | 0.02119      | 325.10  | 325.10  | 325.10       | 325.10       |
| 7   | 12723.8  | 3.7    | 26.7   | 339725.5 | 0.01861      | 285.53  | 285.53  | 285.53       | 285.53       |
| 6   | 12723.8  | 3.7    | 23     | 292647.4 | 0.01603      | 245.96  | 245.96  | 245.96       | 245.96       |
| 5   | 12723.8  | 3.7    | 19.3   | 245569.3 | 0.01345      | 206.40  | 206.40  | 206.40       | 206.40       |
| 4   | 12723.8  | 3.7    | 15.6   | 198491.3 | 0.01087      | 166.83  | 166.83  | 166.83       | 166.83       |
| 3   | 12723.8  | 3.7    | 11.9   | 151413.2 | 0.00829      | 127.26  | 127.26  | 127.26       | 127.26       |
| 2   | 12723.8  | 3.7    | 8.2    | 104335.2 | 0.00572      | 87.69   | 87.69   | 87.69        | 87.69        |
| 1   | 13180.5  | 4.5    | 4.5    | 59312.25 | 0.00325      | 49.85   | 49.85   | 49.85        | 49.85        |
| Σ   | 344679.7 |        | Σ      | 18256196 |              |         | Σ       | 19240        | 19240        |

Yatay kafes kirişli çerçeve sisteminde yapı için en elverişsiz olan rüzgarlı durumda y yönündeki taban kesme kuvvetinin katlara dağılımı Tablo 3.11’de verilmiştir.

### 3.9 Deplasman Kontrolleri

#### 3.9.1 Etkin Göreli Kat Ötelenmesi

Her bir deprem doğrultusu için, binanın i’inci katındaki kolon veya perdeler için etkin göreli kat ötelenmesi aşağıdaki formül ile elde edilir.

$$\delta_i = R \times \Delta_i \quad (3.29)$$

$\Delta_i$ =Azaltılmış görelî kat ötelenmesi

$$\Delta_i = d_i - d_{i-1} \quad (3.30)$$

Kat içindeki maksimum  $\delta_i$  değerinî  $h_i$  kat yüksekliğine bölünmesiyle elde edilen değeri belirli bir oranı aşmamalıdır. Aştığı takdirde taşıyıcı sistem rijitliği arttırılarak hesaplar tekrarlanmalıdır. Yapıya ait görelî kat ötelenmelerine ilişkin değeri Tablo 3.10’da verilmiştir.

$$\frac{(\delta_i)_{\max}}{h_i} \leq 0.02 \quad (3.31)$$

Depremlî ve rüzgarlı durum için yapının tepe noktasına ait deplasmanlar Tablo 3.12’de verilmiştir.

**Tablo 3.12:** Yapı tepe noktası deplasmanları

| Taşıyıcı Sistem Şekli                                          | 27. Kat Deplasmanları (cm) |        |
|----------------------------------------------------------------|----------------------------|--------|
|                                                                | Deprem                     | Rüzgar |
| Çekirdek+Moment Çerçeve                                        | 32                         | 33     |
| Çekirdek+Moment Çerçeve+Dış Cephe Çaprazları                   | 21                         | 25     |
| Çekirdek+Moment Çerçeve+Dış Cephe Çaprazları+Yatay Kafes Kiriş | 18                         | 20     |

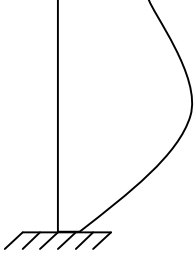
Ele alınan üç farklı taşıyıcı sistem etkin görelî kat ötelenmeleri Tablo 3.13’te verilmiştir. Belirlenen sınırı aşan deplasmanlar koyu renkle işaretlenmiştir.

Kule tipi çok katlı yapı analizinde en elverişsiz durumu veren D+L+W kombinasyonuna ait x yönündeki mod şekilleri uygulaması yapılan taşıyıcı sistem şekilleri için sırasıyla Şekil 3.11’de gösterilmiştir.

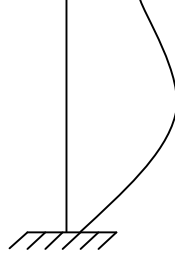
**Tablo 3.13:** Etkin görelî kat ötelenmeleri

| Kat No: | Durum:   | Kombinasyon Adı: | $(\delta i_2)_{max}/h_i \leq 0.02$ |                                              |                                                                 |                         |                                              |                                                                 |
|---------|----------|------------------|------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
|         |          |                  | X Yönü                             |                                              |                                                                 | Y Yönü                  |                                              |                                                                 |
|         |          |                  | Çekirdek+Moment Çerçeve            | Çekirdek+Moment Çerçeve+Dış Cephe Çaprazları | Çekirdek+Moment Çerçeve+Dış Cephe Çaprazları +Yatay Kafes Kiriş | Çekirdek+Moment Çerçeve | Çekirdek+Moment Çerçeve+Dış Cephe Çaprazları | Çekirdek+Moment Çerçeve+Dış Cephe Çaprazları +Yatay Kafes Kiriş |
| 1       | Ötelenme | D+L+W            | 0.006                              | 0.003                                        | 0.002                                                           | 0.007                   | 0.004                                        | 0.003                                                           |
| 2       | Ötelenme | D+L+W            | 0.010                              | 0.006                                        | 0.004                                                           | 0.011                   | 0.007                                        | 0.004                                                           |
| 3       | Ötelenme | D+L+W            | 0.014                              | 0.009                                        | 0.005                                                           | 0.012                   | 0.008                                        | 0.005                                                           |
| 4       | Ötelenme | D+L+W            | 0.017                              | 0.011                                        | 0.007                                                           | 0.013                   | 0.009                                        | 0.006                                                           |
| 5       | Ötelenme | D+L+W            | 0.019                              | 0.013                                        | 0.008                                                           | 0.013                   | 0.010                                        | 0.007                                                           |
| 6       | Ötelenme | D+L+W            | 0.021                              | 0.014                                        | 0.009                                                           | 0.014                   | 0.011                                        | 0.007                                                           |
| 7       | Ötelenme | D+L+W            | 0.022                              | 0.015                                        | 0.009                                                           | 0.015                   | 0.011                                        | 0.007                                                           |
| 8       | Ötelenme | D+L+W            | 0.023                              | 0.016                                        | 0.010                                                           | 0.015                   | 0.012                                        | 0.008                                                           |
| 9       | Ötelenme | D+L+W            | 0.024                              | 0.017                                        | 0.010                                                           | 0.015                   | 0.012                                        | 0.008                                                           |
| 10      | Ötelenme | D+L+W            | 0.024                              | 0.018                                        | 0.010                                                           | 0.016                   | 0.013                                        | 0.008                                                           |
| 11      | Ötelenme | D+L+W            | 0.024                              | 0.018                                        | 0.011                                                           | 0.016                   | 0.013                                        | 0.008                                                           |
| 12      | Ötelenme | D+L+W            | 0.024                              | 0.018                                        | 0.011                                                           | 0.016                   | 0.013                                        | 0.008                                                           |
| 13      | Ötelenme | D+L+W            | 0.024                              | 0.021                                        | 0.011                                                           | 0.016                   | 0.013                                        | 0.008                                                           |
| 14      | Ötelenme | D+L+W            | 0.024                              | 0.021                                        | 0.011                                                           | 0.016                   | 0.013                                        | 0.008                                                           |
| 15      | Ötelenme | D+L+W            | 0.023                              | 0.018                                        | 0.010                                                           | 0.016                   | 0.013                                        | 0.008                                                           |
| 16      | Ötelenme | D+L+W            | 0.022                              | 0.018                                        | 0.010                                                           | 0.016                   | 0.013                                        | 0.008                                                           |
| 17      | Ötelenme | D+L+W            | 0.022                              | 0.018                                        | 0.010                                                           | 0.016                   | 0.013                                        | 0.007                                                           |
| 18      | Ötelenme | D+L+W            | 0.021                              | 0.018                                        | 0.009                                                           | 0.016                   | 0.013                                        | 0.007                                                           |
| 19      | Ötelenme | D+L+W            | 0.020                              | 0.017                                        | 0.009                                                           | 0.016                   | 0.013                                        | 0.007                                                           |
| 20      | Ötelenme | D+L+W            | 0.019                              | 0.017                                        | 0.008                                                           | 0.016                   | 0.013                                        | 0.006                                                           |
| 21      | Ötelenme | D+L+W            | 0.018                              | 0.016                                        | 0.007                                                           | 0.015                   | 0.012                                        | 0.006                                                           |
| 22      | Ötelenme | D+L+W            | 0.017                              | 0.016                                        | 0.007                                                           | 0.015                   | 0.012                                        | 0.006                                                           |
| 23      | Ötelenme | D+L+W            | 0.017                              | 0.015                                        | 0.006                                                           | 0.015                   | 0.012                                        | 0.005                                                           |
| 24      | Ötelenme | D+L+W            | 0.018                              | 0.015                                        | 0.005                                                           | 0.014                   | 0.012                                        | 0.005                                                           |
| 25      | Ötelenme | D+L+W            | 0.017                              | 0.014                                        | 0.004                                                           | 0.014                   | 0.011                                        | 0.004                                                           |
| 26      | Ötelenme | D+L+W            | 0.016                              | 0.014                                        | 0.004                                                           | 0.013                   | 0.011                                        | 0.003                                                           |
| 27      | Ötelenme | D+L+W            | 0.016                              | 0.014                                        | 0.001                                                           | 0.013                   | 0.011                                        | 0.001                                                           |

Çekirdek+  
Moment Çerçeve



Çekirdek+  
Moment Çerçeve+Dış  
Cephe Çaprazları



Çekirdek+  
Moment Çerçeve+Dış  
Cephe Çaprazları+Yatay  
Kafes Kiriş



**Şekil 3.11:** Taşıyıcı sistem mod şekilleri

Yukarıda verilen tablo ve şekillerden de anlaşıldığı gibi kule tipi çok katlı çelik büro yapısı için taşıyıcı sistem şekli seçiminde etkin görelî kat ötelemesi kontrolleri sınırlayıcı olmuştur. Uygulanan çekirdek sistem, moment çerçeve ve dış cephe merkezi çelik çaprazları yapıda yeterli stabiliteyi sağlayamamıştır. Bu nedenle yapı tasarımında yatay deplasman değerlerini büyük ölçüde azaltan, çekirdek bölgesindeki devrilme momentlerini küçülten yatay kafes kirişli çerçeve ile güçlendirilmiş taşıyıcı sistem şekli seçilmiştir.

### 3.9.2 II. Mertebe Etkileri

II. mertebe etkileri, yapı elemanlarının elastik olmayan davranışı için yaklaşık bir hesap kontrolüdür.

Her iki deprem doğrultusunda da her katta II. mertebe gösterge değeri;

$$\theta_i = \frac{(\Delta_i)_{\max} x \sum_{j=1}^N w_j}{V_i x h_i} \leq 0.12 \quad (3.32)$$

$V_i$ : Gözönüne alınan deprem doğrultusunda binanın i'inci katına etki eden kat kesme kuvveti

Yapı taşıyıcı sistemi seçilen yatay kafes kirişli taşıyıcı sisteme ait II. mertebe etkilerinin kontrolü Tablo 3.14'de verilmiştir.

**Tablo 3.14:** II. mertebe etkileri

| Kat No: | Durum:   | Kombinasyon Adı: | Kontrol     |             |
|---------|----------|------------------|-------------|-------------|
|         |          |                  | $\leq 0.12$ | $\leq 0.12$ |
|         |          |                  | X Yönü      | Y Yönü      |
| 1       | Ötelenme | D+L+W            | 0.009       | 0.013       |
| 2       | Ötelenme | D+L+W            | 0.018       | 0.019       |
| 3       | Ötelenme | D+L+W            | 0.024       | 0.021       |
| 4       | Ötelenme | D+L+W            | 0.028       | 0.023       |
| 5       | Ötelenme | D+L+W            | 0.032       | 0.024       |
| 6       | Ötelenme | D+L+W            | 0.034       | 0.025       |
| 7       | Ötelenme | D+L+W            | 0.036       | 0.025       |
| 8       | Ötelenme | D+L+W            | 0.037       | 0.026       |
| 9       | Ötelenme | D+L+W            | 0.037       | 0.025       |
| 10      | Ötelenme | D+L+W            | 0.037       | 0.025       |
| 11      | Ötelenme | D+L+W            | 0.036       | 0.024       |
| 12      | Ötelenme | D+L+W            | 0.035       | 0.024       |
| 13      | Ötelenme | D+L+W            | 0.034       | 0.023       |
| 14      | Ötelenme | D+L+W            | 0.032       | 0.022       |
| 15      | Ötelenme | D+L+W            | 0.030       | 0.021       |
| 16      | Ötelenme | D+L+W            | 0.028       | 0.019       |
| 17      | Ötelenme | D+L+W            | 0.026       | 0.018       |
| 18      | Ötelenme | D+L+W            | 0.024       | 0.017       |
| 19      | Ötelenme | D+L+W            | 0.021       | 0.015       |
| 20      | Ötelenme | D+L+W            | 0.019       | 0.014       |
| 21      | Ötelenme | D+L+W            | 0.017       | 0.012       |
| 22      | Ötelenme | D+L+W            | 0.014       | 0.011       |
| 23      | Ötelenme | D+L+W            | 0.012       | 0.009       |
| 24      | Ötelenme | D+L+W            | 0.009       | 0.007       |
| 25      | Ötelenme | D+L+W            | 0.007       | 0.006       |
| 26      | Ötelenme | D+L+W            | 0.005       | 0.004       |
| 27      | Ötelenme | D+L+W            | 0.001       | 0.001       |

Yapılan hesaplar sonucu yapıda rüzgarlı durum depremli duruma göre daha elverişsiz çıkmıştır. Eleman boyutlandırma ve detay tasarımları, depremli ve rüzgarlı durum için DBYBHY2007’nce belirlenen sırasıyla 1.33 ve 1.15 katsayıları göz önünde bulundurularak daha küçük emniyet katsayı değeri öngörmesi dolayısıyla rüzgarlı kombinasyona göre yapılmıştır. Bu nedenle emniyet gerilmeleri 1.15 ile büyütülmüştür.

Bu iki farklı yükleme tipi arasındaki yük oranları için bina çekirdek kolon ve çaprazlarına etkiyen deprem ve rüzgar yükleri Tablo 3.15’teki gibi verilebilir.

**Tablo 3.15:** Rüzgar ve deprem yükü değerleri

| Yapı Elemanı | Deprem Yüğü |       |       | Rüzgar Yüğü |       |       |
|--------------|-------------|-------|-------|-------------|-------|-------|
|              | M(kNcm)     | N(kN) | V(kN) | M(kNcm)     | N(kN) | V(kN) |
| HT 600X600   | 57200       | 15740 | 220   | 58570       | 16850 | 240   |
| HT 595X600   | 60105       | 10020 | 270   | 60210       | 11480 | 300   |
| HT 550X590   | 61940       | 6900  | 315   | 62300       | 7470  | 350   |
| HT 540X580   | 62280       | 6530  | 300   | 63200       | 6860  | 330   |
| PD406.4*30   | -           | 2560  | -     | -           | 3130  | -     |
| PD457*30     | -           | 5400  | -     | -           | 5490  | -     |

## 4 YAPI ELEMANLARININ BOYUTLANDIRILMASI

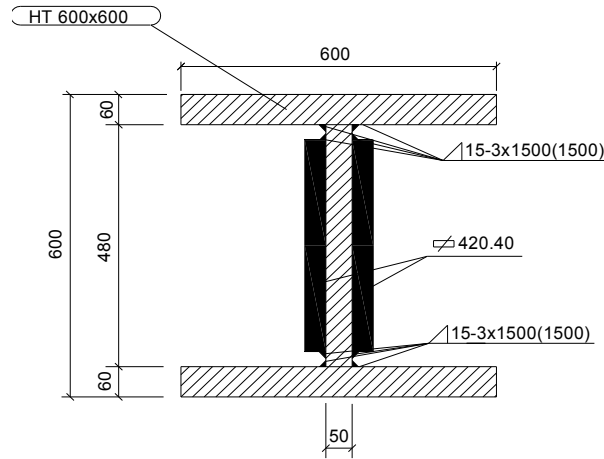
### 4.1 Kolonların Boyutlandırılması

Ele alınan kule tipi çok katlı çelik yapıda çevre kolonlar için yapma profil, çekirdek bölgesinde teşkil edilen kolonlar için ise takviyeli yapma profil kullanılmıştır. Kolonlara ait tip en kesit ve boyutlandırma hesapları aşağıda verilmiştir.

#### 4.1.1 1.Kat Çekirdek Kolonları

Bulunduğu akslar: B-3, B-4, B-5, B-6, B-7, C-3, C-4, C-5, C-6, C-7

Kesit: HT 600X600 Takviyeli Yapma Profil



Şekil 4.1: HT 600X600 Kesiti

Seçilen kesite ait özellikler tabloda belirtilmiştir.

Tablo 4.1: HT 600X600 takviyeli yapma profil kesit özellikleri

| h (cm)                            | b (cm)                            | t <sub>w</sub> (cm) | t <sub>f</sub> (cm) | h <sub>i</sub> (cm)               | A (cm <sup>2</sup> )              |                                    |
|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------|---------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| 60                                | 60                                | 13                  | 6                   | 48                                | 1296                              |                                    |
| I <sub>y</sub> (cm <sup>4</sup> ) | I <sub>x</sub> (cm <sup>4</sup> ) | i <sub>x</sub> (cm) | i <sub>y</sub> (cm) | W <sub>x</sub> (cm <sup>3</sup> ) | W <sub>y</sub> (cm <sup>3</sup> ) | W <sub>px</sub> (cm <sup>3</sup> ) |
| 216948                            | 622512                            | 21.91               | 12.93               | 20750.4                           | 7231.6                            | 35020.8                            |

Yönetmelik uyarınca yapma dolu gödeli kirişe ait gerekli kontroller aşağıdaki gibidir [10].  $\sigma_a$ (Basınç başlığı malzeme akma sınırı)=36 kN/cm<sup>2</sup>

Gövde kontrolü:

$$h/t_w \leq \frac{950}{\sqrt{\sigma_a(1.2 + \sigma_a)}} \rightarrow \frac{60}{5} = 12 \leq \frac{950}{\sqrt{3.6(1.2 + 3.6)}} = 228 \quad (\text{uygun}) \quad (4.1)$$

Berkitmesiz başlıklar:

$$\frac{b}{t_f} \leq \frac{25}{\sqrt{\sigma_a}} \rightarrow \frac{60}{6} = 10 \leq \frac{25}{\sqrt{3.6}} = 13.1 \quad (\text{uygun}) \quad (4.2)$$

Bilgisayar programında en elverişsiz kesit tesirleri D+L+W yüklemesinde okunmuştur.  $M_x = 58570 \text{ kNcm}$   $M_y = 15550 \text{ kNcm}$   $N = 16850 \text{ kN}$   $V = 240 \text{ kN}$

#### 4.1.1.1 Enkesit Kontrolü

$$\frac{b}{2t_f} \leq 0.3 \sqrt{\frac{E_s}{\sigma_a}} \rightarrow \frac{60}{2 \times 6} = 5 \leq 0.3 \sqrt{\frac{21000}{36}} = 7.25 \quad (\text{uygun}) \quad (4.3)$$

$$\left| \frac{N_d}{Ax\sigma_a} \right| \leq \left| \frac{16850}{1296 \times 36} \right| = 0.36 \geq 0.1$$

$$h/t_w \leq 1.33 \sqrt{E_s / \sigma_a} \left( 2.1 - \left| \frac{N_d}{Ax\sigma_a} \right| \right) \quad (4.4)$$

$$60/13 = 4.6 \leq 1.33 \sqrt{21000/36} \left( 2.1 - \left| \frac{16850}{1296 \times 36} \right| \right) = 55.79 \quad \text{Kesit Kompakttır. } \checkmark$$

#### 4.1.1.2 Gerilme Kontrolü

TS 648 ve İMO – 02. R-01'e göre eksenel basınç ve eğilmeye maruz kalan çubuklar için gerekli görülen gerilme tahkikleri aşağıdaki gibidir [10].

$\sigma_{eb}$  = Yalnız N eksenel basınç kuvveti etkisinde hesaplanan gerilme

$\sigma_{bem}$  = Yalnız N eksenel basınç kuvveti etkisinde uygulanacak emniyet gerilmesi

$\sigma_{bx}$  = Yalnız  $M_x$  eğilme momenti etkisinde hesaplanan gerilme

$\sigma_{by}$  = Yalnız  $M_y$  eğilme momenti etkisinde hesaplanan gerilme

$\sigma_{Bx}$  = Yalnız  $M_x$  eğilme momenti etkisi altında uygulanacak emniyet gerilmesi

$\sigma_{By}$  = Yalnız  $M_y$  eğilme momenti etkisi altında uygulanacak emniyet gerilmesi

$\sigma'_{ex}$  = x-x asal eksen etrafındaki burkulmalar için hesaplanan gerilme

$\sigma'_{ey}$  = y-y asal eksen etrafındaki burkulmalar için hesaplanan gerilme

$C_{mx}$  =  $M_x$  moment diyagramlarını ve hesap yapılan düzleme dik doğrultuda çubuğun

tutulma düzenini göz önünde tutan katsayı

$C_{my} = M_y$  moment diyagramlarını ve hesap yapılan düzleme dik doğrultuda çubuğun

tutulma düzenini göz önünde tutan katsayı

$C_b =$  Eğilme moment diyagramına ait bir katsayı

$\lambda_{yb} =$ Yanal burkulma için hesaplanan narinlik

$\lambda_p =$  Plastik narinlik sınırı

$$\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} + \frac{C_{mx} x \sigma_{bx}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma'_{ex}}\right) x \sigma_{Bx}} + \frac{C_{my} x \sigma_{by}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma'_{ey}}\right) x \sigma_{By}} \leq 1 \quad (4.5)$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{0.6 x \sigma_{ba}} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} + \frac{\sigma_{by}}{\sigma_{By}} \leq 1 \quad (4.6)$$

Sistem diagonal elemanların varlığından dolayı ötelenmesi önlenmiş kabul edilmiştir.

$G$  burkulma boyu redörüdür [10].

$$G = \frac{\sum I_c / S_c}{\sum I_g / S_g} \text{ olarak hesaplanır.} \quad (4.7)$$

$I_c =$  Göz önüne alınan noktaya rijit bağlı kolonların atalet momenti,

$I_g =$  Göz önüne alınan noktaya rijit bağlı kirişlerin atalet momenti,

$S_c =$  Göz önüne alınan noktaya rijit bağlı kolonların boyu (cm),

$S_g =$  Göz önüne alınan noktaya rijit bağlı kirişlerin boyudur (cm).

$G_A, G_B$   $K$  burkulma boyunun tayini için kullanılan redörlerdir.

$S_x =$  x-x eksenine dik burkulma boyu (cm).

$S_y =$  y-y eksenine dik burkulma boyudur (cm).,

$$S_x = S_y = KxH \quad (4.8)$$

Temele rijit bağlı kolonlar için  $G_A = 0$  alınır.

X yönü için  $G$  değerleri:

$$G_B = \left( \frac{216948}{450} + \frac{211593}{370} \right) / \frac{67120}{610} x 2 = 4.78$$

$K \rightarrow 0.7$  okunmuştur.

$$S_x = 0.7 \times 450 = 315 \text{ cm}$$

Y yönü için  $G$  değerleri:

$$G_B = \left( \frac{622512}{450} + \frac{618120}{370} \right) / \frac{136700}{1365} \times 2 = 15.24$$

$K \rightarrow 0.74$  okunmuştur.

$$S_y = 0.74 \times 450 = 333 \text{ cm}$$

$$\lambda_i = \frac{S_i}{i_i} \quad (4.9)$$

$$\lambda_x = \frac{S_x}{i_x} = \frac{315}{21.91} = 14.37 \text{ cm} \rightarrow \omega = 1$$

$$\lambda_y = \frac{S_y}{i_y} = \frac{333}{12.93} = 25.7 \text{ cm} \rightarrow \omega = 1.1$$

DBYBHY2007'e göre narinlik sınırı şu şekildedir [2].

$$\lambda_{\max} = \max(\lambda_x, \lambda_y) \leq 4\sqrt{E_s / \sigma_a} = 4\sqrt{21000 / 36} = 96.6 \quad (4.10)$$

$$\lambda_{\max} = 25.7 \leq 96.6$$

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{2x\pi^2 xE}{\sigma_a}} = 107.3 \geq \lambda_{\max} \quad (4.11)$$

$$\lambda_{\max} = 25.7 \rightarrow \sigma_{bem} \text{ değeri tablodan okunmuştur [4].}$$

Depremden daha elverişsiz olan rüzgarlı durum için emniyet gerilmeleri %15 arttırılmıştır.

$$\sigma_{bem} \rightarrow 1.15\sigma_{bem} \quad (4.12)$$

$$1.15 \times \sigma_{bem} = 1.15 \times 19.6 = 22.54 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{eb} = \frac{N}{A} \leq \sigma_{bem} \quad (4.13)$$

$$\sigma_{eb} = \frac{N}{A} = \frac{16850}{1296} = 13 \text{ kN/cm}^2 \leq 22.54 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{bx} = \frac{M_x}{W_x} \quad (4.14)$$

$$\sigma_{by} = \frac{M_y}{W_y} \quad (4.15)$$

$$\sigma_{bx} = \frac{M_x}{W_x} = \frac{58570}{20750.4} = 2.82 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{by} = \frac{M_y}{W_y} = \frac{15550}{7231.6} = 2.15 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma'_{ex} = 8290 / \lambda_x^2 \quad (4.16)$$

$$\sigma'_{ey} = 8290 / \lambda_y^2 \quad (4.17)$$

$$\sigma'_{ex} = 8290 / \lambda_x^2 = 8290 / 14.37^2 = 401.4 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma'_{ey} = 8290 / \lambda_y^2 = 8290 / 25.7^2 = 125.5 \text{ kN/cm}^2$$

Çubuk uçlarında herhangi bir ötelenme olmadığından;

$$C_m = 0.6 - 0.4x \frac{M_1}{M_2} \geq 0.4 \rightarrow C_m = 0.4 \text{ alınmıştır.} \quad (4.18)$$

$$I_{yb} = \frac{t_f x b^3}{12} \quad (4.19)$$

$$I_{yb} = \frac{t_f x b^3}{12} = \frac{6 \times 60^3}{12} = 108000 \text{ cm}^4$$

Basınç başlığı alanı:

$$F_b = b x t_f + \frac{d}{3} x t_w \quad (4.20)$$

$$F_b = b x t_f + \frac{d}{3} x t_w = 60 \times 6 + \frac{45}{3} \times 13 = 555 \text{ cm}^2$$

$$i_{yb} = \sqrt{\frac{I_{yb}}{F_b}} \quad (4.21)$$

$$i_{yb} = \sqrt{\frac{I_{yb}}{F_b}} = \sqrt{\frac{108000}{555}} = 13.94 \text{ cm}$$

$$\lambda_{yb} = \frac{S_y}{i_{yb}} \leq \sqrt{\frac{3 \times 10^7 \times C_b}{\sigma_a}} \quad (4.22)$$

$$\lambda_{yb} = \frac{S_y}{i_{yb}} = \frac{333}{13.94} = 23.88 \text{ cm}$$

$$\sigma_{Bx} = \left[ \frac{2}{3} - \frac{\sigma_a \times \lambda_{yb}^2}{9 \times 10^7 \times C_b} \right] \sigma_a \quad (4.23)$$

$$\sigma_{Bx} = \left[ \frac{84 \times 10^4 \times C_b}{Sx \frac{d}{F_b}} \right] \quad (4.24)$$

$$C_b = 1.5$$

$$\sigma_{Bx} = \left[ \frac{2}{3} - \frac{\sigma_a x \lambda_{yb}^2}{9 \times 10^7 \times C_b} \right] \sigma_a = \left[ \frac{2}{3} - \frac{36 \times 23.88^2}{9 \times 10^7 \times 1.5} \right] 36 = 23.99 \text{ kN/cm}^2 > 0.6 \times \sigma_a$$

$$\sigma_{Bx} = \left[ \frac{84 \times 10^4 \times C_b}{Sx \frac{d}{F_b}} \right] = \left[ \frac{84 \times 10^4 \times 1.5}{333 \times \frac{600}{555}} \right] = 35 \text{ kN/cm}^2 > 0.6 \times \sigma_a$$

$$\sigma_{Bx} = \max \sigma_{Bx} = 35 \text{ kN/cm}^2 > 0.6 \times \sigma_a = 21.6 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{Bx} = \sigma_{By} = 21.6 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} + \frac{C_{mx} x \sigma_{bx}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{ex}}\right) x \sigma_{Bx}} + \frac{C_{my} x \sigma_{by}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{ey}}\right) x \sigma_{By}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} + \frac{C_{mx} x \sigma_{bx}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{ex}}\right) x \sigma_{Bx}} + \frac{C_{my} x \sigma_{by}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{ey}}\right) x \sigma_{By}} = \frac{13}{22.54} + \frac{0.4 \times 2.82}{\left(1 - \frac{13}{401.4}\right) \times 21.6} + \frac{0.4 \times 2.15}{\left(1 - \frac{13}{125.5}\right) \times 21.6}$$

$$= 0.57 + 0.05 + 0.04 = 0.66 \leq 1 \quad (\text{uygun})$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{0.6 \times \sigma_{ba}} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} + \frac{\sigma_{by}}{\sigma_{By}} \leq 1$$

$$= \frac{13}{21.6} + \frac{2.82}{21.6} + \frac{2.15}{21.6} = 0.6 + 0.13 + 0.09 = 0.82 \leq 1 \quad (\text{uygun})$$

#### 4.1.1.3 Kesme Güvenliği Kontrolü

$$F_g = h_i x t_w = 42 \times 13 = 546 \text{ cm}^2$$

$$\tau = \frac{V}{F_g} = \frac{240}{546} = 0.4 \text{ kN/cm}^2 \leq \tau_{em} = 15.5 \text{ kN/cm}^2 \quad (\text{uygun}) \quad (4.25)$$

$\tau_{em}$  : St52 çeliği için kayma emniyet gerilmesi



**Tablo 4.2:** HT 595X600 takviyeli yapma profil kesit özellikleri

| h (cm)                            | b (cm)                            | t <sub>w</sub> (cm) | t <sub>f</sub> (cm) | h <sub>i</sub> (cm)               | A (cm <sup>2</sup> )              |                                    |
|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------|---------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| 60                                | 59.5                              | 13                  | 6                   | 48                                | 1290                              |                                    |
| I <sub>y</sub> (cm <sup>4</sup> ) | I <sub>x</sub> (cm <sup>4</sup> ) | i <sub>x</sub> (cm) | i <sub>y</sub> (cm) | W <sub>x</sub> (cm <sup>3</sup> ) | W <sub>y</sub> (cm <sup>3</sup> ) | W <sub>px</sub> (cm <sup>3</sup> ) |
| 211593                            | 618120                            | 21.88               | 12.8                | 20604                             | 7112.37                           | 34858.8                            |

Gövde kontrolü:

$$h/t_w \leq \frac{950}{\sqrt{\sigma_a(1.2 + \sigma_a)}} \rightarrow \frac{60}{5} = 12 \leq \frac{950}{\sqrt{3.6(1.2 + 3.6)}} = 228 \quad (\text{uygun})$$

Berkitmesiz başlıklar:

$$\frac{b}{t_f} \leq \frac{25}{\sqrt{\sigma_a}} \rightarrow \frac{59.5}{6} = 9.91 \leq \frac{25}{\sqrt{3.6}} = 13.1 \quad (\text{uygun})$$

Bilgisayar programında en elverişsiz kesit tesirleri D+L+W yüklemesinde okunmuştur.  $M_x=60210$  kNcm  $M_y=60150$  kNcm  $N=11480$  kN  $V=300$  kN

#### 4.1.2.1 Enkesit Kontrolü

$$\frac{b}{2t_f} \leq 0.3\sqrt{\frac{E_s}{\sigma_a}} \rightarrow \frac{59.5}{2 \times 6} = 4.95 \leq 0.3\sqrt{\frac{21000}{36}} = 7.25 \quad (\text{uygun})$$

$$\left| \frac{N_d}{Ax\sigma_a} \right| \leq \left| \frac{11480}{1290 \times 36} \right| = 0.24 \geq 0.1$$

$$h/t_w \leq 1.33\sqrt{E_s/\sigma_a} \left( 2.1 - \left| \frac{N_d}{Ax\sigma_a} \right| \right)$$

$$60/13 = 4.6 \leq 1.33\sqrt{21000/36} \left( 2.1 - \left| \frac{11480}{1290 \times 36} \right| \right) = 59.41 \quad \text{Kesit Kompakttır. } \checkmark$$

#### 4.1.2.2 Gerilme Kontrolü

Sistem diagonal elemanların varlığından dolayı ötelenmesi önlenmiş kabul edilmiştir.

X yönü için  $G$  değerleri:

$$G_A = \left( \frac{211593}{370} + \frac{216948}{450} \right) / \frac{67120}{610} \times 2 = 4.78$$

$$G_B = 2 \times \left( \frac{211593}{370} \right) / \left( \frac{67120}{610} \right) \times 2 = 5.19$$

$K \rightarrow 0.92$  okunmuştur.

$$S_x = 0.92 \times 370 = 340 \text{ cm}$$

Y yönü için  $G$  değerleri:

$$G_A = \left( \frac{618120}{370} + \frac{622512}{450} \right) / \frac{136700}{1365} \times 2 = 15.24$$

$$G_B = 2 \times \left( \frac{618120}{370} \right) / \left( \frac{136700}{1365} \right) \times 2 = 16.68$$

$K \rightarrow 0.96$  okunmuştur.

$$S_y = 0.96 \times 370 = 355 \text{ cm}$$

$$\lambda_x = \frac{S_x}{i_x} = \frac{340}{21.88} = 15.53 \text{ cm} \rightarrow \omega = 1.01$$

$$\lambda_y = \frac{S_y}{i_y} = \frac{355}{12.8} = 27.7 \text{ cm} \rightarrow \omega = 1.11$$

DBYBHY2007'e göre narinlik sınırı şu şekildedir [2].

$$\lambda_{\max} = \max(\lambda_x, \lambda_y) \leq 4\sqrt{E_s / \sigma_a} = 4\sqrt{21000 / 36} = 96.6$$

$$\lambda_{\max} = 27.7 \leq 96.6$$

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{2x\pi^2 xE}{\sigma_a}} = 107.3 \geq \lambda_{\max}$$

$$\lambda_{\max} = 27.7 \rightarrow \sigma_{bem} \text{ değeri tablodan okunmuştur [4].}$$

Depremden daha elverişsiz olan rüzgarlı durum için emniyet gerilmeleri %15 arttırılmıştır.

$$\sigma_{bem} \rightarrow 1.15\sigma_{bem}$$

$$1.15 \times \sigma_{bem} = 1.15 \times 19.4 = 22.3 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{eb} = \frac{N}{A} = \frac{11480}{1290} = 8.89 \text{ kN/cm}^2 \leq 22.3 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{bx} = \frac{M_x}{W_x} = \frac{60210}{20604} = 2.91 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{by} = \frac{M_y}{W_y} = \frac{60150}{7112.3} = 8.45 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma'_{ex} = 8290 / \lambda_x^2 = 8290 / 15.53^2 = 343.7 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma'_{ey} = 8290 / \lambda_y^2 = 8290 / 27.7^2 = 108 \text{ kN/cm}^2$$

Çubuk uçlarında herhangi bir ötelenme olmadığından;

$$C_m = 0.6 - 0.4x \frac{M_1}{M_2} \geq 0.4 \rightarrow C_m = 0.4 \text{ alınmıştır.}$$

$$I_{yb} = \frac{t_f x b^3}{12} = \frac{6x59.5^3}{12} = 105322 \text{cm}^4$$

Basınç başlığı alanı:

$$F_b = bxt_f + \frac{d}{3}xt_w = 59.5x6 + \frac{45}{3}x13 = 552 \text{cm}^2$$

$$i_{yb} = \sqrt{\frac{I_{yb}}{F_b}} = \sqrt{\frac{105322}{552}} = 13.81 \text{cm}$$

$$\lambda_{yb} = \frac{S_y}{i_{yb}} \leq \sqrt{\frac{3x10^7 x C_b}{\sigma_a}}$$

$$\lambda_{yb} = \frac{S_y}{i_{yb}} = \frac{355}{13.81} = 25.7 \text{cm}$$

$$C_b = 1.5$$

$$\sigma_{Bx} = \left[ \frac{2}{3} - \frac{\sigma_a x \lambda_{yb}^2}{9x10^7 x C_b} \right] \sigma_a = \left[ \frac{2}{3} - \frac{36x25.7^2}{9x10^7 x 1.5} \right] 36 = 23.99 \text{kN/cm}^2 > 0.6x\sigma_a$$

$$\sigma_{Bx} = \left[ \frac{84x10^4 x C_b}{Sx \frac{d}{F_b}} \right] = \left[ \frac{84x10^4 x 1.5}{355x \frac{600}{552}} \right] = 32.6 \text{kN/cm}^2 > 0.6x\sigma_a$$

$$\sigma_{Bx} = \max \sigma_{Bx} = 32.6 \text{kN/cm}^2 > 0.6x\sigma_a = 21.6 \text{kN/cm}^2$$

$$\sigma_{Bx} = \sigma_{By} = 21.6 \text{kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} + \frac{C_{mx} x \sigma_{bx}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma'_{ex}}\right) x \sigma_{Bx}} + \frac{C_{my} x \sigma_{by}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma'_{ey}}\right) x \sigma_{By}}$$

$$= \frac{8.89}{22.3} + \frac{0.4x2.91}{\left(1 - \frac{8.89}{343.7}\right) x 21.6} + \frac{0.4x8.45}{\left(1 - \frac{8.89}{108}\right) x 21.6}$$

$$= 0.39 + 0.055 + 0.17 = 0.61 \leq 1$$

(uygun)

$$\frac{\sigma_{eb}}{0.6x\sigma_{ba}} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} + \frac{\sigma_{by}}{\sigma_{By}} \leq 1$$

$$= \frac{8.89}{21.6} + \frac{2.91}{21.6} + \frac{8.45}{21.6} = 0.41 + 0.13 + 0.39 = 0.99 \leq 1 \quad (\text{uygun})$$

#### 4.1.2.3 Kesme Güvenliği Kontrolü

$$F_g = h_i x t_w = 42 \times 13 = 546 \text{ cm}^2$$

$$\tau = \frac{V}{F_g} = \frac{300}{546} = 0.55 \text{ kN/cm}^2 \leq \tau_{em} = 15.5 \text{ kN/cm}^2 \quad (\text{uygun})$$

$\tau_{em}$  : St52 çeliği için kayma emniyet gerilmesi

#### 4.1.2.4 Arttırılmış Deprem Yükleri Kontrolü

DBYBHY2007'e göre gerekli durumlarda kullanılmak üzere yapı elemanlarının iç kuvvet kapasiteleri kontrol edilecektir [2].

En elverişsiz yükleme D+L±2E arttırılmış yükleme kombinasyonunda oluşmaktadır.

Eksenel basınç kapasitesi;

$$N_{bp} = 1.7 x \sigma_{bem} x A = 1.7 x 22.3 x 1290 = 48904 \text{ kN} > N_{D+L\pm 2E} = 34000 \text{ kN} \quad (\text{uygun})$$

Eksenel çekme kapasitesi;

$$N_{qp} = \sigma_a x A_n = 36 x 1290 = 46440 \text{ kN} > N_{D+L\pm 2E} = 34000 \text{ kN} \quad (\text{uygun})$$

Eğilme momenti kapasitesi;

$$M_p = \sigma_a x W_p = 36 x 34858 = 1254888 \text{ kNcm} > M_{D+L\pm 2E} = 99540 \text{ kNcm} \quad (\text{uygun})$$

Kesme kuvveti kapasitesi;

$$V_p = 0.6 x \sigma_a x A_k = 0.6 x 36 x 42 x 13 = 11793 \text{ kN} > V_{D+L\pm 2E} = 430 \text{ kN} \quad (\text{uygun})$$

#### 4.1.3 1.-10. Kat Çevre Kolonları

Bulunduğu akslar: A-1,...8, B-1, B-2, B-8, C-1, C-2, C-8, D-1,...8

Kesit: H 595X600 Yapma Profil

Seçilen kesite ait özellikler tabloda belirtilmiştir.

Yönetmelik uyarınca yapma dolu gödeli kirişe ait gerekli kontroller aşağıdaki gibidir [10].  $\sigma_a$ (Basınç başlığı malzeme akma sınırı)=36 kN/cm<sup>2</sup>

Gövde kontrolü:

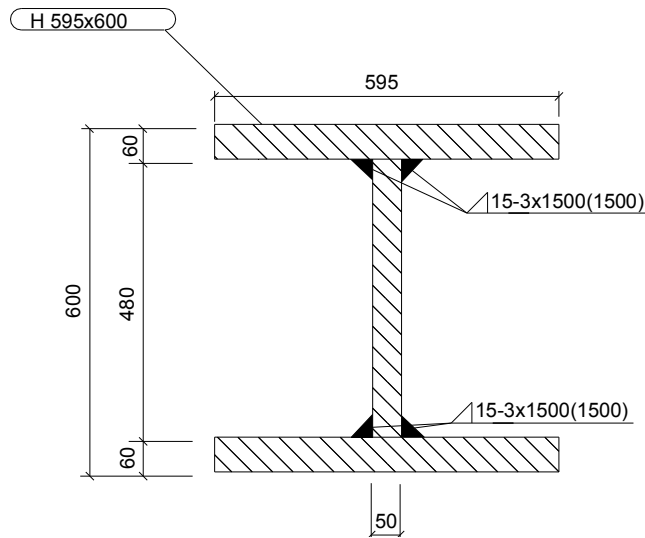
$$h/t_w \leq \frac{950}{\sqrt{\sigma_a(1.2 + \sigma_a)}} \rightarrow \frac{60}{5} = 12 \leq \frac{950}{\sqrt{3.6(1.2 + 3.6)}} = 228 \quad (\text{uygun})$$

**Tablo 4.3:** H 595X600 yapma profil kesit özellikleri

| h (cm)                            | b (cm)                            | t <sub>w</sub> (cm) | t <sub>f</sub> (cm) | h <sub>i</sub> (cm)               | A (cm <sup>2</sup> )              |                                    |
|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------|---------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| 60                                | 59.5                              | 5                   | 6                   | 48                                | 954                               |                                    |
| I <sub>y</sub> (cm <sup>4</sup> ) | I <sub>x</sub> (cm <sup>4</sup> ) | i <sub>x</sub> (cm) | i <sub>y</sub> (cm) | W <sub>x</sub> (cm <sup>3</sup> ) | W <sub>y</sub> (cm <sup>3</sup> ) | W <sub>px</sub> (cm <sup>3</sup> ) |
| 211144                            | 568728                            | 24.41               | 14.87               | 18957.6                           | 7097.3                            | 22158                              |

Berkitmesiz başlıklar:

$$\frac{b}{t_f} \leq \frac{25}{\sqrt{\sigma_a}} \rightarrow \frac{59.5}{6} = 9.91 \leq \frac{25}{\sqrt{3.6}} = 13.1 \quad (\text{uygun})$$



**Şekil 4.3:** H 595X600 Kesiti

Bilgisayar programında en elverişsiz kesit tesirleri D+L+W yüklemesinde okunmuştur.  $M_x= 50100$  kNcm  $M_y= 50040$  kNcm  $N= 10000$  kN  $V=280$  kN

#### 4.1.3.1 Enkesit Kontrolü

$$\frac{b}{2t_f} \leq 0.3 \sqrt{\frac{E_s}{\sigma_a}} \rightarrow \frac{59.5}{2 \times 6} = 4.95 \leq 0.3 \sqrt{\frac{21000}{36}} = 7.25 \quad (\text{uygun})$$

$$\left| \frac{N_d}{Ax\sigma_a} \right| \leq \left| \frac{11480}{954 \times 36} \right| = 0.33 \geq 0.1$$

$$h/t_w \leq 1.33\sqrt{E_s/\sigma_a} \left( 2.1 - \left| \frac{N_d}{Ax\sigma_a} \right| \right)$$

$$60/5 = 12 \leq 1.33\sqrt{21000/36} \left( 2.1 - \left| \frac{11480}{954 \times 36} \right| \right) = 56.51 \quad \text{Kesit Kompakttır. } \checkmark$$

#### 4.1.3.2 Gerilme Kontrolü

Sistem diagonal elemanların varlığından dolayı ötelenmesi önlenmiş kabul edilmiştir.

X yönü için  $G$  değerleri:

Temele rijit bağlı kolonlar için  $G_A=0$  alınır.

$$G_B = \left( \frac{211144}{370} + \frac{211144}{450} \right) / \frac{67120}{610} \times 2 = 4.72$$

$K \rightarrow 0.73$  okunmuştur.

$$S_x = 0.73 \times 450 = 328.5 \text{ cm}$$

Y yönü için  $G$  değerleri:

$$G_B = \left( \frac{568728}{370} + \frac{568728}{450} \right) / \frac{136700}{1365} \times 2 = 13.98$$

$K \rightarrow 0.76$  okunmuştur.

$$S_y = 0.76 \times 450 = 342 \text{ cm}$$

$$\lambda_x = \frac{S_x}{i_x} = \frac{328.5}{24.41} = 13.45 \text{ cm} \rightarrow \omega = 1$$

$$\lambda_y = \frac{S_y}{i_y} = \frac{342}{14.87} = 22.9 \text{ cm} \rightarrow \omega = 1.08$$

DBYBHY2007'e göre narinlik sınırı şu şekildedir [2].

$$\lambda_{\max} = \max(\lambda_x, \lambda_y) \leq 4\sqrt{E_s/\sigma_a} = 4\sqrt{21000/36} = 96.6$$

$$\lambda_{\max} = 22.9 \leq 96.6$$

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{2x\pi^2xE}{\sigma_a}} = 107.3 \geq \lambda_{\max}$$

$$\lambda_{\max} = 22.9 \rightarrow \sigma_{bem} \text{ değeri tablodan okunmuştur [4].}$$

Depremden daha elverişsiz olan rüzgarlı durum için emniyet gerilmeleri %15 arttırılmıştır.

$$\sigma_{bem} \rightarrow 1.15\sigma_{bem}$$

$$1.15\sigma_{bem} = 1.15 \times 20 = 23 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{eb} = \frac{N}{A} = \frac{10000}{954} = 10.48 \text{ kN/cm}^2 \leq 23 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{bx} = \frac{M_x}{W_x} = \frac{50100}{18957} = 2.64 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{by} = \frac{M_y}{W_y} = \frac{50040}{7097} = 7 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma'_{ex} = 8290 / \lambda_x^2 = 8290 / 13.45^2 = 458.2 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma'_{ey} = 8290 / \lambda_y^2 = 8290 / 22.9^2 = 156.8 \text{ kN/cm}^2$$

Çubuk uçlarında herhangi bir ötelenme olmadığından;

$$C_m = 0.6 - 0.4x \frac{M_1}{M_2} \geq 0.4 \rightarrow C_m = 0.4 \text{ alınmıştır.}$$

$$I_{yb} = \frac{t_f x b^3}{12} = \frac{6 \times 59.5^3}{12} = 105322 \text{ cm}^4$$

Basınç başlığı alanı:

$$F_b = b x t_f + \frac{d}{3} x t_w = 59.5 \times 6 + \frac{45}{3} \times 5 = 432 \text{ cm}^2$$

$$i_{yb} = \sqrt{\frac{I_{yb}}{F_b}} = \sqrt{\frac{105322}{432}} = 15.61 \text{ cm}$$

$$\lambda_{yb} = \frac{S_y}{i_{yb}} \leq \sqrt{\frac{3 \times 10^7 \times C_b}{\sigma_a}}$$

$$\lambda_{yb} = \frac{S_y}{i_{yb}} = \frac{342}{15.61} = 21.9 \text{ cm}$$

$$C_b = 1.5$$

$$\sigma_{Bx} = \left[ \frac{2}{3} - \frac{\sigma_a \times \lambda_{yb}^2}{9 \times 10^7 \times C_b} \right] \sigma_a = \left[ \frac{2}{3} - \frac{36 \times 21.9^2}{9 \times 10^7 \times 1.5} \right] 36 = 23.99 \text{ kN/cm}^2 > 0.6 \times \sigma_a$$

$$\sigma_{Bx} = \left[ \frac{84 \times 10^4 \times C_b}{S \times \frac{d}{F_b}} \right] = \left[ \frac{84 \times 10^4 \times 1.5}{342 \times \frac{600}{432}} \right] = 26.5 \text{ kN/cm}^2 > 0.6 \times \sigma_a$$

$$\sigma_{Bx} = \max \sigma_{Bx} = 26.5 \text{ kN/cm}^2 > 0.6 \sigma_a = 21.6 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{Bx} = \sigma_{By} = 21.6 \text{ kN/cm}^2$$

$$\begin{aligned} & \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} + \frac{C_{mx} \cdot x \sigma_{bx}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma'_{ex}}\right) x \sigma_{Bx}} + \frac{C_{my} \cdot x \sigma_{by}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma'_{ey}}\right) x \sigma_{By}} \\ &= \frac{10.48}{23} + \frac{0.4 \times 2.64}{\left(1 - \frac{10.48}{458.2}\right) \times 21.6} + \frac{0.4 \times 7}{\left(1 - \frac{10.48}{156.8}\right) \times 21.6} \\ &= 0.45 + 0.05 + 0.13 = 0.63 \leq 1 \end{aligned} \quad (\text{uygun})$$

$$\begin{aligned} & \frac{\sigma_{eb}}{0.6 \sigma_{ba}} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} + \frac{\sigma_{by}}{\sigma_{By}} \leq 1 \\ &= \frac{10.48}{21.6} + \frac{2.64}{21.6} + \frac{7}{21.6} = 0.48 + 0.12 + 0.32 = 0.92 \leq 1 \end{aligned} \quad (\text{uygun})$$

#### 4.1.3.3 Kesme Güvenliği Kontrolü

$$F_g = h_i x t_w = 48 \times 5 = 240 \text{ cm}^2$$

$$\tau = \frac{V}{F_g} = \frac{280}{240} = 1.16 \text{ kN/cm}^2 \leq \tau_{em} = 15.5 \text{ kN/cm}^2 \quad (\text{uygun})$$

$\tau_{em}$  : St52 çeliği için kayma emniyet gerilmesi

#### 4.1.3.4 Arttırılmış Deprem Yükleri Kontrolü

DBYBHY2007'e göre gerekli durumlarda kullanılmak üzere yapı elemanlarının iç kuvvet kapasiteleri kontrol edilecektir [2].

En elverişsiz yükleme D+L±2E arttırılmış yükleme kombinasyonunda oluşmaktadır.

Eksenel basınç kapasitesi;

$$N_{bp} = 1.7 \sigma_{bem} A = 1.7 \times 23 \times 954 = 37301 \text{ kN} > N_{D+L\pm 2E} = 32000 \text{ kN} \quad (\text{uygun})$$

Eksenel çekme kapasitesi;

$$N_{cp} = \sigma_a A_n = 36 \times 954 = 34344 \text{ kN} > N_{D+L\pm 2E} = 34000 \text{ kN} \quad (\text{uygun})$$

Eğilme momenti kapasitesi;

$$M_p = \sigma_a W_p = 36 \times 22158 = 797688 \text{ kNcm} > M_{D+L\pm 2E} = 89540 \text{ kNcm} \quad (\text{uygun})$$

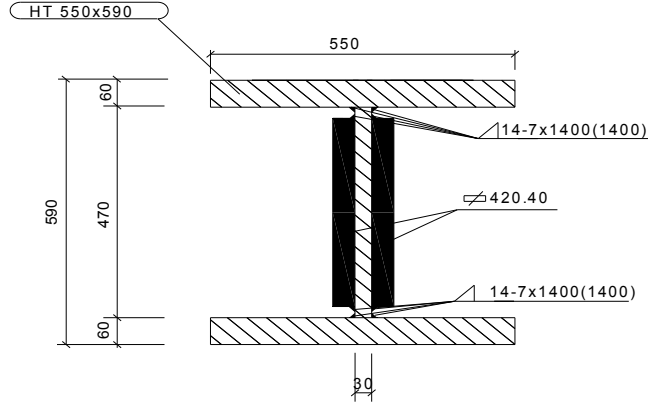
Kesme kuvveti kapasitesi;

$$V_p = 0.6x\sigma_a x A_k = 0.6x36x48x5 = 5184\text{kN} > V_{D+L\pm 2E} = 330\text{kN} \quad (\text{uygun})$$

#### 4.1.4 11.-20. Kat Çekirdek Kolonları

Bulunduğu akslar: B-3, B-4, B-5, B-6, B-7, C-3, C-4, C-5, C-6, C-7

Kesit: HT 550X590 Takviyeli Yapma Profil



Şekil 4.4: HT 550X590 Kesiti

Seçilen kesite ait özellikler tabloda belirtilmiştir.

Tablo 4.4: HT 550X590 takviyeli yapma profil kesit özellikleri

| h (cm)                            | b (cm)                            | t <sub>w</sub> (cm) | t <sub>f</sub> (cm) | h <sub>i</sub> (cm)               |                                   | A (cm <sup>2</sup> )               |
|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------|---------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| 59                                | 55                                | 11                  | 6                   | 47                                |                                   | 1137                               |
| I <sub>y</sub> (cm <sup>4</sup> ) | I <sub>x</sub> (cm <sup>4</sup> ) | i <sub>x</sub> (cm) | i <sub>y</sub> (cm) | W <sub>x</sub> (cm <sup>3</sup> ) | W <sub>y</sub> (cm <sup>3</sup> ) | W <sub>px</sub> (cm <sup>3</sup> ) |
| 166928                            | 540813                            | 21.8                | 12.11               | 18332.6                           | 6070.1                            | 31846.8                            |

Yönetmelik uyarınca yapma dolu gödeli kirişe ait gerekli kontroller aşağıdaki gibidir [10].  $\sigma_a$ (Basınç başlığı malzeme akma sınırı)=36 kN/cm<sup>2</sup>

Gövde kontrolü:

$$h/t_w \leq \frac{950}{\sqrt{\sigma_a(1.2 + \sigma_a)}} \rightarrow \frac{59}{3} = 19.6 \leq \frac{950}{\sqrt{3.6(1.2 + 3.6)}} = 228 \quad (\text{uygun})$$

Berkitmesiz başlıklar:

$$\frac{b}{t_f} \leq \frac{25}{\sqrt{\sigma_a}} \rightarrow \frac{55}{6} = 9.16 \leq \frac{25}{\sqrt{3.6}} = 13.1 \quad (\text{uygun})$$

Bilgisayar programında en elverişsiz kesit tesirleri D+L+W yüklemesinde okunmuştur.  $M_x = 51580$  kNcm  $M_y = 62300$  kNcm  $N = 7470$  kN  $V = 350$  kN

#### 4.1.4.1 Enkesit Kontrolü

$$\frac{b}{2t_f} \leq 0.3 \sqrt{\frac{E_s}{\sigma_a}} \rightarrow \frac{55}{2 \times 6} = 4.58 \leq 0.3 \sqrt{\frac{21000}{36}} = 7.25 \quad (\text{uygun})$$

$$\left| \frac{N_d}{Ax\sigma_a} \right| \leq \left| \frac{7470}{1137 \times 36} \right| = 0.18 \geq 0.1$$

$$h/t_w \leq 1.33 \sqrt{E_s / \sigma_a} \left( 2.1 - \left| \frac{N_d}{Ax\sigma_a} \right| \right)$$

$$59/11 = 5.3 \leq 1.33 \sqrt{21000/36} \left( 2.1 - \left| \frac{7470}{1137 \times 36} \right| \right) = 61.5 \quad \text{Kesit Kompakttır. } \checkmark$$

#### 4.1.4.2 Gerilme Kontrolü

Sistem diagonal elemanların varlığından dolayı ötelenmesi önlenmiş kabul edilmiştir.

X yönü için  $G$  değerleri:

$$G_A = \left( \frac{211593}{370} + \frac{166928}{370} \right) / \frac{67120}{610} \times 2 = 4.64$$

$$G_B = 2x \left( \frac{166928}{370} \right) / \left( \frac{67120}{610} \right) \times 2 = 4.1$$

$K \rightarrow 0.91$  okunmuştur.

$$S_x = 0.91 \times 370 = 337 \text{ cm}$$

Y yönü için  $G$  değerleri:

$$G_A = \left( \frac{540813}{370} + \frac{618120}{370} \right) / \frac{136700}{1365} \times 2 = 15.63$$

$$G_B = 2x \left( \frac{540813}{370} \right) / \left( \frac{136700}{1365} \right) \times 2 = 14.59$$

$K \rightarrow 0.96$  okunmuştur.

$$S_y = 0.96 \times 370 = 355 \text{ cm}$$

$$\lambda_x = \frac{S_x}{i_x} = \frac{337}{21.8} = 15.45 \text{ cm} \rightarrow \omega = 1.01$$

$$\lambda_y = \frac{S_y}{i_y} = \frac{355}{12.11} = 29.31 \text{ cm} \rightarrow \omega = 1.13$$

DBYBHY2007'e göre narinlik sınırı şu şekildedir [2].

$$\lambda_{\max} = \max(\lambda_x, \lambda_y) \leq 4 \sqrt{E_s / \sigma_a} = 4 \sqrt{21000/36} = 96.6$$

$$\lambda_{\max} = 29.3 \leq 96.6$$

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{2x\pi^2 xE}{\sigma_a}} = 107.3 \geq \lambda_{\max}$$

$$\lambda_{\max} = 29.3 \rightarrow \sigma_{bem} \text{ değeri tablodan okunmuştur [4].}$$

Depremden daha elverişsiz olan rüzgarlı durum için emniyet gerilmeleri %15 arttırılmıştır.

$$\sigma_{bem} \rightarrow 1.15\sigma_{bem}$$

$$1.15x\sigma_{bem} = 1.15x19 = 21.8\text{kN/cm}^2$$

$$\sigma_{eb} = \frac{N}{A} = \frac{7470}{1137} = 6.56\text{kN/cm}^2 \leq 21.8\text{kN/cm}^2$$

$$\sigma_{bx} = \frac{M_x}{W_x} = \frac{51580}{18332.6} = 2.81\text{kN/cm}^2$$

$$\sigma_{by} = \frac{M_y}{W_y} = \frac{62300}{6070} = 10.26\text{kN/cm}^2$$

$$\sigma'_{ex} = 8290/\lambda_x^2 = 8290/15.45^2 = 347.2\text{kN/cm}^2$$

$$\sigma'_{ey} = 8290/\lambda_y^2 = 8290/29.31^2 = 96.4\text{kN/cm}^2$$

Çubuk uçlarında herhangi bir ötelenme olmadığından;

$$C_m = 0.6 - 0.4x\frac{M_1}{M_2} \geq 0.4 \rightarrow C_m = 0.4 \text{ alınmıştır.}$$

$$I_{yb} = \frac{t_f x b^3}{12} = \frac{6x55^3}{12} = 83187\text{cm}^4$$

Basınç başlığı alanı:

$$F_b = bxt_f + \frac{d}{3}xt_w = 55x6 + \frac{45}{3}x11 = 495\text{cm}^2$$

$$i_{yb} = \sqrt{\frac{I_{yb}}{F_b}} = \sqrt{\frac{83187}{495}} = 12.96\text{cm}$$

$$\lambda_{yb} = \frac{S_y}{i_{yb}} \leq \sqrt{\frac{3x10^7 x C_b}{\sigma_a}}$$

$$\lambda_{yb} = \frac{S_y}{i_{yb}} = \frac{355}{12.96} = 27.39\text{cm}$$

$$C_b = 1.5$$

$$\sigma_{Bx} = \left[ \frac{2}{3} - \frac{\sigma_a x \lambda_{yb}^2}{9x10^7 x C_b} \right] \sigma_a = \left[ \frac{2}{3} - \frac{36x27.39^2}{9x10^7 x 1.5} \right] 36 = 23.99 \text{ kN/cm}^2 > 0.6x\sigma_a$$

$$\sigma_{Bx} = \left[ \frac{84x10^4 x C_b}{Sx \frac{d}{F_b}} \right] = \left[ \frac{84x10^4 x 1.5}{355x \frac{590}{495}} \right] = 29.7 \text{ kN/cm}^2 > 0.6x\sigma_a$$

$$\sigma_{Bx} = \max \sigma_{Bx} = 29.7 \text{ kN/cm}^2 > 0.6x\sigma_a = 21.6 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{Bx} = \sigma_{By} = 21.6 \text{ kN/cm}^2$$

$$\begin{aligned} & \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} + \frac{C_{mx} x \sigma_{bx}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma'_{ex}}\right) x \sigma_{Bx}} + \frac{C_{my} x \sigma_{by}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma'_{ey}}\right) x \sigma_{By}} \\ &= \frac{6.56}{21.8} + \frac{0.4x2.81}{\left(1 - \frac{6.56}{347.2}\right) x 21.6} + \frac{0.4x10.26}{\left(1 - \frac{6.56}{96.8}\right) x 21.6} \\ &= 0.3 + 0.08 + 0.2 = 0.58 \leq 1 \end{aligned} \quad (\text{uygun})$$

$$\begin{aligned} & \frac{\sigma_{eb}}{0.6x\sigma_{ba}} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} + \frac{\sigma_{by}}{\sigma_{By}} \leq 1 \\ &= \frac{6.56}{21.6} + \frac{2.81}{21.6} + \frac{10.26}{21.6} = 0.3 + 0.13 + 0.47 = 0.9 \leq 1 \end{aligned} \quad (\text{uygun})$$

#### 4.1.4.3 Kesme Güvenliği Kontrolü

$$F_g = h_i x t_w = 42x11 = 462 \text{ cm}^2$$

$$\tau = \frac{V}{F_g} = \frac{350}{462} = 0.75 \text{ kN/cm}^2 \leq \tau_{em} = 15.5 \text{ kN/cm}^2 \quad (\text{uygun})$$

$\tau_{em}$  : St52 çeliği için kayma emniyet gerilmesi

#### 4.1.4.4 Arttırılmış Deprem Yükleri Kontrolü

DBYBHY2007'e göre gerekli durumlarda kullanılmak üzere yapı elemanlarının iç kuvvet kapasiteleri kontrol edilecektir [2].

En elverişsiz yükleme D+L±2E arttırılmış yükleme kombinasyonunda oluşmaktadır.

Eksenel basınç kapasitesi;

$$N_{bp} = 1.7x\sigma_{bem} x A = 1.7x21.8x1137 = 42137 \text{ kN} > N_{D+L\pm 2E} = 16770 \text{ kN} \quad (\text{uygun})$$

Eksenel çekme kapasitesi;

$$N_{cp} = \sigma_a x A_n = 36 x 1137 = 40932 \text{ kN} > N_{D+L \pm 2E} = 16770 \text{ kN} \quad (\text{uygun})$$

Eğilme momenti kapasitesi;

$$M_p = \sigma_a x W_p = 36 x 31846 = 1146456 \text{ kNcm} > M_{D+L \pm 2E} = 76780 \text{ kNcm} \quad (\text{uygun})$$

Kesme kuvveti kapasitesi;

$$V_p = 0.6 x \sigma_a x A_k = 0.6 x 36 x 42 x 11 = 9979 \text{ kN} > V_{D+L \pm 2E} = 420 \text{ kN} \quad (\text{uygun})$$

#### 4.1.4.5 HD 400X818 Hadde Profili Gerilme Kontrolü

Yapıda yukarıda kontrolleri yapılan HT 550X590 takviyeli yapma profile karşı kompaktlık tahkiklerini sağlayan ve yapı analizinde deplasman sınırlarının aşılmasına sebep olmayan HD 400X818 hadde profili kullanılırsa gerilme kontrolleri aşağıdaki gibi yapılır.

Sistem diagonal elemanların varlığından dolayı ötelenmesi önlenmiş kabul edilmiştir.

X yönü için  $G$  değerleri:

$$G_A = \left( \frac{211593}{370} + \frac{392200}{370} \right) / 2 x \frac{67120}{610} = 7.41$$

$$G_B = 2 x \left( \frac{392200}{370} \right) / 2 x \left( \frac{67120}{610} \right) = 9.63$$

$K \rightarrow 0.93$  okunmuştur.

$$S_x = 0.93 x 370 = 344 \text{ cm}$$

Y yönü için  $G$  değerleri:

$$G_A = \left( \frac{618120}{370} + \frac{135500}{370} \right) / 2 x \frac{136700}{1365} = 10.16$$

$$G_B = 2 x \frac{135500}{370} / 2 x \frac{136700}{1365} = 3.65$$

$K \rightarrow 0.92$  okunmuştur.

$$S_y = 0.92 x 370 = 340 \text{ cm}$$

$$\lambda_x = \frac{S_x}{i_x} = \frac{344}{19.39} = 17.74 \text{ cm} \rightarrow \omega = 1.03$$

$$\lambda_y = \frac{S_y}{i_y} = \frac{340}{11.4} = 29.8 \text{ cm} \rightarrow \omega = 1.14$$

DBYBHY2007'e göre narinlik sınırı şu şekildedir [2].

$$\lambda_{\max} = \max(\lambda_x, \lambda_y) \leq 4\sqrt{E_s / \sigma_a} = 4\sqrt{21000 / 36} = 96.6$$

$$\lambda_{\max} = 29.8 \leq 96.6$$

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{2x\pi^2 xE}{\sigma_a}} = 107.3 \geq \lambda_{\max}$$

$$\lambda_{\max} = 29.8 \rightarrow \sigma_{bem} \text{ değeri tablodan okunmuştur [4].}$$

Depremden daha elverişsiz olan rüzgarlı durum için emniyet gerilmeleri %15 arttırılmıştır.

$$\sigma_{bem} \rightarrow 1.15\sigma_{bem}$$

$$1.15x\sigma_{bem} = 1.15x18.9 = 21.7\text{kN/cm}^2$$

$$\sigma_{eb} = \frac{N}{A} = \frac{7470}{1043} = 7.16\text{kN/cm}^2 \leq 21.7\text{kN/cm}^2$$

$$\sigma_{bx} = \frac{M_x}{W_x} = \frac{51580}{15260} = 3.38\text{kN/cm}^2$$

$$\sigma_{by} = \frac{M_y}{W_y} = \frac{62300}{6203} = 10\text{kN/cm}^2$$

$$\sigma'_{ex} = 8290 / \lambda_x^2 = 8290 / 17.74^2 = 263.4\text{kN/cm}^2$$

$$\sigma'_{ey} = 8290 / \lambda_y^2 = 8290 / 29.8^2 = 93.3\text{kN/cm}^2$$

Çubuk uçlarında herhangi bir ötelenme olmadığından;

$$C_m = 0.6 - 0.4x \frac{M_1}{M_2} \geq 0.4 \rightarrow C_m = 0.4 \text{ alınmıştır.}$$

$$I_{yb} = \frac{t_f x b^3}{12} = \frac{9.7x43.7^3}{12} = 67458\text{cm}^4$$

Basınç başlığı alanı:

$$F_b = bxt_f + \frac{d}{3}xt_w = 43.7x9.7 + \frac{29}{3}x6.05 = 482\text{cm}^2$$

$$i_{yb} = \sqrt{\frac{I_{yb}}{F_b}} = \sqrt{\frac{67458}{482}} = 11.8\text{cm}$$

$$\lambda_{yb} = \frac{S_y}{i_{yb}} \leq \sqrt{\frac{3x10^7 x C_b}{\sigma_a}}$$

$$\lambda_{yb} = \frac{S_x}{i_{yb}} = \frac{344}{11.8} = 29.15$$

$$C_b = 1.5$$

$$\sigma_{Bx} = \left[ \frac{2}{3} - \frac{\sigma_a x \lambda_{yb}^2}{9 \times 10^7 x C_b} \right] \sigma_a = \left[ \frac{2}{3} - \frac{36 \times 29.15^2}{9 \times 10^7 \times 1.5} \right] 36 = 23.98 \text{ kN/cm}^2 \geq 0.6 \sigma_a$$

$$\sigma_{Bx} = \left[ \frac{84 \times 10^4 x C_b}{S_x \frac{d}{F_b}} \right] = \left[ \frac{84 \times 10^4 \times 1.5}{344 \times \frac{290}{482}} \right] = 60 \text{ kN/cm}^2 \geq 0.6 \sigma_a$$

$$\sigma_{Bx} = \max \sigma_{Bx} = 23.98 \text{ kN/cm}^2 > 0.6 \sigma_a = 21.6 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{Bx} = \sigma_{By} = 21.6 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} + \frac{C_{mx} x \sigma_{bx}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{ex}}\right) x \sigma_{Bx}} + \frac{C_{my} x \sigma_{by}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{ey}}\right) x \sigma_{By}}$$

$$= \frac{7.16}{21.7} + \frac{0.4 \times 3.38}{\left(1 - \frac{7.16}{263.4}\right) \times 21.6} + \frac{0.4 \times 10}{\left(1 - \frac{7.16}{93.3}\right) \times 21.6}$$

$$= 0.32 + 0.06 + 0.2 = 0.58 \leq 1 \quad (\text{uygun})$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{0.6 \sigma_{ba}} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} + \frac{\sigma_{by}}{\sigma_{By}} \leq 1$$

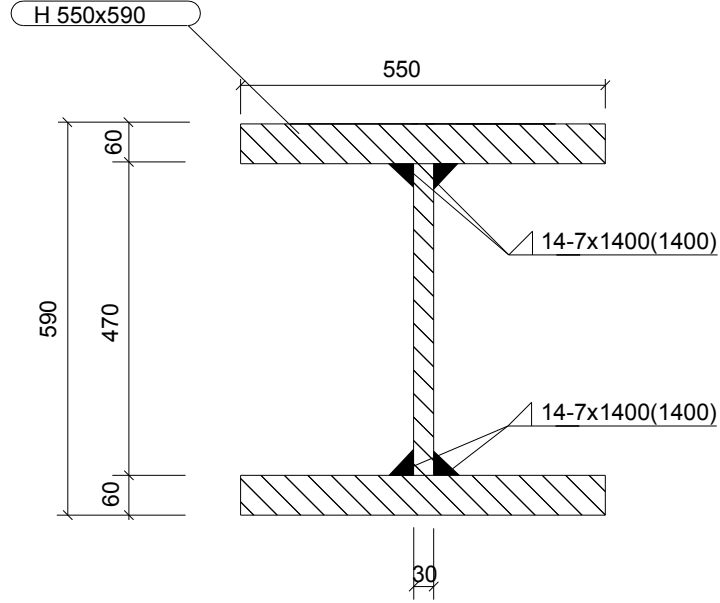
$$= \frac{7.16}{21.6} + \frac{3.38}{21.6} + \frac{10}{21.6} = 0.33 + 0.15 + 0.46 = 0.95 \leq 1 \quad (\text{uygun})$$

11.-20. kat çekirdek kolonları için seçilen takviyeli yapma profillere alternatif olarak kolonlar için hadde profillerin de kullanılabileceği yukarıda yapılan hesaplarda görülmektedir. Ele alınan yapıda birleşim bölgelerinde bulon montajı ve kaynak işlemleri sırasında başlık kalınlığı fazla olan hadde profillerin problem oluşturması ve kullanılan maksimum levha kalınlık değerinin 6 cm olması dolayısıyla kolonlarda hadde profil uygulamasından kaçınılmıştır. Bu nedenle kolonlarda başlık kalınlığı için maksimum levha kalınlığı olan 6 cm, enkesit yüksekliği için ise DBYBHY2007'nce rijit kolon-kiriş birleşimlerinde öngörülen maksimum kolon enkesit yüksekliği olan 60 cm değeri gözetilmiş ve yapma profil teşkili yapılmıştır.

#### 4.1.5 11.-20. Kat Çevre Kolonları

Bulunduğu akslar: A-1,...8, B-1, B-2, B-8, C-1, C-2, C-8, D-1,...8

Kesit: H 550X590 Yapma Profil



**Şekil 4.5:** H 550X590 Kesiti

Seçilen kesite ait özellikler tabloda belirtilmiştir.

**Tablo 4.5:** H 550X590 yapma profil kesit özellikleri

| h (cm)                            | b (cm)                            | t <sub>w</sub> (cm) | t <sub>f</sub> (cm) | h <sub>i</sub> (cm)               | A (cm <sup>2</sup> )              |                                    |
|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------|---------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| 59                                | 55                                | 3                   | 6                   | 47                                | 801                               |                                    |
| I <sub>y</sub> (cm <sup>4</sup> ) | I <sub>x</sub> (cm <sup>4</sup> ) | i <sub>x</sub> (cm) | i <sub>y</sub> (cm) | W <sub>x</sub> (cm <sup>3</sup> ) | W <sub>y</sub> (cm <sup>3</sup> ) | W <sub>px</sub> (cm <sup>3</sup> ) |
| 166480                            | 491421                            | 24.76               | 14.41               | 16658.3                           | 6054                              | 19146                              |

Yönetmelik uyarınca yapma dolu gödeli kirişe ait gerekli kontroller aşağıdaki gibidir [10].  $\sigma_a$ (Basınç başlığı malzeme akma sınırı)=36 kN/cm<sup>2</sup>

Gövde kontrolü:

$$h/t_w \leq \frac{950}{\sqrt{\sigma_a(1.2 + \sigma_a)}} \rightarrow \frac{59}{3} = 19.6 \leq \frac{950}{\sqrt{3.6(1.2 + 3.6)}} = 228 \quad (\text{uygun})$$

Berkitmesiz başlıklar:

$$\frac{b}{t_f} \leq \frac{25}{\sqrt{\sigma_a}} \rightarrow \frac{55}{6} = 9.16 \leq \frac{25}{\sqrt{3.6}} = 13.1 \quad (\text{uygun})$$

Bilgisayar programında en elverişsiz kesit tesirleri D+L+W yüklemesinde okunmuştur.  $M_x=51000$  kNcm  $M_y=57200$  kNcm  $N=6970$  kN  $V=330$  kN

#### 4.1.5.1 Enkesit Kontrolü

$$\frac{b}{2t_f} \leq 0.3 \sqrt{\frac{E_s}{\sigma_a}} \rightarrow \frac{55}{2 \times 6} = 4.58 \leq 0.3 \sqrt{\frac{21000}{36}} = 7.25 \quad (\text{uygun})$$

$$\left| \frac{N_d}{Ax\sigma_a} \right| \leq \left| \frac{6970}{801 \times 36} \right| = 0.24 \geq 0.1$$

$$h/t_w \leq 1.33 \sqrt{E_s / \sigma_a} \left( 2.1 - \left| \frac{N_d}{Ax\sigma_a} \right| \right)$$

$$59/3 = 19.6 \leq 1.33 \sqrt{21000/36} \left( 2.1 - \left| \frac{6970}{801 \times 36} \right| \right) = 59.65 \quad \text{Kesit Kompakttır. } \checkmark$$

#### 4.1.5.2 Gerilme Kontrolü

Sistem diagonal elemanların varlığından dolayı ötelenmesi önlenmiş kabul edilmiştir.

X yönü için  $G$  değerleri:

$$G_A = \left( \frac{166480}{370} + \frac{211144}{370} \right) / \frac{67120}{610} \times 2 = 4.63$$

$$G_B = 2 \times \left( \frac{166480}{370} \right) / \left( \frac{67120}{610} \right) \times 2 = 4.08$$

$K \rightarrow 0.92$  okunmuştur.

$$S_x = 0.92 \times 370 = 340.5 \text{ cm}$$

Y yönü için  $G$  değerleri:

$$G_A = \left( \frac{491421}{370} + \frac{568728}{370} \right) / \frac{136700}{1365} \times 2 = 14.3$$

$$G_B = 2 \times \left( \frac{491421}{370} \right) / \left( \frac{136700}{1365} \right) \times 2 = 13.26$$

$K \rightarrow 0.96$  okunmuştur.

$$S_y = 0.96 \times 370 = 355.2 \text{ cm}$$

$$\lambda_x = \frac{S_x}{i_x} = \frac{340.5}{24.76} = 13.75 \text{ cm} \rightarrow \omega = 1$$

$$\lambda_y = \frac{S_y}{i_y} = \frac{355.2}{14.41} = 24.64 \text{ cm} \rightarrow \omega = 1.09$$

DBYBHY2007'e göre narinlik sınırı şu şekildedir [2].

$$\lambda_{\max} = \max(\lambda_x, \lambda_y) \leq 4 \sqrt{E_s / \sigma_a} = 4 \sqrt{21000 / 36} = 96.6$$

$$\lambda_{\max} = 24.64 \leq 96.6$$

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{2x\pi^2xE}{\sigma_a}} = 107.3 \geq \lambda_{\max}$$

$$\lambda_{\max} = 24.64 \rightarrow \sigma_{bem} \text{ değeri tablodan okunmuştur [4].}$$

Depremden daha elverişsiz olan rüzgarlı durum için emniyet gerilmeleri %15 arttırılmıştır.

$$\sigma_{bem} \rightarrow 1.15\sigma_{bem}$$

$$1.15x\sigma_{bem} = 1.15x19.8 = 22.7\text{kN/cm}^2$$

$$\sigma_{eb} = \frac{N}{A} = \frac{6970}{801} = 8.7\text{kN/cm}^2 \leq 22.7\text{kN/cm}^2$$

$$\sigma_{bx} = \frac{M_x}{W_x} = \frac{51000}{16658} = 3.06\text{kN/cm}^2$$

$$\sigma_{by} = \frac{M_y}{W_y} = \frac{57200}{6054} = 9.44\text{kN/cm}^2$$

$$\sigma'_{ex} = 8290/\lambda_x^2 = 8290/13.75^2 = 438.4\text{kN/cm}^2$$

$$\sigma'_{ey} = 8290/\lambda_y^2 = 8290/24.64^2 = 136.5\text{kN/cm}^2$$

Çubuk uçlarında herhangi bir ötelenme olmadığından;

$$C_m = 0.6 - 0.4x\frac{M_1}{M_2} \geq 0.4 \rightarrow C_m = 0.4 \text{ alınmıştır.}$$

$$I_{yb} = \frac{t_fxb^3}{12} = \frac{6x59^3}{12} = 102690\text{cm}^4$$

Basınç başlığı alanı:

$$F_b = bxt_f + \frac{d}{3}xt_w = 59x6 + \frac{45}{3}x3 = 399\text{cm}^2$$

$$i_{yb} = \sqrt{\frac{I_{yb}}{F_b}} = \sqrt{\frac{102690}{399}} = 16.04\text{cm}$$

$$\lambda_{yb} = \frac{S_y}{i_{yb}} \leq \sqrt{\frac{3x10^7xC_b}{\sigma_a}}$$

$$\lambda_{yb} = \frac{S_y}{i_{yb}} = \frac{355.2}{16.04} = 22.1\text{cm}$$

$$C_b = 1.5$$

$$\sigma_{Bx} = \left[ \frac{2}{3} - \frac{\sigma_a x \lambda_{yb}^2}{9x10^7 x C_b} \right] \sigma_a = \left[ \frac{2}{3} - \frac{36x22.1^2}{9x10^7 x 1.5} \right] 36 = 23.99 \text{ kN/cm}^2 > 0.6x\sigma_a$$

$$\sigma_{Bx} = \left[ \frac{84x10^4 x C_b}{Sx \frac{d}{F_b}} \right] = \left[ \frac{84x10^4 x 1.5}{355.2x \frac{590}{399}} \right] = 23.98 \text{ kN/cm}^2 > 0.6x\sigma_a$$

$$\sigma_{Bx} = \max \sigma_{Bx} = 23.98 \text{ kN/cm}^2 > 0.6x\sigma_a = 21.6 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{Bx} = \sigma_{By} = 21.6 \text{ kN/cm}^2$$

$$\begin{aligned} & \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} + \frac{C_{mx} x \sigma_{bx}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma'_{ex}}\right) x \sigma_{Bx}} + \frac{C_{my} x \sigma_{by}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma'_{ey}}\right) x \sigma_{By}} \\ &= \frac{8.7}{22.7} + \frac{0.4x3.06}{\left(1 - \frac{8.7}{438.4}\right) x 21.6} + \frac{0.4x9.44}{\left(1 - \frac{8.7}{136.5}\right) x 21.6} \\ &= 0.38 + 0.05 + 0.16 = 0.59 \leq 1 \end{aligned} \quad (\text{uygun})$$

$$\begin{aligned} & \frac{\sigma_{eb}}{0.6x\sigma_{ba}} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} + \frac{\sigma_{by}}{\sigma_{By}} \leq 1 \\ &= \frac{8.7}{21.6} + \frac{3.06}{21.6} + \frac{9.44}{21.6} = 0.4 + 0.14 + 0.43 = 0.97 \leq 1 \end{aligned} \quad (\text{uygun})$$

#### 4.1.5.3 Kesme Güvenliği Kontrolü

$$F_g = h_i x t_w = 47x3 = 141 \text{ cm}^2$$

$$\tau = \frac{V}{F_g} = \frac{330}{141} = 2.3 \text{ kN/cm}^2 \leq \tau_{em} = 15.5 \text{ kN/cm}^2 \quad (\text{uygun})$$

$\tau_{em}$  : St52 çeliği için kayma emniyet gerilmesi

#### 4.1.5.4 Arttırılmış Deprem Yükleri Kontrolü

DBYBHY2007'e göre gerekli durumlarda kullanılmak üzere yapı elemanlarının iç kuvvet kapasiteleri kontrol edilecektir [2].

En elverişsiz yükleme D+L±2E arttırılmış yükleme kombinasyonunda oluşmaktadır.

Eksenel basınç kapasitesi;

$$N_{bp} = 1.7x\sigma_{bem} x A = 1.7x22.7x801 = 30910 \text{ kN} > N_{D+L\pm 2E} = 25500 \text{ kN} \quad (\text{uygun})$$

Eksenel çekme kapasitesi;

$$N_{cp} = \sigma_a x A_n = 36 \times 801 = 28836 \text{ kN} > N_{D+L \pm 2E} = 25500 \text{ kN} \quad (\text{uygun})$$

Eğilme momenti kapasitesi;

$$M_p = \sigma_a x W_p = 36 \times 19146 = 689256 \text{ kNcm} > M_{D+L \pm 2E} = 59540 \text{ kNcm} \quad (\text{uygun})$$

Kesme kuvveti kapasitesi;

$$V_p = 0.6 x \sigma_a x A_k = 0.6 \times 36 \times 47 \times 3 = 3045 \text{ kN} > V_{D+L \pm 2E} = 320 \text{ kN} \quad (\text{uygun})$$

#### 4.1.6 21.-27. Kat Çekirdek Kolonları

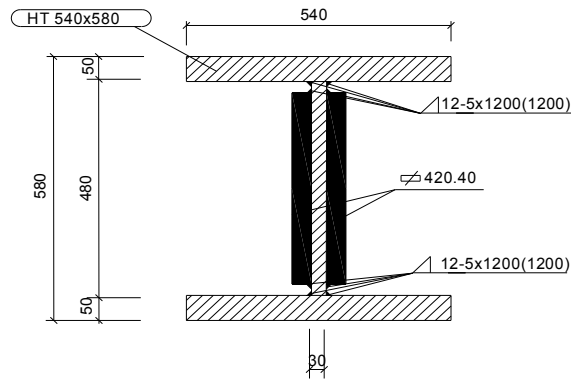
Bulunduğu akslar: B-3, B-4, B-5, B-6, B-7, C-3, C-4, C-5, C-6, C-7

Kesit: HT 540X580 Takviyeli Yapma Profil

Seçilen kesite ait özellikler tabloda belirtilmiştir.

**Tablo 4.6:** HT 540X580 takviyeli yapma profil kesit özellikleri

| h (cm)                            | b (cm)                            | t <sub>w</sub> (cm) | t <sub>f</sub> (cm) | h <sub>i</sub> (cm)               |                                   | A (cm <sup>2</sup> )               |
|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------|---------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| 58                                | 54                                | 11                  | 5                   | 48                                |                                   | 1020                               |
| I <sub>y</sub> (cm <sup>4</sup> ) | I <sub>x</sub> (cm <sup>4</sup> ) | i <sub>x</sub> (cm) | i <sub>y</sub> (cm) | W <sub>x</sub> (cm <sup>3</sup> ) | W <sub>y</sub> (cm <sup>3</sup> ) | W <sub>px</sub> (cm <sup>3</sup> ) |
| 131776                            | 457380                            | 21.17               | 11.36               | 15771.7                           | 4880.5                            | 28738.8                            |



**Şekil 4.6:** HT 540X580 Kesiti

Yönetmelik uyarınca yapma dolu gödeli kirişe ait gerekli kontroller aşağıdaki gibidir

[10].  $\sigma_a$  (Basınç başlığı malzeme akma sınırı) = 36 kN/cm<sup>2</sup>

Gövde kontrolü:

$$h/t_w \leq \frac{950}{\sqrt{\sigma_a(1.2 + \sigma_a)}} \rightarrow \frac{58}{3} = 19.3 \leq \frac{950}{\sqrt{3.6(1.2 + 3.6)}} = 228 \quad (\text{uygun})$$

Berkitmesiz başlıklar:

$$\frac{b}{t_f} \leq \frac{25}{\sqrt{\sigma_a}} \rightarrow \frac{54}{5} = 10.8 \leq \frac{25}{\sqrt{3.6}} = 13.1 \quad (\text{uygun})$$

Bilgisayar programında en elverişsiz kesit tesirleri D+L+W yüklemesinde okunmuştur.  $M_x = 55630 \text{ kNcm}$   $M_y = 63200 \text{ kNcm}$   $N = 6860 \text{ kN}$   $V = 330 \text{ kN}$

#### 4.1.6.1 Enkesit Kontrolü

$$\frac{b}{2t_f} \leq 0.3\sqrt{\frac{E_s}{\sigma_a}} \rightarrow \frac{54}{2 \times 5} = 5.4 \leq 0.3\sqrt{\frac{21000}{36}} = 7.25 \quad (\text{uygun})$$

$$\left| \frac{N_d}{Ax\sigma_a} \right| \leq \left| \frac{6860}{1020 \times 36} \right| = 0.18 \geq 0.1$$

$$h/t_w \leq 1.33\sqrt{E_s/\sigma_a} \left( 2.1 - \left| \frac{N_d}{Ax\sigma_a} \right| \right)$$

$$58/11 = 5.2 \leq 1.33\sqrt{21000/36} \left( 2.1 - \left| \frac{6860}{1020 \times 36} \right| \right) = 61.34 \quad \text{Kesit Kompakttır. } \checkmark$$

#### 4.1.6.2 Gerilme Kontrolü

Sistem diagonal elemanların varlığından dolayı ötelenmesi önlenmiş kabul edilmiştir.

X yönü için  $G$  değerleri:

$$G_A = \left( \frac{131776}{370} + \frac{131776}{600} \right) / \frac{67120}{610} \times 2 = 2.61$$

$$G_B = \left( \frac{131776}{600} \right) / \left( \frac{67120}{610} \right) \times 2 = 0.99$$

$K \rightarrow 0.85$  okunmuştur.

$$S_x = 0.85 \times 600 = 510 \text{ cm}$$

Y yönü için  $G$  değerleri:

$$G_A = \left( \frac{457380}{370} + \frac{457380}{600} \right) / \frac{136700}{1365} \times 2 = 9.97$$

$$G_B = \left( \frac{457380}{600} \right) / \left( \frac{136700}{1365} \right) \times 2 = 3.8$$

$K \rightarrow 0.92$  okunmuştur.

$$S_y = 0.92 \times 600 = 552 \text{ cm}$$

$$\lambda_x = \frac{S_x}{i_x} = \frac{510}{21.17} = 24\text{cm} \rightarrow \omega=1.09$$

$$\lambda_y = \frac{S_y}{i_y} = \frac{552}{11.36} = 48.59\text{cm} \rightarrow \omega=1.35$$

DBYBHY2007'e göre narinlik sınırı şu şekildedir [2].

$$\lambda_{\max} = \max(\lambda_x, \lambda_y) \leq 4\sqrt{E_s / \sigma_a} = 4\sqrt{21000 / 36} = 96.6$$

$$\lambda_{\max} = 48.59 \leq 96.6$$

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{2x\pi^2 xE}{\sigma_a}} = 107.3 \geq \lambda_{\max}$$

$$\lambda_{\max} = 48.59 \rightarrow \sigma_{bem} \text{ değeri tablodan okunmuştur [4].}$$

Depremden daha elverişsiz olan rüzgarlı durum için emniyet gerilmeleri %15 arttırılmıştır.

$$\sigma_{bem} \rightarrow 1.15\sigma_{bem}$$

$$1.15x\sigma_{bem} = 1.15x16 = 18.4\text{kN/cm}^2$$

$$\sigma_{eb} = \frac{N}{A} = \frac{6860}{1020} = 6.72\text{kN/cm}^2 \leq 18.4\text{kN/cm}^2$$

$$\sigma_{bx} = \frac{M_x}{W_x} = \frac{55630}{15771} = 3.52\text{kN/cm}^2$$

$$\sigma_{by} = \frac{M_y}{W_y} = \frac{63200}{4880} = 12.95\text{kN/cm}^2$$

$$\sigma'_{ex} = 8290 / \lambda_x^2 = 8290 / 24^2 = 143.9\text{kN/cm}^2$$

$$\sigma'_{ey} = 8290 / \lambda_y^2 = 8290 / 48.59^2 = 35.1\text{kN/cm}^2$$

Çubuk uçlarında herhangi bir ötelenme olmadığından;

$$C_m = 0.6 - 0.4x \frac{M_1}{M_2} \geq 0.4 \rightarrow C_m = 0.4 \text{ alınmıştır.}$$

$$I_{yb} = \frac{t_f x b^3}{12} = \frac{5x54^3}{12} = 65610\text{cm}^4$$

Basınç başlığı alanı:

$$F_b = bxt_f + \frac{d}{3}xt_w = 54x5 + \frac{45}{3}x11 = 435\text{cm}^2$$

$$i_{yb} = \sqrt{\frac{I_{yb}}{F_b}} = \sqrt{\frac{65610}{435}} = 12.28 \text{ cm}$$

$$\lambda_{yb} = \frac{S_y}{i_{yb}} \leq \sqrt{\frac{3 \times 10^7 \times C_b}{\sigma_a}}$$

$$\lambda_{yb} = \frac{S_y}{i_{yb}} = \frac{552}{12.28} = 44.95 \text{ cm}$$

$$C_b = 1.5$$

$$\sigma_{Bx} = \left[ \frac{2}{3} - \frac{\sigma_a \times \lambda_{yb}^2}{9 \times 10^7 \times C_b} \right] \sigma_a = \left[ \frac{2}{3} - \frac{36 \times 44.95^2}{9 \times 10^7 \times 1.5} \right] 36 = 23.98 \text{ kN/cm}^2 > 0.6 \times \sigma_a$$

$$\sigma_{Bx} = \left[ \frac{84 \times 10^4 \times C_b}{S_x \frac{d}{F_b}} \right] = \left[ \frac{84 \times 10^4 \times 1.5}{552 \times \frac{580}{435}} \right] = 17.1 \text{ kN/cm}^2 > 0.6 \times \sigma_a$$

$$\sigma_{Bx} = \max \sigma_{Bx} = 23.98 \text{ kN/cm}^2 > 0.6 \times \sigma_a = 21.6 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{Bx} = \sigma_{By} = 21.6 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} + \frac{C_{mx} \times \sigma_{bx}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{ex}}\right) \times \sigma_{Bx}} + \frac{C_{my} \times \sigma_{by}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{ey}}\right) \times \sigma_{By}}$$

$$= \frac{6.72}{18.4} + \frac{0.4 \times 3.52}{\left(1 - \frac{6.72}{143.9}\right) \times 21.6} + \frac{0.4 \times 12.95}{\left(1 - \frac{6.72}{35.1}\right) \times 21.6}$$

$$= 0.36 + 0.06 + 0.41 = 0.83 \leq 1$$

(uygun)

$$\frac{\sigma_{eb}}{0.6 \times \sigma_{ba}} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} + \frac{\sigma_{by}}{\sigma_{By}} \leq 1$$

$$= \frac{6.72}{21.6} + \frac{3.52}{21.6} + \frac{12.95}{21.6} = 0.3 + 0.1 + 0.59 = 0.99 \leq 1$$

(uygun)

#### 4.1.6.3 Kesme Güvenliği Kontrolü

$$F_g = h_i \times t_w = 42 \times 11 = 462 \text{ cm}^2$$

$$\tau = \frac{V}{F_g} = \frac{330}{462} = 0.7 \text{ kN/cm}^2 \leq \tau_{em} = 15.5 \text{ kN/cm}^2$$

(uygun)

$\tau_{em}$  : St52 çeliği için kayma emniyet gerilmesi

#### 4.1.6.4 Arttırılmış Deprem Yükleri Kontrolü

DBYBHY2007'e göre gerekli durumlarda kullanılmak üzere yapı elemanlarının iç kuvvet kapasiteleri kontrol edilecektir [2].

En elverişsiz yükleme D+L±2E arttırılmış yükleme kombinasyonunda oluşmaktadır.

Eksenel basınç kapasitesi;

$$N_{bp} = 1.7x\sigma_{ben}xA = 1.7x18.4x1020 = 31905\text{kN} > N_{D+L\pm 2E} = 9320\text{kN} \quad (\text{uygun})$$

Eksenel çekme kapasitesi;

$$N_{cp} = \sigma_a x A_n = 36x1020 = 36720\text{kN} > N_{D+L\pm 2E} = 9320\text{kN} \quad (\text{uygun})$$

Eğilme momenti kapasitesi;

$$M_p = \sigma_a x W_p = 36x28738 = 1034568\text{kNcm} > M_{D+L\pm 2E} = 88650\text{kNcm} \quad (\text{uygun})$$

Kesme kuvveti kapasitesi;

$$V_p = 0.6x\sigma_a x A_k = 0.6x36x42x11 = 9979\text{kN} > V_{D+L\pm 2E} = 360\text{kN} \quad (\text{uygun})$$

#### 4.1.6.5 HD 400X744 Hadde Profili Gerilme Kontrolü

Yapıda yukarıda kontrolleri yapılan HT 540X580 takviyeli yapma profile karşı kompaktlık tahkiklerini sağlayan ve yapı analizinde deplasman sınırlarının aşılmasına sebep olmayan HD 400X744 hadde profili kullanılırsa gerilme kontrolleri aşağıdaki gibi yapılır.

Sistem diagonal elemanların varlığından dolayı ötelenmesi önlenmiş kabul edilmiştir.

X yönü için G değerleri:

$$G_A = \left( \frac{119900}{600} + \frac{131776}{370} \right) / \left( \frac{67120}{610} \right) x 2 = 2.5$$

$$G_B = \frac{119900}{600} / \left( \frac{67120}{610} \right) x 2 = 0.9$$

K→0.85 okunmuştur.

$$S_x = 0.85x600 = 510\text{cm}$$

Y yönü için G değerleri:

$$G_A = \left( \frac{457380}{370} + \frac{342100}{600} \right) / \left( \frac{136700}{1365} \right) x 2 = 9$$

$$G_B = \frac{342100}{600} / \left( \frac{136700}{1365} \right) x 2 = 2.8$$

K→0.95 okunmuştur.

$$S_y = 0.95 \times 600 = 570 \text{ cm}$$

$$\lambda_x = \frac{S_x}{i_x} = \frac{510}{19} = 26.8 \text{ cm} \rightarrow \omega = 1.11$$

$$\lambda_y = \frac{S_y}{i_y} = \frac{570}{11.25} = 50.6 \text{ cm} \rightarrow \omega = 1.44$$

DBYBHY2007'e göre narinlik sınırı şu şekildedir [2].

$$\lambda_{\max} = \max(\lambda_x, \lambda_y) \leq 4\sqrt{E_s / \sigma_a} = 4\sqrt{21000 / 36} = 96.6$$

$$\lambda_{\max} = 50.6 \leq 96.6$$

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{2x\pi^2 xE}{\sigma_a}} = 107.3 \geq \lambda_{\max}$$

$$\lambda_{\max} = 50.6 \rightarrow \sigma_{bem} \text{ değeri tablodan okunmuştur [4].}$$

Depremden daha elverişsiz olan rüzgarlı durum için emniyet gerilmeleri %15 arttırılmıştır.

$$\sigma_{bem} \rightarrow 1.15\sigma_{bem}$$

$$1.15\sigma_{bem} = 1.15 \times 15.7 = 18 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{eb} = \frac{N}{A} = \frac{6860}{948} = 7.23 \text{ kN/cm}^2 \leq 18 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{bx} = \frac{M_x}{W_x} = \frac{55630}{13740} = 4 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{by} = \frac{M_y}{W_y} = \frac{63200}{5552} = 11.3 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma'_{ex} = 8290 / \lambda_x^2 = 8290 / 26.8^2 = 115.4 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma'_{ey} = 8290 / \lambda_y^2 = 8290 / 50.6^2 = 32.37 \text{ kN/cm}^2$$

Çubuk uçlarında herhangi bir ötelenme olmadığından;

$$C_m = 0.6 - 0.4x \frac{M_1}{M_2} \geq 0.4 \rightarrow C_m = 0.4 \text{ alınmıştır.}$$

$$I_{yb} = \frac{t_f x b^3}{12} = \frac{8.89 \times 43.2^3}{12} = 59727 \text{ cm}^4$$

Basınç başlığı alanı:

$$F_b = bxt_f + \frac{d}{3}xt_w = 43.2 \times 8.89 + \frac{29}{3} \times 5.56 = 437 \text{ cm}^2$$

$$i_{yb} = \sqrt{\frac{I_{yb}}{F_b}} = \sqrt{\frac{59727}{437}} = 11.6 \text{ cm}$$

$$\lambda_{yb} = \frac{S_y}{i_{yb}} \leq \sqrt{\frac{3 \times 10^7 \times C_b}{\sigma_a}}$$

$$\lambda_{yb} = \frac{S_y}{i_{yb}} = \frac{570}{11.6} = 49.1$$

$$C_b = 1.5$$

$$\sigma_{Bx} = \left[ \frac{2}{3} - \frac{\sigma_a \times \lambda_{yb}^2}{9 \times 10^7 \times C_b} \right] \sigma_a = \left[ \frac{2}{3} - \frac{36 \times 49.1^2}{9 \times 10^7 \times 1.5} \right] 36 = 23.98 \text{ kN/cm}^2 \geq 0.6 \sigma_a$$

$$\sigma_{Bx} = \left[ \frac{84 \times 10^4 \times C_b}{S_x \frac{d}{F_b}} \right] = \left[ \frac{84 \times 10^4 \times 1.5}{570 \times \frac{290}{437}} \right] = 33.31 \text{ kN/cm}^2 \geq 0.6 \sigma_a$$

$$\sigma_{Bx} = \max \sigma_{Bx} = 23.98 \text{ kN/cm}^2 > 0.6 \sigma_a = 21.6 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{Bx} = \sigma_{By} = 21.6 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} + \frac{C_{mx} \times \sigma_{bx}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{ex}}\right) \times \sigma_{Bx}} + \frac{C_{my} \times \sigma_{by}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{ey}}\right) \times \sigma_{By}}$$

$$= \frac{7.23}{18} + \frac{0.4 \times 4}{\left(1 - \frac{7.23}{115.4}\right) \times 21.6} + \frac{0.4 \times 11.3}{\left(1 - \frac{7.23}{32.3}\right) \times 21.6}$$

$$= 0.4 + 0.08 + 0.3 = 0.78 \leq 1$$

(uygun)

$$\frac{\sigma_{eb}}{0.6 \times \sigma_{ba}} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} + \frac{\sigma_{by}}{\sigma_{By}} \leq 1$$

$$= \frac{7.23}{21.6} + \frac{4}{21.6} + \frac{11.3}{21.6} = 0.33 + 0.17 + 0.51 = 1 \leq 1$$

(uygun)

21.-27. kat çekirdek kolonları için seçilen takviyeli yapma profillere alternatif olarak kolonlar için hadde profillerin de kullanılabileceği yukarıda yapılan hesaplarda görülmektedir. Ele alınan yapıda birleşim bölgelerinde bulon montajı ve kaynak işlemleri sırasında başlık kalınlığı fazla olan hadde profillerin problem oluşturması ve kullanılan maksimum levha kalınlık değerinin 6 cm olması dolayısıyla kolonlarda hadde profil uygulamasından kaçınılmıştır. Bu nedenle kolonlarda başlık kalınlığı

için maksimum levha kalınlığı olan 6 cm, enkesit yüksekliği için ise DBYBHY2007’nce rijit kolon-kiriş birleşimlerinde öngörülen maksimum kolon enkesit yüksekliği olan 60 cm değeri gözetilmiş ve yapma profil teşkili yapılmıştır.

#### 4.1.7 21.-27. Çevre Kolonları

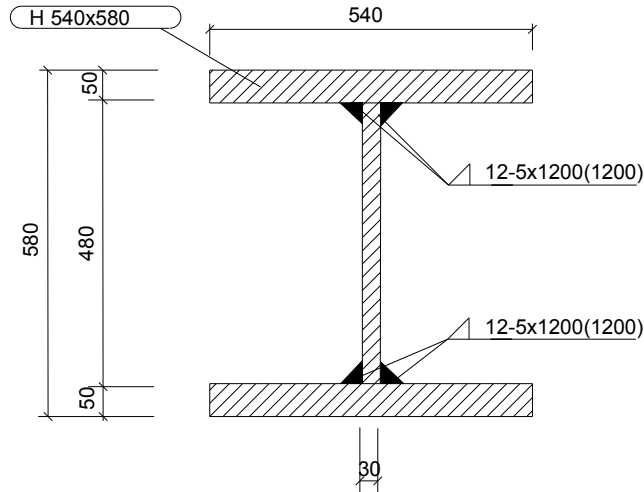
Bulunduğu akslar: A-1,..8, B-1, B-2, B-8, C-1, C-2, C-8, D-1,..8

Kesit: H 540X580 Yapma Profil

Seçilen kesite ait özellikler tabloda belirtilmiştir.

**Tablo 4.7:** H 540X580 yapma profil kesit özellikleri

| h (cm)                            | b (cm)                            | t <sub>w</sub> (cm) | t <sub>f</sub> (cm) | h <sub>i</sub> (cm)               | A (cm <sup>2</sup> )              |                                    |
|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------|---------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| 58                                | 54                                | 3                   | 5                   | 48                                | 684                               |                                    |
| I <sub>y</sub> (cm <sup>4</sup> ) | I <sub>x</sub> (cm <sup>4</sup> ) | i <sub>x</sub> (cm) | i <sub>y</sub> (cm) | W <sub>x</sub> (cm <sup>3</sup> ) | W <sub>y</sub> (cm <sup>3</sup> ) | W <sub>px</sub> (cm <sup>3</sup> ) |
| 131328                            | 407988                            | 24.42               | 13.85               | 14068                             | 4864                              | 16038                              |



**Şekil 4.7:** H 540X580 Kesiti

Yönetmelik uyarınca yapma dolu gödeli kirişe ait gerekli kontroller aşağıdaki gibidir [10].  $\sigma_a$ (Basınç başlığı malzeme akma sınırı)=36 kN/cm<sup>2</sup>

Gövde kontrolü:

$$h/t_w \leq \frac{950}{\sqrt{\sigma_a(1.2 + \sigma_a)}} \rightarrow \frac{58}{3} = 19.3 \leq \frac{950}{\sqrt{3.6(1.2 + 3.6)}} = 228 \quad (\text{uygun})$$

Berkitmesiz başlıklar:

$$\frac{b}{t_f} \leq \frac{25}{\sqrt{\sigma_a}} \rightarrow \frac{54}{5} = 10.8 \leq \frac{25}{\sqrt{3.6}} = 13.1 \quad (\text{uygun})$$

Bilgisayar programında en elverişsiz kesit tesirleri D+L+W yüklemesinde okunmuştur.  $M_x= 52610$  kNcm  $M_y= 51400$  kNcm  $N= 5100$  kN  $V=290$  kN

#### 4.1.7.1 Enkesit Kontrolü

$$\frac{b}{2t_f} \leq 0.3 \sqrt{\frac{E_s}{\sigma_a}} \rightarrow \frac{54}{2 \times 5} = 5.4 \leq 0.3 \sqrt{\frac{21000}{36}} = 7.25 \quad (\text{uygun})$$

$$\left| \frac{N_d}{Ax\sigma_a} \right| \leq \left| \frac{5100}{684 \times 36} \right| = 0.2 \geq 0.1$$

$$h/t_w \leq 1.33 \sqrt{E_s / \sigma_a} \left( 2.1 - \left| \frac{N_d}{Ax\sigma_a} \right| \right)$$

$$58/3 = 19.3 \leq 1.33 \sqrt{21000/36} \left( 2.1 - \left| \frac{5100}{684 \times 36} \right| \right) = 60.62 \quad \text{Kesit Kompakttır. } \checkmark$$

#### 4.1.7.2 Gerilme Kontrolü

Sistem diagonal elemanların varlığından dolayı ötelenmesi önlenmiş kabul edilmiştir.

X yönü için  $G$  değerleri:

$$G_A = \left( \frac{131328}{370} + \frac{131328}{600} \right) / \frac{67120}{610} \times 2 = 2.6$$

$$G_B = \left( \frac{131328}{600} \right) / \left( \frac{67120}{610} \right) \times 2 = 0.99$$

$K \rightarrow 0.76$  okunmuştur.

$$S_x = 0.76 \times 600 = 456 \text{ cm}$$

Y yönü için  $G$  değerleri:

$$G_A = \left( \frac{407988}{370} + \frac{407988}{600} \right) / \frac{136700}{1365} \times 2 = 8.9$$

$$G_B = \left( \frac{407988}{600} \right) / \left( \frac{136700}{1365} \right) \times 2 = 5.5$$

$K \rightarrow 0.92$  okunmuştur.

$$S_y = 0.92 \times 600 = 552 \text{ cm}$$

$$\lambda_x = \frac{S_x}{i_x} = \frac{456}{24.42} = 18.67 \text{ cm} \rightarrow \omega = 1.03$$

$$\lambda_y = \frac{S_y}{i_y} = \frac{552}{13.85} = 39.85 \text{cm} \rightarrow \omega=1.25$$

DBYBHY2007'e göre narinlik sınırı şu şekildedir [2].

$$\lambda_{\max} = \max(\lambda_x, \lambda_y) \leq 4\sqrt{E_s / \sigma_a} = 4\sqrt{21000 / 36} = 96.6$$

$$\lambda_{\max} = 39.85 \leq 96.6$$

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{2x\pi^2xE}{\sigma_a}} = 107.3 \geq \lambda_{\max}$$

$$\lambda_{\max} = 39.85 \rightarrow \sigma_{bem} \text{ değeri tablodan okunmuştur [4].}$$

Depremden daha elverişsiz olan rüzgarlı durum için emniyet gerilmeleri %15 arttırılmıştır.

$$\sigma_{bem} \rightarrow 1.15\sigma_{bem}$$

$$1.15x\sigma_{bem} = 1.15x17.4 = 20\text{kN/cm}^2$$

$$\sigma_{eb} = \frac{N}{A} = \frac{5100}{684} = 7.45\text{kN/cm}^2 \leq 20\text{kN/cm}^2$$

$$\sigma_{bx} = \frac{M_x}{W_x} = \frac{52610}{14068} = 3.73\text{kN/cm}^2$$

$$\sigma_{by} = \frac{M_y}{W_y} = \frac{51400}{4864} = 10.56\text{kN/cm}^2$$

$$\sigma'_{ex} = 8290 / \lambda_x^2 = 8290 / 18.67^2 = 237.8\text{kN/cm}^2$$

$$\sigma'_{ey} = 8290 / \lambda_y^2 = 8290 / 39.85^2 = 52.2\text{kN/cm}^2$$

Çubuk uçlarında herhangi bir ötelenme olmadığından;

$$C_m = 0.6 - 0.4x\frac{M_1}{M_2} \geq 0.4 \rightarrow C_m = 0.4 \text{ alınmıştır.}$$

$$I_{yb} = \frac{t_f x b^3}{12} = \frac{5x54^3}{12} = 65610\text{cm}^4$$

Basınç başlığı alanı:

$$F_b = bxt_f + \frac{d}{3}xt_w = 54x5 + \frac{45}{3}x3 = 315\text{cm}^2$$

$$i_{yb} = \sqrt{\frac{I_{yb}}{F_b}} = \sqrt{\frac{65610}{315}} = 14.43\text{cm}$$

$$\lambda_{yb} = \frac{S_y}{i_{yb}} \leq \sqrt{\frac{3 \times 10^7 \times C_b}{\sigma_a}}$$

$$\lambda_{yb} = \frac{S_y}{i_{yb}} = \frac{552}{14.43} = 38.24 \text{ cm}$$

$$C_b = 1.5$$

$$\sigma_{Bx} = \left[ \frac{2}{3} - \frac{\sigma_a \lambda_{yb}^2}{9 \times 10^7 \times C_b} \right] \sigma_a = \left[ \frac{2}{3} - \frac{36 \times 38.24^2}{9 \times 10^7 \times 1.5} \right] 36 = 23.98 \text{ kN/cm}^2 > 0.6 \sigma_a$$

$$\sigma_{Bx} = \left[ \frac{84 \times 10^4 \times C_b}{S_x \frac{d}{F_b}} \right] = \left[ \frac{84 \times 10^4 \times 1.5}{552.5 \times \frac{580}{315}} \right] = 12.39 \text{ kN/cm}^2 > 0.6 \sigma_a$$

$$\sigma_{Bx} = \max \sigma_{Bx} = 23.98 \text{ kN/cm}^2 > 0.6 \sigma_a = 21.6 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{Bx} = \sigma_{By} = 21.6 \text{ kN/cm}^2$$

$$\begin{aligned} & \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} + \frac{C_{mx} x \sigma_{bx}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{ex}}\right) x \sigma_{Bx}} + \frac{C_{my} x \sigma_{by}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{ey}}\right) x \sigma_{By}} \\ &= \frac{7.45}{20} + \frac{0.4 \times 3.73}{\left(1 - \frac{7.45}{237.8}\right) \times 21.6} + \frac{0.4 \times 10.56}{\left(1 - \frac{7.45}{52.2}\right) \times 21.6} \\ &= 0.37 + 0.07 + 0.22 = 0.66 \leq 1 \end{aligned} \quad (\text{uygun})$$

$$\begin{aligned} & \frac{\sigma_{eb}}{0.6 \sigma_{ba}} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} + \frac{\sigma_{by}}{\sigma_{By}} \leq 1 \\ &= \frac{7.45}{21.6} + \frac{3.73}{21.6} + \frac{10.56}{21.6} = 0.34 + 0.17 + 0.48 = 0.99 \leq 1 \end{aligned} \quad (\text{uygun})$$

#### 4.1.7.3 Kesme Güvenliği Kontrolü

$$F_g = h_i x t_w = 48 \times 3 = 144 \text{ cm}^2$$

$$\tau = \frac{V}{F_g} = \frac{290}{144} = 2 \text{ kN/cm}^2 \leq \tau_{em} = 15.5 \text{ kN/cm}^2 \quad (\text{uygun})$$

$\tau_{em}$  : St52 çeliği için kayma emniyet gerilmesi

#### 4.1.7.4 Arttırılmış Deprem Yükleri Kontrolü

DBYBHY2007'e göre gerekli durumlarda kullanılmak üzere yapı elemanlarının iç kuvvet kapasiteleri kontrol edilecektir [2].

En elverişsiz yükleme D+L±2E arttırılmış yükleme kombinasyonunda oluşmaktadır.

Eksenel basınç kapasitesi;

$$N_{bp} = 1.7x\sigma_{ben}xA = 1.7x20x684 = 23256\text{kN} > N_{D+L\pm 2E} = 20500\text{kN} \quad (\text{uygun})$$

Eksenel çekme kapasitesi;

$$N_{cp} = \sigma_a x A_n = 36x684 = 24624\text{kN} > N_{D+L\pm 2E} = 20500\text{kN} \quad (\text{uygun})$$

Eğilme momenti kapasitesi;

$$M_p = \sigma_a x W_p = 36x16038 = 577368\text{kNcm} > M_{D+L\pm 2E} = 41510\text{kNcm} \quad (\text{uygun})$$

Kesme kuvveti kapasitesi;

$$V_p = 0.6x\sigma_a x A_k = 0.6x36x48x3 = 3111\text{kN} > V_{D+L\pm 2E} = 120\text{kN} \quad (\text{uygun})$$

## 4.2 Kirişlerin Boyutlandırılması

### 4.2.1 X-X Yönü Kirişleri

Kesit: IPE 550

Seçilen kesite ait özellikler tabloda belirtilmiştir.

**Tablo 4.8:** IPE 550 kesit özellikleri

| h (cm)                            | b (cm)              | t <sub>w</sub> (cm) | t <sub>f</sub> (cm)               | h <sub>i</sub> (cm)               | A (cm <sup>2</sup> )               | I <sub>x</sub> (cm <sup>4</sup> )  |
|-----------------------------------|---------------------|---------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| 55                                | 21                  | 1.11                | 1.72                              | 51.56                             | 134                                | 67120                              |
| I <sub>y</sub> (cm <sup>4</sup> ) | i <sub>x</sub> (cm) | i <sub>y</sub> (cm) | W <sub>x</sub> (cm <sup>3</sup> ) | W <sub>y</sub> (cm <sup>3</sup> ) | W <sub>px</sub> (cm <sup>3</sup> ) | W <sub>py</sub> (cm <sup>3</sup> ) |
| 2668                              | 22.3                | 4.45                | 2440                              | 254                               | 2787                               | 400.5                              |

Bilgisayar programında en elverişsiz kesit tesirleri D+L+W yüklemesinde okunmuştur.  $M_x = 56290 \text{ kNcm}$   $V = 290 \text{ kN}$

#### 4.2.1.1 Enkesit Kontrolü

$$\frac{b}{2t_f} \leq 0.3 \sqrt{\frac{E_s}{\sigma_a}} \rightarrow \frac{21}{2x1.72} = 6.1 \leq 0.3 \sqrt{\frac{21000}{36}} = 7.25 \quad (\text{uygun})$$

$$\frac{h}{t_w} \leq 3.2 \sqrt{\frac{E_s}{\sigma_a}} \rightarrow \frac{55}{1.11} = 49.54 \leq 77.28 \quad \text{Kesit Kompakttır. } \checkmark \quad (4.29)$$

#### 4.2.1.2 Gerilme Kontrolü

Deprem Yönetmeliği Mad. 4.6.4.1.(b) uyarınca ters V şeklindeki çapraz sistemlerde çaprazların bağlandığı kirişler ve uç bağlantıları, çaprazların yok sayılması durumunda , kendi üzerindeki düşey yükleri güvenle taşıyacak şekilde boyutlandırılır [2].

$$\begin{aligned}\sigma_e &= \frac{M_x}{W_x} = \frac{56290}{2440} = 23.06 \text{ kN/cm}^2 \leq 24.84 \text{ kN/cm}^2 \\ \tau &= \frac{V}{F_g} = \frac{V}{h_i x t_w} = \frac{290}{51.56 \times 1.11} = 5.06 \text{ kN/cm}^2 \leq 15.5 \text{ kN/cm}^2 \\ \sigma_v &= \sqrt{\sigma_e^2 + \tau^2} = \sqrt{23.06^2 + 5.06^2} = 23.6 \text{ kN/cm}^2 \leq 24.84 \text{ kN/cm}^2\end{aligned}\quad (4.30)$$

#### 4.2.1.3 Yanal Burkulma Kontrolü

IPE 550 kirişi yanal burkulmanın önlenmesi amacıyla kompozit döşemenin montajı esnasında mesnetten açıklığın dörtte biri mesafelerinde tutulmuştur. Yanal doğrultuda kiriş üst başlığı kompozit döşeme ile alt başlığı ise papyonlar kullanılarak mesnetlenmiştir. Mesnetlenen noktalar arası uzaklık  $l_b$  aşağıda belirtilen koşulu sağlamalıdır [2].

$$l_b \leq 0.086 \left( \frac{r_y x E_s}{\sigma_a} \right) \quad (4.31)$$

$$s = \frac{S}{3} = \frac{610}{4} = 152.5 \text{ cm}$$

$$152.5 \text{ cm} \leq 0.086 \left( \frac{4.45 \times 2100}{3.6} \right) = 223 \text{ cm} \quad (\text{uygun})$$

$$I_{yb} = \frac{t_f x b^3}{12} = \frac{1.72 \times 21^3}{12} = 1327.4 \text{ cm}^4$$

$$F_b = b x t_f + \frac{d}{3} x t_w = 21 \times 1.72 + \frac{46.7}{3} \times 1.11 = 53.39 \text{ cm}^2$$

$$i_{yb} = \sqrt{\frac{I_{yb}}{F_b}} = \sqrt{\frac{1327.4}{53.39}} = 4.98 \text{ cm}$$

$$\lambda_{yb} = \frac{S}{i_{yb}} = \frac{152.5}{4.98} = 30.62 \text{ cm} \leq \sqrt{\frac{3 \times 10^7 \times C_b}{\sigma_a}} = 91.28 \text{ cm} \quad (\text{uygun})$$

$$C_b = 1 \rightarrow \sigma_{Bx} = \left[ \frac{2}{3} - \frac{\sigma_a x \lambda_{yb}^2}{9x10^7 x C_b} \right] \sigma_a$$

$$= \left[ \frac{2}{3} - \frac{36x30.62^2}{9x10^7 x 1.5} \right] 36 = 23.99 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{Bx} = \left[ \frac{84x10^4 x C_b}{Sx \frac{d}{F_b}} \right]$$

$$= \left[ \frac{84x10^4 x 1.5}{152.5x \frac{550}{53.39}} \right] = 8.02 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{Bx} = \max \sigma_{Bx} = 26.9 \text{ kN/cm}^2 > 1.15x0.6x\sigma_a = 24.84 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{Bx} = 24.84 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_e = 23.06 \text{ kN/cm}^2 \leq 24.84 \text{ kN/cm}^2 \quad \checkmark$$

#### 4.2.1.4 Arttırılmış Deprem Yükleri Kontrolü

DBYBHY2007'e göre gerekli durumlarda kullanılmak üzere yapı elemanlarının iç kuvvet kapasiteleri kontrol edilecektir [2].

En elverişsiz yükleme D+L±2E arttırılmış yükleme kombinasyonunda oluşmaktadır.

Eksenel basınç kapasitesi;

$$M_p = \sigma_a x W_p = 36x2787 = 100322 \text{ kNcm} > M_{D+L\pm 2E} = 90450 \text{ kNcm} \quad (\text{uygun})$$

Kesme Kuvveti Kapasitesi;

$$V_p = 0.6x\sigma_a x A_k = 0.6x36x51.56x1.11 = 1236 \text{ kN} > V_{D+L\pm 2E} = 380 \text{ kN} \quad (\text{uygun})$$

#### 4.2.1.5 Sehim Kontrolü

$$q = 0.00001035 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{\max} = \frac{5}{384} x \frac{0.00001035x610^4}{21x10^5 x 136700} = 0.013 \text{ cm} \leq \frac{610}{300} = 2.03 \text{ cm} \quad (\text{uygun}) \quad (4.32)$$

#### 4.2.2 Y-Y Yönü Kirişleri

Kesit: HEB 550

Seçilen kesite ait özellikler tabloda belirtilmiştir.

**Tablo 4.9:** HEB 550 kesit özellikleri

| h (cm)                            | b (cm)              | t <sub>w</sub> (cm) | t <sub>f</sub> (cm)               | h <sub>i</sub> (cm)               | A (cm <sup>2</sup> )               | I <sub>x</sub> (cm <sup>4</sup> )  |
|-----------------------------------|---------------------|---------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| 55                                | 30                  | 1.5                 | 2.9                               | 49.2                              | 254                                | 136700                             |
| I <sub>y</sub> (cm <sup>4</sup> ) | i <sub>x</sub> (cm) | i <sub>y</sub> (cm) | W <sub>x</sub> (cm <sup>3</sup> ) | W <sub>y</sub> (cm <sup>3</sup> ) | W <sub>px</sub> (cm <sup>3</sup> ) | W <sub>py</sub> (cm <sup>3</sup> ) |
| 13080                             | 23.2                | 7.17                | 4970                              | 872                               | 5591                               | 1341                               |

Bilgisayar programında en elverişsiz kesit tesirleri D+L+W yüklemesinde okunmuştur.  $M_x = 119830 \text{ kNcm}$   $V = 440 \text{ kN}$

#### 4.2.2.1 Enkesit Kontrolü

$$\frac{b}{2t_f} \leq 0.3 \sqrt{\frac{E_s}{\sigma_a}} \rightarrow \frac{30}{2 \times 2.9} = 5.17 \leq 0.3 \sqrt{\frac{21000}{36}} = 7.25 \quad (\text{uygun})$$

$$\frac{h}{t_w} \leq 3.2 \sqrt{\frac{E_s}{\sigma_a}} \rightarrow \frac{55}{1.5} = 36.6 \leq 77.28 \quad \text{Kesit Kompakttır. } \checkmark$$

#### 4.2.2.2 Gerilme Kontrolü

Deprem Yönetmeliği Mad. 4.6.4.1.(b) uyarınca ters V şeklindeki çapraz sistemlerde çaprazların bağlandığı kirişler ve uç bağlantıları, çaprazların yok sayılması durumunda, kendi üzerindeki düşey yükleri güvenle taşıyacak şekilde boyutlandırılır [2].

$$\sigma_e = \frac{M_x}{W_x} = \frac{119830}{4970} = 24.11 \text{ kN/cm}^2 \leq 24.84 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau = \frac{V}{F_g} = \frac{V}{h_i x t_w} = \frac{440}{49.2 \times 1.5} = 5.96 \text{ kN/cm}^2 \leq 15.5 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_e^2 + \tau^2} = \sqrt{24.11^2 + 5.96^2} = 24.83 \text{ kN/cm}^2 \leq 24.84 \text{ kN/cm}^2 \quad (\text{uygun})$$

#### 4.2.2.3 Yanal Burkulma Kontrolü

HEB 550 kirişi yanal burkulmanın önlenmesi amacıyla kompozit döşemenin montajı esnasında mesnetten açıklığın dörtte biri mesafelerinde tutulmuştur. Yanal doğrultuda kiriş üst başlığı kompozit döşeme ile alt başlığı ise papyonlar kullanılarak mesnetlenmiştir. Mesnetlenen noktalar arası uzaklık  $l_b$  aşağıda belirtilen koşulu sağlamalıdır [2].

$$l_b \leq 0.086 \left( \frac{r_y x E_s}{\sigma_a} \right)$$

$$s = \frac{S}{3} = \frac{1365}{4} = 341.3 \text{ cm}$$

$$341.3\text{cm} \leq 0.086 \left( \frac{7.17 \times 2100}{3.6} \right) = 359\text{cm} \quad (\text{uygun})$$

$$I_{yb} = \frac{t_f x b^3}{12} = \frac{2.9 \times 30^3}{12} = 6525\text{cm}^4$$

$$F_b = b x t_f + \frac{d}{3} x t_w = 30 \times 2.9 + \frac{43.8}{3} \times 1.5 = 108.9\text{cm}^2$$

$$i_{yb} = \sqrt{\frac{I_{yb}}{F_b}} = \sqrt{\frac{6525}{108.9}} = 7.74\text{cm}$$

$$\lambda_{yb} = \frac{S}{i_{yb}} = \frac{341.3}{7.74} = 44.09\text{cm} \leq \sqrt{\frac{3 \times 10^7 \times C_b}{\sigma_a}} = 91.28\text{cm} \quad (\text{uygun})$$

$$C_b = 1 \rightarrow \sigma_{Bx} = \left[ \frac{2}{3} - \frac{\sigma_a \times \lambda_{yb}^2}{9 \times 10^7 \times C_b} \right] \sigma_a$$

$$= \left[ \frac{2}{3} - \frac{36 \times 44.09^2}{9 \times 10^7 \times 1.5} \right] 36 = 25.1\text{kN/cm}^2$$

$$\sigma_{Bx} = \left[ \frac{84 \times 10^4 \times C_b}{S x \frac{d}{F_b}} \right]$$

$$= \left[ \frac{84 \times 10^4 \times 1.5}{341.3 \times \frac{550}{108.39}} \right] = 7.27\text{kN/cm}^2$$

$$\sigma_{Bx} = \max \sigma_{Bx} = 25.1\text{kN/cm}^2 > 1.15 \times 0.6 \times \sigma_a = 24.84\text{kN/cm}^2$$

$$\sigma_{Bx} = 24.84\text{kN/cm}^2$$

$$\sigma_e = 24.11\text{kN/cm}^2 \leq 24.84\text{kN/cm}^2 \quad (\text{uygun})$$

#### 4.2.2.4 Arttırılmış Deprem Yükleri Kontrolü

DBYBHY2007'e göre gerekli durumlarda kullanılmak üzere yapı elemanlarının iç kuvvet kapasiteleri kontrol edilecektir [2].

En elverişsiz yükleme D+L±2E arttırılmış yükleme kombinasyonunda oluşmaktadır.

Eksenel basınç kapasitesi;

$$M_p = \sigma_a \times W_p = 36 \times 5591 = 201276\text{kNcm} > M_{D+L\pm 2E} = 141450\text{kNcm} \quad (\text{uygun})$$

Kesme Kuvveti Kapasitesi;

$$V_p = 0.6 \times \sigma_a \times A_k = 0.6 \times 36 \times 49.2 \times 1.5 = 1594 \text{ kN} > V_{D+L \pm 2E} = 430 \text{ kN} \quad (\text{uygun})$$

#### 4.2.2.5 Sehim Kontrolü

$$q = 0.00001035 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{\max} = \frac{5}{384} \times \frac{0.00001035 \times 1365^4}{21 \times 10^5 \times 136700} = 0.016 \text{ cm} \leq \frac{1365}{300} = 4.55 \quad (\text{uygun})$$

### 4.3 Çaprazların Boyutlandırılması

#### 4.3.1 1-26. Kat Çaprazları

Kesit: PD 406.4x30

Seçilen kesite ait özellikler tabloda belirtilmiştir.

**Tablo 4.10:** PD 406.4x30 kesit özellikleri

| D(cm) | t(cm) | A (cm <sup>2</sup> ) | W (cm <sup>3</sup> ) | i (cm) |
|-------|-------|----------------------|----------------------|--------|
| 40.64 | 3     | 355                  | 3111                 | 13.3   |

Bilgisayar programında en elverişsiz kesit tesirleri D+L+W yüklemesinde okunmuştur.

$$N = 3130 \text{ kN}$$

##### 4.3.1.1 Enkesit Kontrolü

$$\frac{D}{t} \leq 0.05 \frac{E_s}{\sigma_a} \rightarrow \frac{40.64}{3} = 13.5 \leq 0.05 \times \frac{21000}{36} = 29.1 \quad (\text{uygun}) \quad (4.33)$$

DBYBHY2007'e göre narinlik sınırı şu şekildedir [2].

$$\lambda = \frac{S}{i} = \frac{758}{13.3} = 56.99 \leq 4 \sqrt{\frac{E_s}{\sigma_a}} = 96.6 \quad (\text{uygun})$$

$$\lambda = 56.99 \rightarrow \omega = 1.43$$

##### 4.3.1.2 Gerilme Kontrolü

$$\sigma_{bem} = 1.15 \times 14.6 = 16.7 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_b = \frac{\omega \times N}{A} = \frac{1.43 \times 3130}{355} = 12.6 \text{ kN/cm}^2 \leq \sigma_{bem} \quad (4.34)$$

#### 4.3.1.3 Arttırılmış Deprem Yükleri Kontrolü

DBYBHY2007'e göre gerekli durumlarda kullanılmak üzere yapı elemanlarının iç kuvvet kapasiteleri kontrol edilecektir [2].

En elverişsiz yükleme D+L±2E arttırılmış yükleme kombinasyonunda oluşmaktadır.

Eksenel basınç kapasitesi;

$$N_{bp} = 1.7x\sigma_{bem}xA = 1.7x16.7x355 = 10078.5\text{kN} > N_{D+L\pm 2E} = 4580\text{kN} \quad (\text{uygun})$$

Eksenel Çekme Kapasitesi;

$$N_{cp} = \sigma_a x A_n = 36x355 = 12780\text{kN} > N_{D+L\pm 2E} = 4580\text{kN} \quad (\text{uygun})$$

#### 4.3.2 27. Kat Çaprazları

Kesit: PD 457x40

Seçilen kesite ait özellikler tabloda belirtilmiştir.

**Tablo 4.11:** PD 457x40 kesit özellikleri

| D(cm) | t(cm) | A (cm <sup>2</sup> ) | W (cm <sup>3</sup> ) | i (cm) |
|-------|-------|----------------------|----------------------|--------|
| 45.7  | 4     | 524                  | 5031                 | 14.8   |

Bilgisayar programında en elverişsiz kesit tesirleri D+L+W yüklemesinde okunmuştur.

N= 5490 kN

##### 4.3.2.1 Enkesit Kontrolü

$$\frac{D}{t} \leq 0.05 \frac{E_s}{\sigma_a} \rightarrow \frac{45.74}{4} = 11.43 \leq 0.05x \frac{21000}{36} = 29.1 \quad (\text{uygun})$$

DBYBHY2007'e göre narinlik sınırı şu şekildedir [2].

$$\lambda = \frac{S}{i} = \frac{908}{14.8} = 61.4 \leq 4 \sqrt{\frac{E_s}{\sigma_a}} = 96.6$$

$$\lambda = 61.4 \rightarrow \omega = 1.54$$

##### 4.3.2.2 Gerilme Kontrolü

$$\sigma_b = \frac{\omega x N}{A} = \frac{1.54x5490}{524} = 16\text{kN/cm}^2 \leq \sigma_{bem} = 1.15x14.6 = 16.7\text{kN/cm}^2$$

#### 4.3.2.3 Arttırılmış Deprem Yükleri Kontrolü

DBYBHY2007'e göre gerekli durumlarda kullanılmak üzere yapı elemanlarının iç kuvvet kapasiteleri kontrol edilecektir [2].

En elverişsiz yükleme  $D+L\pm 2E$  arttırılmış yükleme kombinasyonunda oluşmaktadır.

Eksenel basınç kapasitesi;

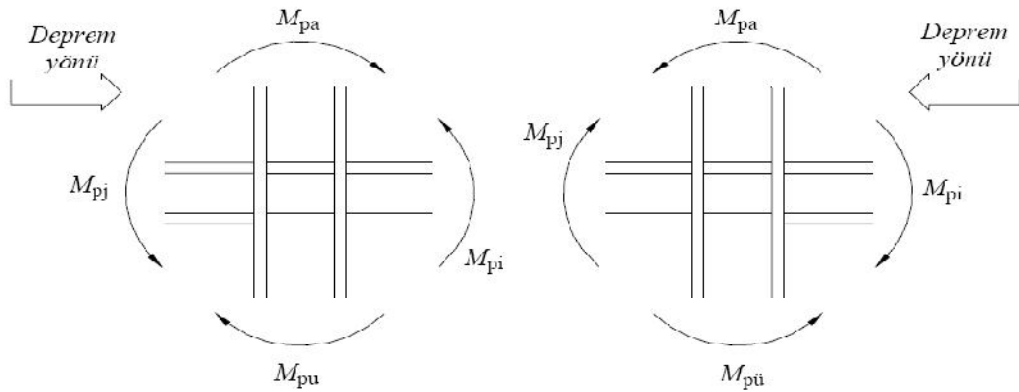
$$N_{bp} = 1.7x\sigma_{bem}xA = 1.7x16.1x524 = 14341\text{kN} > N_{D+L\pm 2E} = 7650\text{kN} \quad (\text{uygun})$$

Eksenel Çekme Kapasitesi;

$$N_{cp} = \sigma_a x A_n = 36x524 = 18864\text{kN} > N_{D+L\pm 2E} = 7650\text{kN} \quad (\text{uygun})$$

#### 4.4 Kuvvetli Kolon – Zayıf Kiriş Kontrolü

DBYBHY2007'e göre çerçeve türü sistemlerde veya perdeli-çerçeve sistemlerin çerçevelerinde, gözönüne alınan deprem doğrultusunda her bir kolon - kiriş düğüm noktasına birleşen kolonların eğilme momenti kapasitelerinin toplamı, o düğüm noktasına birleşen kirişlerin kolon yüzündeki eğilme momenti kapasiteleri toplamının  $1.1D_a$  katından daha büyük olmalıdır [2]. Bu durum şematik olarak aşağıda gösterilmiştir.



**Şekil 4.8:** Kuvvetli kolon – zayıf kiriş kontrolü

$M_{pa}$  : Kolonun alt ucunda hesaplanan moment kapasitesi

$M_{pü}$  : Kolonun üst ucunda hesaplanan moment kapasitesi

$M_{pi}$  : Kirişin sol ucu i'de hesaplanan pozitif veya negatif moment kapasitesi

$M_{pj}$  : Kirişin sağ ucu j'de hesaplanan pozitif veya negatif moment kapasitesi

$$(M_{pa} + M_{pü}) \geq 1.1D_a(M_{pi} + M_{pj}) \quad (4.35)$$

Deprem Yönetmeliğince çelik yapı elemanlarının ve birleşim detaylarının gerekli kapasitelerinin hesabında,  $D_a$  arttırma katsayı değerleri kullanılacaktır.  $D_a$  değerleri Tablo 4.9’da verilmiştir [2].

**Tablo 4.12:**  $D_a$  Arttırma katsayıları

| Yapı Çeliği Sınıfı ve Eleman Türü                     | $D_a$ |
|-------------------------------------------------------|-------|
| Fe 37 çeliğinden imal edilen hadde profilleri         | 1.2   |
| Diğer yapı çeliklerinden imal edilen hadde profilleri | 1.1   |
| Tüm yapı çeliklerinden imal edilen levhalar           | 1.1   |

St52 yapı çeliği için;

$D_a = 1.1$  alınmıştır.

Seçilen Kesitlere ait kapasite değerleri aşağıda belirtilmiştir.

**Tablo 4.13:** Kesitlerin kapasite değerleri

| Kapasite Değerleri       | Kesitler  |           |           |           |        |        |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------|--------|
|                          | H 600x600 | H 595x600 | H 550x590 | H 540x580 | IPE550 | HEB550 |
| $W_p$ (cm <sup>3</sup> ) | 35020.8   | 34858.8   | 31846.8   | 28738.8   | 2787   | 5591   |
| $M_p$ (kNcm)             | 126074.9  | 125491.7  | 114648.5  | 103459.7  | 100332 | 201276 |

Tüm çekirdek ve çevre kolonlar için kuvvetli kolon – zayıf kiriş kontrolü Tablo 4.11 ve Tablo 4.12’de ayrıntılı olarak yapılmıştır.

**Tablo 4.14:** Çekirdek kolonlar için kuvvetli kolon – zayıf kiriş kontrolü

| x-x Doğrultusu |          |          |          |          |                        |                               |
|----------------|----------|----------|----------|----------|------------------------|-------------------------------|
| Katlar         | $M_{pa}$ | $M_{pü}$ | $M_{pi}$ | $M_{pj}$ | $(M_{pa}+M_{pü}) \geq$ | $1.1 * D_a * (M_{pi}+M_{pj})$ |
| 1.-2. Kat      | 126074.9 | 125491.7 | 10033.2  | 10033.2  | 251566.56              | 24280.344                     |
| 2.-3. Kat      | 125491.7 | 125491.7 | 10033.2  | 10033.2  | 250983.36              | 26487.648                     |
| 10.-11. Kat    | 125491.7 | 114648.5 | 10033.2  | 10033.2  | 240140.16              | 26487.648                     |
| 20.-21. Kat    | 114648.5 | 103459.7 | 10033.2  | 10033.2  | 218108.16              | 26487.648                     |
| 27. Kat        | 103459.7 | 0        | 10033.2  | 10033.2  | 103459.68              | 26487.648                     |
| y-y Doğrultusu |          |          |          |          |                        |                               |
| Katlar         | $M_{pa}$ | $M_{pü}$ | $M_{pi}$ | $M_{pj}$ | $(M_{pa}+M_{pü}) \geq$ | $1.1 * D_a * (M_{pi}+M_{pj})$ |
| 1.-2. Kat      | 108925.2 | 125491.7 | 20127.6  | 20127.6  | 234416.88              | 53136.864                     |
| 2.-3. Kat      | 125491.7 | 125491.7 | 20127.6  | 20127.6  | 250983.36              | 53136.864                     |
| 10.-11. Kat    | 125491.7 | 114648.5 | 20127.6  | 20127.6  | 240140.16              | 53136.864                     |
| 20.-21. Kat    | 114648.5 | 103459.7 | 20127.6  | 20127.6  | 218108.16              | 53136.864                     |
| 27. Kat        | 103459.7 | 0        | 20127.6  | 20127.6  | 103459.68              | 53136.864                     |

**Tablo 4.15:** Çevre kolonlar için kuvvetli kolon – zayıf kiriş kontrolü

| x-x Doğrultusu |          |          |          |          |                       |                          |
|----------------|----------|----------|----------|----------|-----------------------|--------------------------|
| Katlar         | $M_{pa}$ | $M_{pü}$ | $M_{pi}$ | $M_{pj}$ | $(M_{pa}+M_{pü})\geq$ | $1.1*Da*(M_{pi}+M_{pj})$ |
| 1.-2. Kat      | 79768.8  | 79768.8  | 10033.2  | 10033.2  | 159537.6              | 26487.648                |
| 2.-3. Kat      | 79768.8  | 79768.8  | 10033.2  | 10033.2  | 159537.6              | 26487.648                |
| 10.-11. Kat    | 79768.8  | 68925.6  | 10033.2  | 10033.2  | 148694.4              | 26487.648                |
| 20.-21. Kat    | 68925.6  | 57736.8  | 10033.2  | 10033.2  | 126662.4              | 26487.648                |
| 27. Kat        | 57736.8  | 0        | 10033.2  | 10033.2  | 57736.8               | 26487.648                |
| y-y Doğrultusu |          |          |          |          |                       |                          |
| Katlar         | $M_{pa}$ | $M_{pü}$ | $M_{pi}$ | $M_{pj}$ | $(M_{pa}+M_{pü})\geq$ | $1.1*Da*(M_{pi}+M_{pj})$ |
| 1.-2. Kat      | 79768.8  | 79768.8  | 20127.6  | 20127.6  | 159537.6              | 53136.864                |
| 2.-3. Kat      | 79768.8  | 79768.8  | 20127.6  | 20127.6  | 159537.6              | 53136.864                |
| 10.-11. Kat    | 79768.8  | 68925.6  | 20127.6  | 20127.6  | 148694.4              | 53136.864                |
| 20.-21. Kat    | 68925.6  | 57736.8  | 20127.6  | 20127.6  | 126662.4              | 53136.864                |
| 27. Kat        | 57736.8  | 0        | 20127.6  | 20127.6  | 57736.8               | 53136.864                |

#### 4.5 Yapma Kolon ve Takviyeli Yapma Kolon Kaynak Hesapları

##### 4.5.1 1.-10. Kat Çevre Kolonları Kaynak Hesabı

Boyutlandırma tahkikleri yapılmış olan H 595X600 yapma profiline ait kaynak hesabında kullanılacak değerler aşağıda verilmiştir:

$$M_x = 50100 \text{ kNcm}, \quad M_y = 50040 \text{ kNcm}, \quad N = 10000 \text{ kN}, \quad V = 280 \text{ kN}$$

$$I_x = 568728 \text{ cm}^4, \quad I_y = 211144 \text{ cm}^4$$

Gövdeyi başlıklara bağlayan kaynak kalınlığı:  $3 \text{ mm} < a < 0.7x_{t_{min}}$

$$3 \text{ mm} < a < 0.7 \times 50 \text{ mm} = 35 \text{ mm}$$

$a = 15 \text{ mm}$  seçilmiştir.

Kullanılan kaynak boyları  $l_{\max} = 100 \times a$  olarak alınmıştır. Kaynaklar  $150 \text{ cm}$  kaynaklı,  $150 \text{ cm}$  boşluklu seçilmiştir.

Gövdeyi başlıklara bağlayan kaynak alanı :

$$F_a = 2xax(l - 2xa) = 2 \times 1.5 \times (150 - 2 \times 1.5) = 441 \text{ cm}^2$$

$$S_a = 59.5 \times 6 \times (60 - 6/2) = 9639 \text{ cm}^3$$

Seçilen elektrod: E10016-D2  $\sigma_{v,EIY} = 24.1 \text{ kN/cm}^2, \sigma_{v,EIY*} = 27.9 \text{ kN/cm}^2$

Gövdeyi başlıklara bağlayan kaynaklarda gerilme kontrolü:

$$\sigma = \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} + \frac{N}{F_a} \quad (4.36)$$

$$\sigma = \left( \frac{50100}{568728} \right) x 24 + \left( \frac{50040}{211144} \right) x \frac{5}{2} + \left( \frac{10000}{441} \right) x \left( \frac{357}{954} \right) = 11.18 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau = \frac{V_x S_a}{a x I_x} \quad (4.37)$$

$$\tau = \frac{280 x 9639}{1.5 x 2 x 568728} x \left( \frac{150 + 150}{150} \right) = 3.16 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_a = \sqrt{\sigma^2 + \tau^2} = \sqrt{11.18^2 + 3.16^2} = 11.61 \text{ kN/cm}^2 < 24.1 \text{ kN/cm}^2 \quad (4.38)$$

Arttırılmış deprem yüklemesi için kaynak tahkikleri yapılırsa;

$$N_{D+L \pm 2E} = 32000 \text{ kN}$$

$$\sigma = \left( \frac{32000}{441} \right) x \left( \frac{357}{954} \right) = 27.15 \text{ kN/cm}^2 < 27.9 \text{ kN/cm}^2 \quad (\text{uygun})$$

#### 4.5.2 11.-20. Kat Çevre Kolonları Kaynak Hesabı

Boyutlandırma tahkikleri yapılmış olan H 550X590 yapma profiline ait kaynak hesabında kullanılacak değerler aşağıda verilmiştir:

$$M_x = 51000 \text{ kNcm}, \quad M_y = 57200 \text{ kNcm}, \quad N = 6970 \text{ kN}, \quad V = 330 \text{ kN}$$

$$I_x = 491421 \text{ cm}^4, \quad I_y = 166480 \text{ cm}^4$$

Gövdeyi başlıklara bağlayan kaynak kalınlığı:  $3 \text{ mm} < a < 0.7 x t_{min}$

$$3 \text{ mm} < a < 0.7 x 30 \text{ mm} = 21 \text{ mm}$$

$a = 14 \text{ mm}$  seçilmiştir.

Kullanılan kaynak boyları  $l_{max} = 100 \times a$  olarak alınmıştır. Kaynaklar  $140 \text{ cm}$  kaynaklı,  $140 \text{ cm}$  boşluklu seçilmiştir.

Gövdeyi başlıklara bağlayan kaynak alanı :

$$F_a = 2 x a x (l - 2 x a) = 2 x 1.4 x (140 - 2 x 1.4) = 384.1 \text{ cm}^2$$

$$S_a = 55 x 6 x (59 - 6 / 2) = 8745 \text{ cm}^3$$

$$\text{Seçilen elektrod: E10016-D2} \quad \sigma_{v,EIY} = 24.1 \text{ kN/cm}^2, \sigma_{v,EIY*} = 27.9 \text{ kN/cm}^2$$

Gövdeyi başlıklara bağlayan kaynaklarda gerilme kontrolü:

$$\sigma = \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} + \frac{N}{F_a}$$

$$\sigma = \left( \frac{51000}{491421} \right) x 23.5 + \left( \frac{57200}{166480} \right) x \frac{3}{2} + \left( \frac{6970}{384.1} \right) x \left( \frac{330}{801} \right) = 10.41 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau = \frac{VxS_a}{axI_x}$$

$$\tau = \frac{330 \times 8745}{1.4 \times 2 \times 491421} \times \left( \frac{140 + 140}{140} \right) = 4.19 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_a = \sqrt{\sigma^2 + \tau^2} = \sqrt{10.41^2 + 4.19^2} = 11.22 \text{ kN/cm}^2 < 24.1 \text{ kN/cm}^2 \quad (\text{uygun})$$

Arttırılmış deprem yüklemesi için kaynak tahkikleri yapılırsa;

$$N_{D+L \pm 2E} = 25500 \text{ kN}$$

$$\sigma = \left( \frac{25500}{384.1} \right) \times \left( \frac{330}{801} \right) = 27.3 \text{ kN/cm}^2 < 27.9 \text{ kN/cm}^2 \quad (\text{uygun})$$

#### 4.5.3 21.-27. Çevre Kolonları Kaynak Hesabı

Boyutlandırma tahkikleri yapılmış olan H 540X580 yapma profiline ait kaynak hesabında kullanılacak değerler aşağıda verilmiştir:

$$M_x = 52610 \text{ kNcm}, \quad M_y = 51400 \text{ kNcm}, \quad N = 5100 \text{ kN}, \quad V = 290 \text{ kN}$$

$$I_x = 407988 \text{ cm}^4, \quad I_y = 131328 \text{ cm}^4$$

Gövdeyi başlıklara bağlayan kaynak kalınlığı:  $3 \text{ mm} < a < 0.7x t_{\min}$

$$3 \text{ mm} < a < 0.7 \times 30 \text{ mm} = 21 \text{ mm}$$

$a = 12 \text{ mm}$  seçilmiştir.

Kullanılan kaynak boyları  $l_{\max} = 100 \times a$  olarak alınmıştır. Kaynaklar  $120 \text{ cm}$  kaynaklı,  $120 \text{ cm}$  boşluklu seçilmiştir.

Gövdeyi başlıklara bağlayan kaynak alanı :

$$F_a = 2xax(l - 2xa) = 2 \times 1.2 \times (120 - 2 \times 1.2) = 282.2 \text{ cm}^2$$

$$S_a = 54 \times 5 \times (58 - 5/2) = 7155 \text{ cm}^3$$

$$\text{Seçilen elektrod: E11018-M} \quad \sigma_{v,EIY} = 26.5 \text{ kN/cm}^2, \sigma_{v,EIY*} = 30.7 \text{ kN/cm}^2$$

Gövdeyi başlıklara bağlayan kaynaklarda gerilme kontrolü:

$$\sigma = \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} + \frac{N}{F_a}$$

$$\sigma = \left( \frac{52610}{407988} \right) \times 24 + \left( \frac{51400}{131328} \right) \times \frac{3}{2} + \left( \frac{5100}{282.2} \right) \times \left( \frac{270}{684} \right) = 10.71 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau = \frac{VxS_a}{axI_x}$$

$$\tau = \frac{290 \times 7155}{1.2 \times 2 \times 407988} \times \left( \frac{120 + 120}{120} \right) = 4.2 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_a = \sqrt{\sigma^2 + \tau^2} = \sqrt{10.41^2 + 4.2^2} = 11.5 \text{ kN/cm}^2 < 26.5 \text{ kN/cm}^2 \quad (\text{uygun})$$

Arttırılmış deprem yüklemesi için kaynak tahkikleri yapılırsa;

$$N_{D+L \pm 2E} = 20500 \text{ kN}$$

$$\sigma = \left( \frac{20500}{282.2} \right) \times \left( \frac{270}{684} \right) = 28.6 \text{ kN/cm}^2 < 30.7 \text{ kN/cm}^2 \quad (\text{uygun})$$

#### 4.5.4 1. Kat Çekirdek Kolonları Kaynak Hesabı

Boyutlandırma tahkikleri yapılmış olan takviyeli HT 600X600 yapma profiline ait kaynak hesabında kullanılacak değerler aşağıda verilmiştir:

$$M_x = 58570 \text{ kNcm}, \quad M_y = 15500 \text{ kNcm}, \quad N = 16850 \text{ kN}, \quad V = 240 \text{ kN}$$

$$I_x = 622512 \text{ cm}^4, \quad I_y = 216948 \text{ cm}^4$$

Gövdeyi başlıklara bağlayan kaynak kalınlığı:  $3 \text{ mm} < a < 0.7 \times t_{\min}$

$$3 \text{ mm} < a < 0.7 \times 60 \text{ mm} = 42 \text{ mm}$$

$a = 15 \text{ mm}$  seçilmiştir.

Kullanılan kaynak boyları  $l_{\max} = 100 \times a$  olarak alınmıştır. Kaynaklar  $150 \text{ cm}$  kaynaklı,  $150 \text{ cm}$  boşluklu seçilmiştir.

Gövdeyi başlıklara bağlayan kaynak alanı :

$$F_a = 2 \times a \times (l - 2 \times a) = 2 \times 1.5 \times (150 - 2 \times 1.5) = 441 \text{ cm}^2$$

$$S_a = 60 \times 6 \times (60 - 6/2) = 9720 \text{ cm}^3$$

$$\text{Seçilen elektrod: E10016-D2} \quad \sigma_{v,EIY} = 24.1 \text{ kN/cm}^2, \sigma_{v,EIY*} = 27.9 \text{ kN/cm}^2$$

Gövdeyi başlıklara bağlayan kaynaklarda gerilme kontrolü:

$$\sigma = \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} + \frac{N}{F_a}$$

$$\sigma = \left( \frac{58570}{622512} \right) \times 24 + \left( \frac{15550}{216948} \right) \times \frac{13}{2} + \left( \frac{16850}{441} \right) \times \left( \frac{360}{1296} \right) = 13.32 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau = \frac{V \times S_a}{a \times I_x}$$

$$\tau = \frac{240 \times 9720}{1.5 \times 2 \times 622512} \times \left( \frac{150 + 150}{150} \right) = 2.49 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_a = \sqrt{\sigma^2 + \tau^2} = \sqrt{13.32^2 + 2.49^2} = 13.5 \text{ kN/cm}^2 < 24.1 \text{ kN/cm}^2 \quad (\text{uygun})$$

Arttırılmış deprem yüklemesi için kaynak tahkikleri yapılırsa;

$$N_{D+L\pm 2E} = 34000 \text{ kN}$$

$$\sigma = \left( \frac{34000}{441} \right) x \left( \frac{360}{1296} \right) = 21.4 \text{ kN/cm}^2 < 27.9 \text{ kN/cm}^2 \quad (\text{uygun})$$

40x420 mm'lik gövde takviye levhalarına ait kaynak hesabı yapılırsa;

Takviye levhalarını gövdeye bağlayan kaynak kalınlığı ve boyu gövdeyi başlığa bağlayan kaynak kalınlığı ve boyu ile aynı seçilmiştir.

Gövdeyi başlıklara bağlayan kaynak alanı :

$$F_a = 2xax(l - 2xa) = 2x1.5x(150 - 2x1.5) = 441 \text{ cm}^2$$

$$S_a = 2x21x4x(21/2) = 1764 \text{ cm}^3$$

$$\text{Seçilen elektrod: E11018-M} \quad \sigma_{v,EIY} = 26.5 \text{ kN/cm}^2, \sigma_{v,EIY*} = 30.7 \text{ kN/cm}^2$$

Gövdeyi başlıklara bağlayan kaynaklarda gerilme kontrolü:

$$\sigma = \left( \frac{16850}{441} \right) x \left( \frac{576}{1296} \right) = 16.98 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau = \frac{VxS_a}{axI_x}$$

$$\tau = \frac{240x1764}{1.5x2x622512} x \left( \frac{150 + 150}{150} \right) = 0.45 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_a = \sqrt{\sigma^2 + \tau^2} = \sqrt{16.98^2 + 0.45^2} = 16.99 \text{ kN/cm}^2 < 26.5 \text{ kN/cm}^2 \quad (\text{uygun})$$

Arttırılmış deprem yüklemesi için kaynak tahkikleri yapılırsa;

$$N_{D+L\pm 2E} = 34000 \text{ kN}$$

$$\sigma = \left( \frac{34000}{441} \right) x \left( \frac{576}{1296} \right) = 30.1 \text{ kN/cm}^2 < 30.7 \text{ kN/cm}^2 \quad (\text{uygun})$$

#### 4.5.5 2.-10. Kat Çekirdek Kolonları Takviye Plakaları Kaynak Hesabı

Boyutlandırma tahkikleri yapılmış olan HT 595X600 yapma profiline ait kaynak hesabında kullanılacak değerler aşağıda verilmiştir:

$$M_x = 60210 \text{ kNcm}, M_y = 60150 \text{ kNcm}, N = 11480 \text{ kN}, V = 300 \text{ kN}$$

$$I_x = 618120 \text{ cm}^4, I_y = 211593 \text{ cm}^4$$

40x420 mm'lik gövde takviye levhalarına ait kaynak hesabı yapılırsa;

Takviye levhalarını gövdeye bağlayan kaynak kalınlığı ve boyu gövdeyi başlığa bağlayan kaynak kalınlığı ve boyu ile aynı seçilmiştir.

Gövdeyi başlıklara bağlayan kaynak alanı :

$$F_a = 2xax(l - 2xa) = 2x1.5x(150 - 2x1.5) = 441\text{cm}^2$$

$$S_a = 2x21x4x(21/2) = 1764\text{cm}^3$$

Seçilen elektrod: E11018-M  $\sigma_{v,EIY} = 26.5\text{kN/cm}^2, \sigma_{v,EIY*} = 30.7\text{kN/cm}^2$

Gövdeyi başlıklara bağlayan kaynaklarda gerilme kontrolü:

$$\sigma = \left( \frac{11480}{441} \right) x \left( \frac{576}{1290} \right) = 11.62\text{kN/cm}^2$$

$$\tau = \frac{VxS_a}{axI_x}$$

$$\tau = \frac{300x1764}{1.5x2x618120} x \left( \frac{150 + 150}{150} \right) = 0.57\text{kN/cm}^2$$

$$\sigma_a = \sqrt{\sigma^2 + \tau^2} = \sqrt{11.62^2 + 0.57^2} = 11.63\text{kN/cm}^2 < 26.5\text{kN/cm}^2 \quad (\text{uygun})$$

Arttırılmış deprem yüklemesi için kaynak tahkikleri yapılırsa;

$$N_{D+L\pm 2E} = 34000\text{kN}$$

$$\sigma = \left( \frac{34000}{441} \right) x \left( \frac{576}{1290} \right) = 30\text{kN/cm}^2 < 30.7\text{kN/cm}^2 \quad (\text{uygun})$$

#### **4.5.6 11.-20. Kat Çekirdek Kolonları Takviye Plakaları Kaynak Hesabı**

Boyutlandırma tahkikleri yapılmış olan HT 550X590 yapma profiline ait kaynak hesabında kullanılacak değerler aşağıda verilmiştir:

$$M_x = 51580 \text{ kNcm}, \quad M_y = 62300 \text{ kNcm}, \quad N = 7470 \text{ kN}, \quad V = 350 \text{ kN}$$

$$I_x = 549813 \text{ cm}^4, \quad I_y = 166928 \text{ cm}^4$$

40x420 mm'lik gövde takviye levhalarına ait kaynak hesabı yapılırsa;

Takviye levhalarını gövdeye bağlayan kaynak kalınlığı ve boyu gövdeyi başlığa bağlayan kaynak kalınlığı ve boyu ile aynı seçilmiştir.

Gövdeyi başlıklara bağlayan kaynak alanı :

$$F_a = 2xax(l - 2xa) = 2x1.4x(140 - 2x1.4) = 384.1\text{cm}^2$$

$$S_a = 2 \times 21 \times 4 \times (21/2) = 1764 \text{ cm}^3$$

Seçilen elektrod: E8016-C1

$$\sigma_{v,EIY} = 19.3 \text{ kN/cm}^2, \sigma_{v,EIY*} = 22.3 \text{ kN/cm}^2$$

Gövdeyi başlıklara bağlayan kaynaklarda gerilme kontrolü:

$$\sigma = \left( \frac{7470}{384.1} \right) \times \left( \frac{477}{1137} \right) = 8.15 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau = \frac{V_x S_a}{a x I_x}$$

$$\tau = \frac{350 \times 1764}{1.4 \times 2 \times 540813} \times \left( \frac{140 + 140}{140} \right) = 0.81 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_a = \sqrt{\sigma^2 + \tau^2} = \sqrt{8.15^2 + 0.81^2} = 8.19 \text{ kN/cm}^2 < 19.3 \text{ kN/cm}^2 \quad (\text{uygun})$$

Arttırılmış deprem yüklemesi için kaynak tahkikleri yapılırsa;

$$N_{D+L \pm 2E} = 16770 \text{ kN}$$

$$\sigma = \left( \frac{16770}{384.1} \right) \times \left( \frac{477}{1137} \right) = 18.3 \text{ kN/cm}^2 < 22.3 \text{ kN/cm}^2 \quad (\text{uygun})$$

#### 4.5.7 21.-27. Kat Çekirdek Kolonları Takviye Plakaları Kaynak Hesabı

Boyutlandırma tahkikleri yapılmış olan HT 540X580 yapma profiline ait kaynak hesabında kullanılacak değerler aşağıda verilmiştir:

$$M_x = 55630 \text{ kNcm}, M_y = 63200 \text{ kNcm}, N = 6860 \text{ kN}, V = 330 \text{ kN}$$

$$I_x = 457380 \text{ cm}^4, I_y = 131776 \text{ cm}^4$$

40x420 mm'lik gövde takviye levhalarına ait kaynak hesabı yapılırsa;

Takviye levhalarını gövdeye bağlayan kaynak kalınlığı ve boyu gövdeyi başlığa bağlayan kaynak kalınlığı ve boyu ile aynı seçilmiştir.

Gövdeyi başlıklara bağlayan kaynak alanı :

$$F_a = 2 \times a \times (l - 2 \times a) = 2 \times 1.2 \times (120 - 2 \times 1.2) = 282.2 \text{ cm}^2$$

$$S_a = 2 \times 21 \times 4 \times (21/2) = 1764 \text{ cm}^3$$

Seçilen elektrod: E8016-C1

$$\sigma_{v,EIY} = 19.3 \text{ kN/cm}^2, \sigma_{v,EIY*} = 22.3 \text{ kN/cm}^2$$

Gövdeyi başlıklara bağlayan kaynaklarda gerilme kontrolü:

$$\sigma = \left( \frac{6860}{282.2} \right) \times \left( \frac{480}{1020} \right) = 11.43 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau = \frac{VxS_a}{axI_x}$$

$$\tau = \frac{330 \times 1764}{1.2 \times 2 \times 457380} \times \left( \frac{120 + 120}{120} \right) = 1 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_a = \sqrt{\sigma^2 + \tau^2} = \sqrt{11.43^2 + 1^2} = 11.47 \text{ kN/cm}^2 < 19.3 \text{ kN/cm}^2 \quad (\text{uygun})$$

Arttırılmış deprem yüklemesi için kaynak tahkikleri yapılırsa;

$$N_{D+L \pm 2E} = 9320 \text{ kN}$$

$$\sigma = \left( \frac{9320}{282.2} \right) \times \left( \frac{480}{1020} \right) = 15.54 \text{ kN/cm}^2 < 22.3 \text{ kN/cm}^2 \quad (\text{uygun})$$

## 5 YAPI ELEMANLARININ BİRLEŞİM HESAPLARI

Birleşim hesaplarında Türk Deprem Yönetmeliği'nde birleşim elemanları için verilen arttırılmış emniyet gerilmelerinin kullanılmamasına, kaynak ve bulon gibi gevrek birleşim elemanlarının çelik profiller kadar sünek davranış göstermeyeceği düşüncesiyle özen gösterilmiştir. Uygulamanın sakıncalı olduğu bu değerler aşağıda verilmiştir.

Tam penetrasyonlu kaynak:  $\sigma_a$

Kısmi penetrasyonlu küt kaynak ve köşe kaynağı:  $1.7 \sigma_{em}$

Bulonlu birleşimler:  $1.7 \sigma_{em}$

### 5.1 Kolon – Kolon Ek Detayı

Bulonlu olarak teşkil edilen kolon ekleri hesabında deprem yönetmeliğince uyulması gereken kurallara uyulacaktır. Bu kurallar aşağıdaki gibidir:

Tam penetrasyonlu küt kaynaklı veya bulonlu olarak yapılan kolon ekleri, kolon-kiriş birleşim yerinden en az net kat yüksekliğinin 1/3'ü kadar uzakta olacaktır. Köşe kaynağı ile veya tam penetrasyonlu olmayan küt kaynakla yapılan eklerde bu uzaklık, ayrıca 1.20 m'den az olmayacaktır [2].

Kolon ve kiriş eklerinin eğilme kapasitesi, eklenen elemanın eğilme kapasitesinden, kesme kuvveti ise Denklem 5.1'de verilen değerden az olmayacaktır. Ayrıca birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde, kolon eklerinin eksenel kuvvet kapasiteleri arttırılmış deprem yüklemelerinden oluşan basınç ve çekme kuvvetleri altında da (eğilme momentleri gözönüne alınmaksızın) yeterli olacaktır [2].

$$V_e = V_{dy} + 1.1x D_a x \frac{(M_{pi} + M_{pj})}{l_n} \quad (5.1)$$

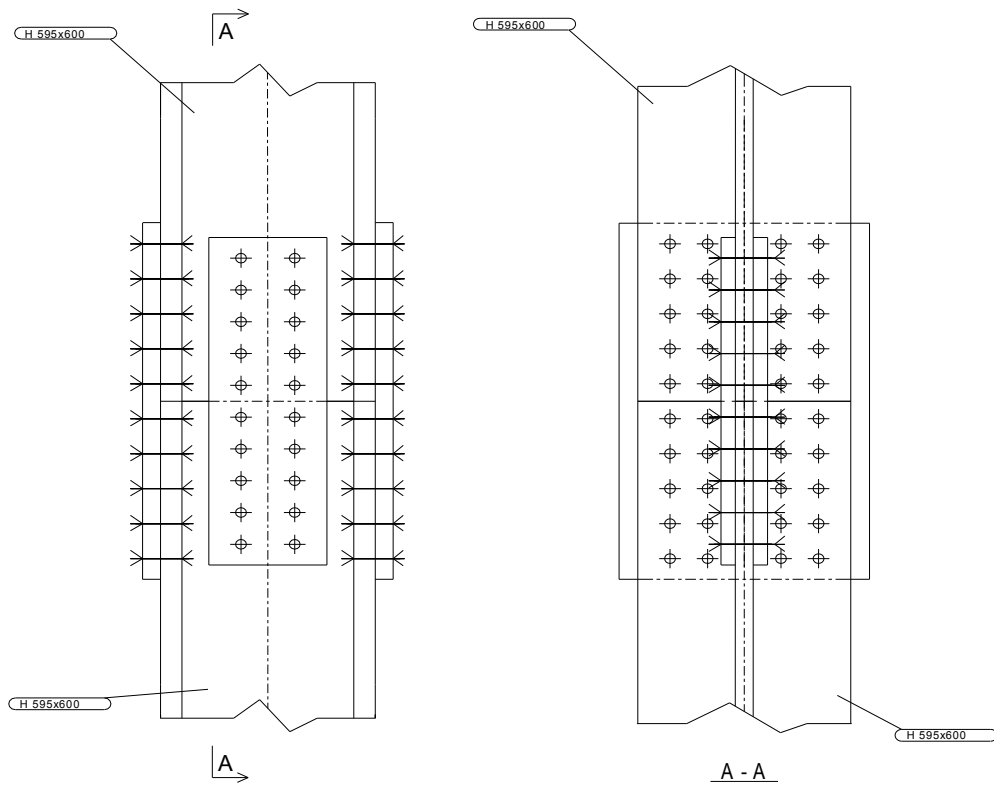
Kule tipi çok katlı çelik yapının kolon eklerinde üst kolon profilinin alt kolon profiline uygun olması halinde gövde ve başlık levhaları kullanılmıştır. Birleşim aracı olarak ise yüksek mukavemetli bulonlar seçilmiştir. Üst kattaki profilin alt

kattaki profilden küçük olması durumunda ise hem gövde hem de başlık plakalarının altında besleme plakaları yerleştirilmiştir.

Kolon eklerinde kolon profillerinin uçları temas etse dahi hesap şekli olarak seçilen tam ekte kolonun tam yükü esas alınmıştır. Temas yoluyla kuvvet aktarımı ihmal edilmiştir.

Uygulanan tam ek modelinde, gövde ve başlık levha enkesit alanları, üst kolon profili gövde ve başlık alanlarından az olmayacak şekilde tahkik yapılmıştır.

### 5.1.1 H 595X600- H 595X600 Kolon Eki



Şekil 5.1: Kolon ek detayı

Tablo 5.1: H 595X600 yapma profil kesit özellikleri

| h (cm)                            | b (cm)                            | t <sub>w</sub> (cm) | t <sub>f</sub> (cm) | h <sub>i</sub> (cm)               | A (cm <sup>2</sup> )              |                                    |
|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------|---------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| 60                                | 59.5                              | 5                   | 6                   | 48                                | 954                               |                                    |
| I <sub>y</sub> (cm <sup>4</sup> ) | I <sub>x</sub> (cm <sup>4</sup> ) | i <sub>x</sub> (cm) | i <sub>y</sub> (cm) | W <sub>x</sub> (cm <sup>3</sup> ) | W <sub>y</sub> (cm <sup>3</sup> ) | W <sub>px</sub> (cm <sup>3</sup> ) |
| 211144                            | 568728                            | 24.41               | 14.87               | 18957.6                           | 7097.3                            | 22158                              |

Kolon ekleri kullanılan profillerin boylarına ve kat yüksekliklerine bağlı olarak minimum 9 m, maksimum 11 m’de bir teşkil edilmiştir.

Kolon eki tam ek olarak tasarlanmasına rağmen temas ekinde olduğu gibi üst kolon profillerinin uç kesitleri otojen kesmeden sonra frezelenmiş veya bir testere kesimi ile düzgün kesilmiş olmalıdır.

Bilgisayar programından alınana en elverişsiz kesit tesirleri D+L+2E arttırılmış yükleme kombinasyonundan elde edilmiştir:

$$M_x=99540 \text{ kNcm} \quad N= 34000 \text{ kN} \quad V=430 \text{ kN}$$

Kolon ekleri olarak seçilen levhaların taşıdığı normal kuvvet, üst kolondan gelen arttırılmış kuvvetler altında kuvvet alanları oranında paylaştırılarak hesap edilmiştir.

Birleşim tipi : SLP

$$A_b = 6 \times 59.5 = 357 \text{ cm}^2$$

$$A_g = A - 2 \times A_b = 954 - 2 \times 357 = 240 \text{ cm}^2$$

$$N_b = N \times \left( \frac{A_b}{A} \right) = 34000 \times \left( \frac{357}{954} \right) = 12720 \text{ kN}$$

$$N_g = N - 2 \times N_b = 34000 - 2 \times 12720 = 8550 \text{ kN}$$

$$b_e = \text{Başlık levha genişliği} = 70 \text{ cm}$$

$$t_e = \text{Başlık levha kalınlığı} = 5 \text{ cm}$$

$$n=4$$

Birleşime giren en ince elemana göre levhada açılabilcek maksimum delik çapı:

$$d_{\max} \leq \sqrt{5t_{\min}} - 0.2 = \sqrt{5 \times 4} - 0.2 = 4.2 \text{ cm}$$

Seçilen bulon: M36 yüksek mukavemetli bulon;

$$F_{nek} = b_e x t_e - n x d x t_e \geq F_{nb} = b x t - n x d x t \quad (5.2)$$

$$F_{nek} = 70 \times 5 - 4 \times 3.7 \times 5 \geq 6 \times 59.5 - 4 \times 3.7 \times 6$$

$$F_{nek} = 276 \geq 268.2 \text{ cm}^2$$

$$h_e \text{ Gövde levhası genişliği} = 33 \text{ cm}$$

$$t_{e1} \text{ Gövde levhası kalınlığı} = 4 \text{ cm}$$

$$F_{neg} \text{ Profil gövde faydalı enkesit alanı}$$

$$F_{ng} \text{ Gövde plakası faydalı enkesit alanı}$$

$$F_{neg} = h_e x t_{e1} - n x d x t_{e1} \quad (5.3)$$

$$F_{ng} = h_t x t_w \quad (5.4)$$

$$F_{neg} \geq F_{ng} = 204.8 \geq 203 \text{ cm}^2 \quad (\text{uygun})$$

### 5.1.1.1 Gövde Levhası Bulon Hesabı

10 adet M36 yüksek mukavemetli bulonu kullanılırsa,

$t_{e1}$ : Gövde levhası kalınlığı

$$t_{e1} = 4 \text{ cm}$$

$h_e$ : Gövde levhası genişliği = 330 cm

Bulonların ağırlık merkezine uzaklıkları:

$$r_1 = 21.36 \text{ cm}$$

$$r_2 = 12.5 \text{ cm}$$

$$r_3 = 7.5 \text{ cm}$$

$$\sum r_i^2 = (2x r_3^2) + 4x(r_2^2 + r_1^2) = 2562.4 \text{ cm}^2$$

$$I_{ek} = I_{ekb} + I_{ekg} \quad (5.5)$$

$$I_{ek} = (2x b_e x t_e) x \left( h + \frac{t_e}{2} \right)^2 + 2x t_{e1} x (h_e^3 / 12) \quad (5.6)$$

$$I_{ekb} = (2x b_e x t_e) x \left( h + \frac{t_e}{2} \right)^2 = (2x 70 x 5) x \left( 60 + \frac{5}{2} \right)^2 = 739375 \text{ cm}^4$$

$$I_{ekg} = 2x t_{e1} x (h_e^3 / 12) = 2x 4 x (33^3 / 12) = 23958 \text{ cm}^4$$

$$I_{ek} = 763333 \text{ cm}^4$$

$$M_{ek} = M = 99540 \text{ kNcm}$$

$$M_{eb} = \frac{M_{ek}}{I_{ek}} x I_{ekb} \quad (5.7)$$

$$M_{eb} = \frac{99540}{763333} x 739375 = 96414 \text{ kNcm}$$

$$M_{eg} = \frac{M_{ek}}{I_{ek}} x I_{ekg} \quad (5.8)$$

$$M_{eg} = \frac{99540}{763333} x 23958 = 3124 \text{ kNcm}$$

$$Q_{eg} = 430 \text{ kN}$$

$$M'_{eg} = M_{eg} + Q_{eg} \times 26.25 = 3124 + 430 \times 26.25 = 14411 \text{ kNcm} \quad (5.9)$$

$$N_{1x}^M = r_1 x \frac{M'_{eg}}{\sum r_i^2} \quad (5.10)$$

$$N_{1x}^M = 21.36 x \frac{14411}{2562.4} = 120 \text{ kN}$$

$$N_{1y}^M = r_3 x \frac{M'_{eg}}{\sum r_i^2} \quad (5.11)$$

$$N_{1y}^M = 7.5 x \frac{14411}{2562.4} = 42 \text{ kN}$$

$m=10$  (Bulon sayısı)

$$N_{1q} = \frac{Q_{eg}}{m} = 43 \text{ kN} \quad (5.12)$$

$$N_1 = \sqrt{(N_{1x} + N_{1q})^2 + (N_{1y} + N_g / m)^2} \quad (5.13)$$

$$N_1 = \sqrt{(120 + 43)^2 + (42 + 855)^2} = 912 \text{ kN}$$

GVP tipi birleşimlerde;

$$N_{em}^{GVP} = N_{em}^{GV} + 1/2 x N_{em}^{SLP} \quad (5.14)$$

$$N_{em}^{GV} = P_v x \frac{v}{\mu} \quad (5.15)$$

M 36 Yüksek mukavemetli bulon için tam öngerme kuvveti:

$P_v$  Bulon öngerme kuvveti=510 kN

$v$  Kaymaya karşı emniyet katsayısı=1.1

$\mu$  Sürtünme katsayısı=0.55 alınmıştır.

$m$  (tesir sayısı)= 2

$$N_{em}^{GV} = 510 x \frac{1.1}{0.55} = 1020 \text{ kN}$$

SLP birleşim tipi için;

$$\tau_{sem,EIY} = 32 \text{ kN/cm}^2$$

$$N_{em}^{SLP} = m x \frac{\pi x d^2}{4} x \tau_{sem,EIY} = 2 x \frac{\pi x 3.7^2}{4} x 32 = 688 \text{ kN} \quad (5.16)$$

$$N_{em}^{GVP} = 1020 + \frac{688}{2} = 1364 \text{ kN}$$

$$N_{em}^{GVP} \geq N_1 = 912 \text{ kN} \quad (\text{uygun})$$

10 adet M36 yüksek mukavemetli bulonu kullanılırsa;

$$N = 13640 \text{ kN} \geq N_g = 8550 \text{ kN} \quad (\text{uygun})$$

GV ve GVP birleşimlerinde ayrıca ezilme tahkiki de yapılabilir:

$$N_{ez}^{GVP} = d x t_{\min} x \sigma_1 \quad (5.17)$$

$$N_{ez}^{GVP} / d x t_{\min} \leq \sigma_1 = 81 \text{ kN/cm}^2$$

$$N_{em}^{GVP} / d x t_{\min} = 1364 / 3.7 x 4 = 80 \text{ kN/cm}^2 \leq 81 \text{ kN/cm}^2$$

### 5.1.1.2 Başlık Levhası Bulon Hesabı

Birleşime giren en ince elemana göre levhada açılacak maksimum delik çapı:

$$d_{\max} \leq \sqrt{5t_{\min}} - 0.2 = \sqrt{5x5} - 0.2 = 4.8 \text{ cm}$$

Seçilen bulon: M 27 yüksek mukavemetli bulon

Birleşim tipi : GVP

M 27 Yüksek mukavemetli bulon için tam öngerme kuvveti:

$$P_v: \text{ Bulon öngerme kuvveti} = 290 \text{ kN}$$

$$m \text{ (tesir sayısı)} = 1$$

$$N_{em}^{GV} = 290 x \frac{1.1}{0.55} = 580 \text{ kN}$$

SLP birleşim tipi için;

$$\tau_{sem,EfY} = 32 \text{ kN/cm}^2$$

$$N_{em}^{SLP} = m x \frac{\pi x d^2}{4} x \tau_{sem,EfY} = 2 x \frac{\pi x 2.8^2}{4} x 32 = 394 \text{ kN}$$

$$N_{em}^{GVP} = 580 + \frac{394}{2} = 777 \text{ kN}$$

Momentten dolayı başlıkta oluşan aksenal kuvvet:

$$P_b = \frac{M_{eb}}{h} = \frac{96414}{60} = 1607 \text{ kN}$$

20 adet M27 yüksek mukavemetli bulonu kullanılırsa,

$$N = 13560 \text{ kN} \geq N_b = 12720 \text{ kN}$$

$$N = 13560 \text{ kN} \geq P_b = 1607 \text{ kN} \quad (\text{uygun})$$

GV ve GVP birleşimlerinde ayrıca ezilme tahkiki de yapılabilir:

$$N_{ez}^{GVP} = dxt_{\min} \times \sigma_1$$

$$N_{ez}^{GVP} / dxt_{\min} \leq \sigma_1 = 81 \text{ kN/cm}^2$$

$$N_{em}^{GVP} / dxt_{\min} = 777 / 2.8 \times 5 = 55.5 \text{ kN/cm}^2 \leq \sigma_1 = 81 \text{ kN/cm}^2$$

### 5.1.1.3 Gövde Levhası Tahkiki

Deprem Yönetmeliği Md. 4.6.5.2. gereğince;

$$V_{eklenen} = 0.6 \times \sigma_a \times A_k \quad (5.18)$$

$$V_{üstkolon} = 0.6 \times 48 \times 5 \times 3.6 = 515 \text{ kN}$$

$$V_{birleşim} = 2 \times 0.6 \times \sigma_a \times A_k$$

$$V_{birleşim} = 2 \times 0.6 \times \sigma_a \times h_e \times t_{e1} = 2 \times 0.6 \times 3.6 \times 33 \times 4 = 570 \text{ kN}$$

$$V_{üstkolon} \leq V_{birleşim} \quad (\text{uygun})$$

### 5.1.1.4 Başlık Levhası Tahkiki

$$M_p = W_p \times \sigma_a = 2081639 \text{ kN} \quad (5.19)$$

$$M_{pkolon} = 0.6 \times 22158 = 79768 \text{ kNcm}$$

$$M_{pbirleşim} = 36 \times (2 \times b_e \times t_e \times (t_e + h) + (t_{e1} + h_e^2)) = 1794816 \text{ kNcm}$$

$$M_{pkolon} / 2 \leq M_{pbirleşim}$$

$$39884 \text{ kNcm} \leq 1794816 \text{ kNcm} \quad (\text{uygun})$$

## 5.2 Kiriş – Kiriş Ek Detayı

### 5.2.1 HEB 550 Eki

Bilgisayar programından alınan en elverişsiz kesit tesirleri D+L+2E arttırılmış yükleme kombinasyonundan elde edilmiştir:

$$M_x = 141450 \text{ kNcm} \quad V = 430 \text{ kN}$$

Birleşim tipi : SLP

Başlık levhası genişliği:

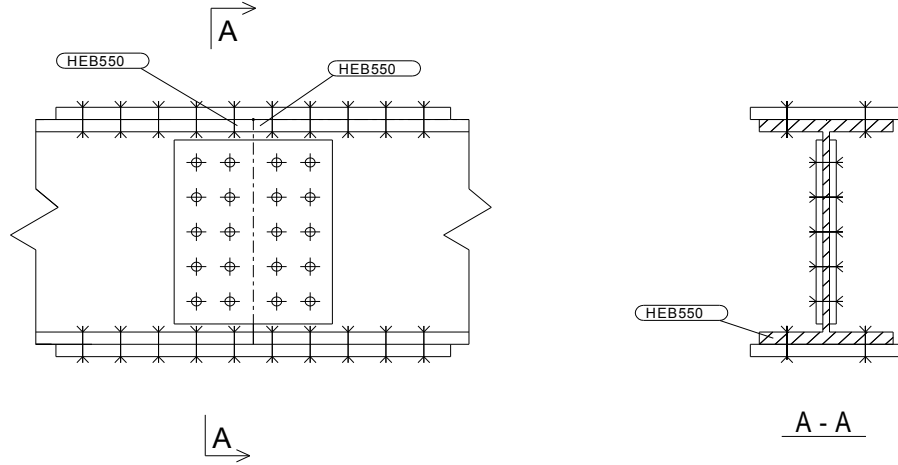
$$b_e = 34 \text{ cm}$$

Başlık levhası kalınlığı:

$$t_e = 3 \text{ cm}$$

$$n = 2$$

Seçilen bulon: M22 yüksek mukavemetli bulon



**Şekil 5.2:** Kiriş ek detayı

$$F_{nek} = 34x3 - 2x2.2x3 \geq F_{nb} = 30x3 - 2x2.2x3$$

$$F_{nek} = 88.8 \geq 74.2 \text{ cm}^2 \quad (\text{uygun})$$

### 5.2.1.1 Gövde Levhası Bulon Hesabı

Birleşime giren en ince elemana göre levhada açılabilen maksimum delik çapı:

$$d_{\max} \leq \sqrt{5t_{\min}} - 0.2 = \sqrt{5x1.5} - 0.2 = 2.5 \text{ cm}$$

M22 yüksek mukavemetli bulonu kullanılırsa,

$t$  = Gövde levhası kalınlığı

$$t = 1.5 \text{ cm}$$

Bulonların ağırlık merkezine uzaklıkları:

$$r_1 = 17.4 \text{ cm}$$

$$r_2 = 9.29 \text{ cm}$$

$$r_3 = 3.75 \text{ cm}$$

$$\sum r_i^2 = (2x r_3^2) + 4x(r_2^2 + r_1^2) = (2x3.75^2) + 4x(9.29^2 + 17.4^2) = 1585.6 \text{ cm}^2$$

$$I_{ek} = I_{ekb} + I_{ekg}$$

$$I_{ek} = (2xb_e xt_e)x\left(h + \frac{t_e}{2}\right)^2 = (2x34.3x3)x\left(55 + \frac{3}{2}\right)^2 = 17156.4\text{cm}^4$$

$$I_{ekg} = 2xt_{e1}x(h_e^3/12) = 2x1.5x(45^3/12) = 22781\text{cm}^4$$

$$I_{ek} = 194345\text{cm}^4$$

$$M_{ek} = \frac{M}{2} = \frac{141450}{2} = 70720\text{kNcm}$$

$$M_{eb} = \frac{M_{ek}}{I_{ek}}xI_{ekb}$$

$$M_{eb} = \frac{70720}{194345}x171564 = 62434\text{ kNcm}$$

$$M_{eg} = \frac{M_{ek}}{I_{ek}}xI_{ekg}$$

$$M_{eg} = \frac{70720}{194345}x22781 = 8290\text{ kNcm}$$

$$Q_{eg} = 430\text{kN}$$

$$M'_{eg} = M_{eg} + Q_{eg}x8.75 = 8290 + 430x8.75 = 12140\text{ kNcm}$$

$$N_{1x}^M = r_1x\frac{M'_{eg}}{\sum r_i^2}$$

$$N_{1x}^M = 17.4x\frac{12140}{1585.6} = 133.2\text{ kNcm}$$

$$N_{1y}^M = r_3x\frac{M'_{eg}}{\sum r_i^2}$$

$$N_{1y}^M = 3.75x\frac{12140}{1585.6} = 28.7\text{kN}$$

$$m=10 \text{ (Bulon sayısı)}$$

$$N_{1q} = \frac{Q_{eg}}{m} = 430\text{kN}$$

$$N_1 = \sqrt{(N_{1x} + N_{1q})^2 + (N_{1y})^2}$$

$$N_1 = \sqrt{(28.7 + 44)^2 + (133.2)^2} = 164\text{kN}$$

SLP birleşim tipi için (EİY) durumunda gerilme değerleri:

$$\sigma_{lem,EIY} = 71\text{kN/cm}^2$$

$$\tau_{sem,EIY} = 32\text{kN/cm}^2$$

$$m \text{ (tesir sayısı)} = 2$$

$$N_{em}^{SLP} = mx \frac{\pi x d^2}{4} x \tau_{sem,EIY} = 2x \frac{\pi x 2.3^2}{4} x 32 = 265\text{kN}$$

$$N_{ez} = dxt_{\min} x \sigma_{lem,EIY} = 2.3x71x1.2 = 195\text{kN}$$

$$N_{\min} = 195\text{kN}$$

$$N_{\min} = 195\text{kN} > N_1 = 164\text{ kN} \quad (\text{uygun})$$

### 5.2.1.2 Başlık Levhası Bulon Hesabı

Birleşime giren en ince elemana göre levhada açılabilcek maksimum delik çapı:

$$d_{\max} \leq \sqrt{5t_{\min}} - 0.2 = \sqrt{5x3} - 0.2 = 3.6\text{cm}$$

Seçilen bulon: M22 yüksek mukavemetli bulon

Birleşim tipi : SLP

$$m \text{ (tesir sayısı)} = 1$$

$$N_{ez} = dxt_{\min} x \sigma_{lem,EIY} = 2.3x71x2.9 = 473\text{kN}$$

$$N_{em}^{SLP} = mx \frac{\pi x d^2}{4} x \tau_{sem,EIY} = 1x \frac{\pi x 2.3^2}{4} x 32 = 132\text{kN}$$

$$N_{\min} = 132\text{kN}$$

$$Z = \frac{M_{eb}}{h} = \frac{62434}{55} = 1135\text{kN} \quad (5.20)$$

10 adet M22 yüksek mukavemetli bulonu kullanılırsa,

$$N = 1330\text{kN} > Z \quad (\text{uygun})$$

### 5.2.1.3 Gövde Levhası Tahkiki

Deprem Yönetmeliği Md. 4.6.5.2. gereğince;

$$V_{eklenen} = 0.6x\sigma_a x A_k$$

$$V_e = V_{dy} + 1.1xD_a x \frac{(M_{pi} + M_{pj})}{l_n}$$

$$V_e = 430 + 1.1x1.1x \frac{(2x20127)}{370} = 1740\text{kN}$$

$$V_{birleşim} = 2 \times 0.6 \times \sigma_a \times A_k$$

$$V_{birleşim} = 2 \times 0.6 \times 3.6 \times (43 - 50 \times 2.3) \times 1.5 = 2170.8 \text{ kN}$$

$$V_{üstkolon} \leq V_{birleşim} \quad (\text{uygun})$$

#### 5.2.1.4 Başlık Levhası Tahkiki

$$M_p = W_p \times \sigma_a = 2081639 \text{ kN}$$

$$M_{pkolon} = 0.6 \times 2787 = 20127 \text{ kNcm} \leq M_{pbirleşim}$$

$$M_{pbirleşim} = ((34 - 2 \times 2.3) \times (44.25^2) \times 3.6) \times 2 = 414482 \text{ kNcm}$$

$$M_{pkiriş} \leq M_{pbirleşim} \quad (\text{uygun})$$

### 5.3 Çapraz – Kolon, Kiriş Bağlantı Detayı

Çaprazların birleşim detaylarında, düşey yükler ve depremin ortak etkisinden oluşan iç kuvvetler altında gerekli gerilme kontrolleri yapılacaktır. Ayrıca, birleşimin taşıma kapasitesi aşağıda tanımlanan iç kuvvetlerden küçük olanını da sağlayacaktır [2]:

- Çaprazın eksenel kuvvet (çekme veya basınç) kapasitesi.
- Düğüm noktasına birleşen diğer elemanların kapasitelerine bağlı olarak, söz konusu çapraza aktarılabilecek en büyük eksenel kuvvet.

Çaprazların kolon ve kiriş birleşim detaylarında ayrıca aşağıdaki iki koşulu da sağlamalıdır:

- Düğüm noktası eğilme kapasitesi, düğüm noktasına birleşen çaprazların eğilme kapasitesinden az olmayacaktır.
- Düğüm noktası levhasının düzlem dışına burkulmasının önlenmesi amacıyla, çaprazın ucunun kiriş veya kolon yüzüne uzaklığı düğüm levhası kalınlığının iki katından daha fazla olmayacaktır. Buna uyulamadığı durumlarda, ilave berkitme levhaları kullanarak, düğüm levhasının düzlem dışına burkulması önlenecektir [2].

Bu aşamada düğüm noktası levhasının düzlem dışına burkulmasını önlemek amacıyla ‘Whitmore Kesit Analizi’ yapılmıştır. Whitmore kesiti olarak isimlendirilen kesit, birleşim bölgesinde gerilmenin en kritik olduğu kesittir. Çapraz üzerindeki kaynak veya bulon düzenine göre yeri belirlenen Whitmore kesiti için burkulma hesapları yapılmıştır. Whitmore kesit analizi için gerekli iki formül aşağıda verilmiştir.

$$P_{yplaka} = F_y x b_e x t \geq P_{y\text{çapraz}} \quad (\text{Çekme durumu}) \quad (5.21)$$

$$P_{kritik} = (E x \pi^2 / (K x L / r)) x b_e x t \geq P_{\max} \quad (\text{Basınç durumu}) \quad (5.22)$$

Yukarıdaki formüllerde:

$F_y$ : Akma dayanımı

$b_e$ : Whitmore kesit uzunluğu

$t$ : Düğüm noktası levha kalınlığı

$K$ : "Etkif uzunluk faktörü=1.2

$P_{\max}$  : Çapraz elemanına gelen maksimum yük (arttırılmış yükleme durumu)

Yukarıdaki formüller doğrultusunda kule tipi çok katlı çelik yapıda tüm çapraz elemanları birleşim bölgesinde burkulma analizi yapılmış ve ilave berkitme levhalarına ihtiyaç olmadığı sonucuna varılmıştır.

Çapraz kiriş ve kolon birleşimleri birleşim bölgesinde moment oluşturmayacak şekilde boyutlandırılmıştır. Birleşimde ilave moment oluşmaması için levha boyutları aşağıdaki denklemlerle saptanabilir:

$$\alpha - \beta \tan \theta = e_b \tan \theta - e_c \quad (5.23)$$

$$r = \sqrt{(\alpha + e_c)^2 + (\beta + e_b)^2} \quad (5.24)$$

$H$ : Çapraza etkiyen yatay kuvvet

$V$ : Çapraza etkiyen düşey kuvvet

$P$ : Çapraza etkiyen eksenel kuvvet

$e_b$ : Kirişin yarı yüksekliği

$e_c$ : Kolonun yarı yüksekliği

$\alpha$ : Kolon yüzeyinden guse levhasının merkezine olan uzaklık

$\beta$ : Kiriş yüzeyinden guse levhasının merkezine olan uzaklık

$R_b$  :Kirişe etkiyen kesme kuvveti

$R_b$  = Kirişe etkiyen eksenel kuvvet

$$V_c = P x \frac{\beta}{r} \quad (5.25)$$

$$H_c = P x \frac{e_c}{r} \quad (5.26)$$

$$H_b = P x \frac{\alpha}{r} \quad (5.27)$$

$$V_b = Px \frac{e_b}{r} \quad (5.28)$$

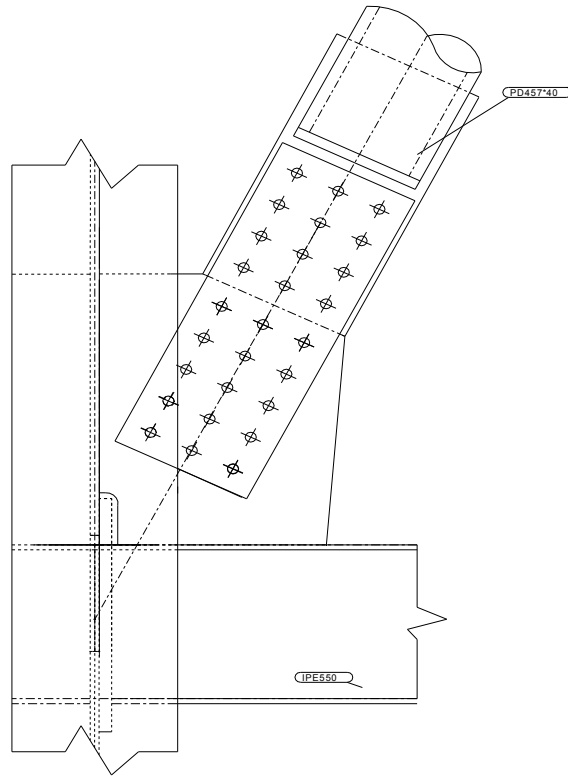
$$P_v = V_b \pm R_b \quad (5.29)$$

$$V = V_b + P_v \quad (5.30)$$

$$H = H_c + P_h \quad (5.31)$$

$$P_h = A_b + H_b \quad (5.32)$$

### 5.3.1 PD457\*40- H 540X580-IPE 550 Birleşimi



**Şekil 5.3:** Çapraz-kiriş-kolon bağlantı detayı

**Tablo 5.2:** PD457\*40 kesit özellikleri

| Profil   | D (mm) | t (mm) | A (cm <sup>2</sup> ) | W(cm <sup>3</sup> ) | i (cm) |
|----------|--------|--------|----------------------|---------------------|--------|
| PD457*40 | 457    | 40     | 524                  | 5031                | 14,8   |

Çapraz-kolon-kiriş birleşimi için bilgisayar programından alınan en elverişsiz çapraz eksenel kuvveti D+L+2E arttırılmış yükleme kombinasyonundan elde edilmiştir:

$$P=7650 \text{ kN}$$

$$e_b = 27.5\text{cm}$$

$$e_c = 29\text{cm}$$

$$\tan\theta = 0.5$$

$$\alpha - \beta \tan\theta = e_b \tan\theta - e_c \rightarrow \alpha = 24.37\text{cm}$$

$$\beta = 79.28\text{ cm}$$

$$r = \sqrt{(24.37 + 29)^2 + (79.28 + 27.5)^2} = 119.37\text{cm}$$

$$V_c = Px \frac{\beta}{r} = 5080\text{kN}$$

$$H_c = Px \frac{e_c}{r} = 1858\text{kN}$$

$$H_b = Px \frac{\alpha}{r} = 1561\text{ kN}$$

$$V_b = Px \frac{e_b}{r} = 1762\text{ kN}$$

### 5.3.1.1 Düğüm Levhasını Kiriş Başlığına Bağlayan Kaynak Kontrolü

Seçilen elektrod: E11018-M (Bkz. Tablo 1.2)

$$\sigma_{v,ElY} = 26.5\text{kN/cm}^2, \sigma_{v,ElY*} = 30.7\text{kN/cm}^2$$

$$a = 2\text{cm}$$

$$l = 2xa = 2 \times 24.37 = 48.74\text{cm}$$

$$F_k = 2xa(l - 2xa) = 2 \times 2 \times (48.74 - 2 \times 2) = 178.96\text{cm}^2$$

$$\tau_{kem} = 0.4x\sigma_a$$

$$\tau_k = \frac{H_b}{F_k} = \frac{1561}{178.96} = 8.72\text{kN/cm}^2 \leq \tau_{kem} = 36 \times 0.4 = 14.4\text{kN/cm}^2 \quad (5.33)$$

$$\sigma_k = \frac{V_b}{F_k} = \frac{1762}{93.48} = 18.8\text{kN/cm}^2 \quad (5.34)$$

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_k^2 + \tau_k^2} = \sqrt{18.8^2 + 8.72^2} = 20.7\text{kN/cm}^2 \leq 26.5\text{kN/cm}^2 \quad (5.35)$$

### 5.3.1.2 Düğüm Levhasını Kolon Yüzüne Bağlayan Kaynak Kontrolü

Seçilen elektrod: E11018-M (Bkz. Tablo 1.2)

$$\sigma_{v,ElY} = 26.5\text{kN/cm}^2, \sigma_{v,ElY*} = 30.7\text{kN/cm}^2$$

$a = 2\text{cm}$  seçilirse;

$$l = 2 \times 2 \times 79.8 + 4 = 321.12\text{cm}$$

$$F_k = ax(l - 2xa) = 2x(321.12 - 2x2) = 634.24\text{cm}^2$$

$$P_h = 1795\text{kN}$$

$$R_b = 400\text{kN}$$

$$P_v = 21.62\text{kN}$$

$$V = 72.42\text{kN}$$

$$H = 3420\text{kN}$$

$$\tau_{kem} = \sigma_a \times 0.4$$

$$\tau_k = \frac{V}{F_k} = \frac{7242}{634.24} = 11.41\text{kN/cm}^2 \leq \tau_{kem} = 36 \times 0.4 = 14.4\text{kN/cm}^2$$

$$\sigma_k = \frac{H}{F_k} = \frac{3420}{372.2} = 10.4\text{kN/cm}^2$$

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_k^2 + \tau_k^2} = \sqrt{10.4^2 + 11.41^2} = 15.44\text{kN/cm}^2 \leq 26.5\text{kN/cm}^2 \quad (\text{uygun})$$

### 5.3.1.3 Whitmore Kesiti Analizi

Çapraz birleşiminde basınçlı durumda Whitmore burkulma kontrolü yapılırsa;

$$P_{kritik} = (Ex\pi^2 / (KxL / r))xb_e xt \geq P_{\max}$$

$$P_{kritik} = (Ex\pi^2 / (KL / r))xb_e xt = (21000x\pi^2 / (1.2x32.8 / 4))x32.8x4$$

$$P_{kritik} = 280841\text{kN} \geq P_{\max} = 7650\text{kN} \quad (\text{uygun})$$

Birleşimde düğüm nokta levhasının üzerine teşkil edilecek olan berkitme levhalarına ihtiyaç yoktur.

Çapraz birleşiminde çekme durumunda Whitmore akma kontrolü yapılırsa;

$$P_{yplaka} = F_yxb_e xt \geq P_{yçapraz}$$

$$P_{yplaka} = 36x32.8x4 = 4723\text{kN} \geq P_{yçapraz} = 4200\text{kN} \quad (\text{uygun})$$

### 5.3.1.4 Levha Gerilme Kontrolleri

Çapraz elemanı içine yerleştirilen levhada gerilme kontrolü:

$$t=4\text{cm}$$

Faydalı enkesit alanı:

$$F_{nek} = 88 \times 4 - 3 \times 3.7 \times 4 = 310 \text{ cm}^2$$

$$F_{nek} \leq F_{nboru} = 524 - 2 \times 4 \times 4 = 492 \text{ cm}^2 \quad (\text{uygun})$$

$$\sigma = \frac{P}{F} \leq \sigma_{em} = 24.8 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma = \frac{7650}{310} = 24.6 \text{ kN/cm}^2 \leq 24.8 \text{ kN/cm}^2 \quad (\text{uygun})$$

Birleşim elemanı olan bulonlu levhada gerilme kontrolü:

$$t=4 \text{ cm}$$

Faydalı enkesit alanı:

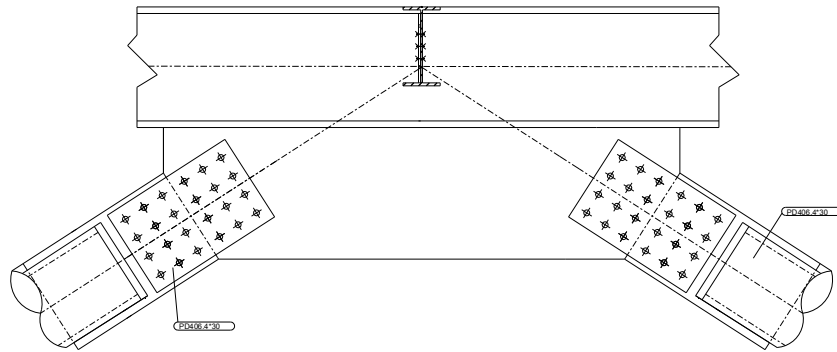
$$F_{nek} = 90 \times 4 - 3 \times 3.7 \times 4 = 315.6 \text{ cm}^2$$

$$\sigma = \frac{P}{F} \leq \sigma_{em} = 24.8 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma = \frac{7650}{315.6} = 24.2 \text{ kN/cm}^2 \leq 24.8 \text{ kN/cm}^2 \quad (\text{uygun})$$

## 5.4 Çapraz – Kiriş Bağlantı Detayı

### 5.4.1 PD406.4\*30-IPE 550 Birleşimi



**Şekil 5.4:** Çapraz-kiriş bağlantı detayı

Ana kirişe merkezi olarak bağlanan çapraz hesabı için aşağıdaki adımlar dikkate alınmıştır.

Diğer birleşim tiplerinde olduğu gibi en elverişsiz yükleme  $D+L+2E$  artırılmış deprem kombinasyonunda görülmektedir.

**Tablo 5.3:** PD406\*30 kesit özellikleri

| Profil     | D(mm) | t (mm) | A (cm <sup>2</sup> ) | W(cm <sup>3</sup> ) | i (cm) |
|------------|-------|--------|----------------------|---------------------|--------|
| PD406.4*30 | 406,4 | 30     | 355                  | 3111                | 13,3   |

Çapraz elemanına gelen maksimum eksenel kuvvet:

$$P = 4580 \text{ kN}$$

#### 5.4.1.1 Çaprazların Bulon Birleşimlerinin Kontrolü

Birleşime giren en ince elemana göre levhada açılabilen maksimum delik çapı:

$$d_{\max} \leq \sqrt{5t_{\min}} - 0.2 = \sqrt{5 \times 4} - 0.2 = 4.2 \text{ cm}$$

Seçilen bulon: M30 yüksek mukavemetli bulon

Birleşim Tipi: SL

SL birleşimi için;

$$\sigma_{lem, E\dot{I}Y} = 64 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{sem, E\dot{I}Y} = 27 \text{ kN/cm}^2$$

$$m \text{ (tesir sayısı)} = 2$$

$$N_{ez} = d \times t_{\min} \times \sigma_{lem, E\dot{I}Y} = 3.1 \times 64 \times 4 = 794 \text{ kN}$$

$$N_{mke} = m \times \frac{\pi \times d^2}{4} \times \tau_{sem, E\dot{I}Y} = 2 \times \frac{\pi \times 3.1^2}{4} \times 27 = 407 \text{ kN}$$

$$N_{\min} = 407 \text{ kN}$$

12 adet M30 bulonu kullanılırsa;

$$n = 12$$

$$n \times N_{\min} = 12 \times 407 = 4890 \text{ kN} \geq P = 4580 \text{ kN} \quad (\text{uygun})$$

#### 5.4.1.2 Çaprazların Kaynaklı Birleşimlerinin Kontrolü

Seçilen elektrod: E11018-M (Bkz. Tablo 1.2)

$$\sigma_{v, E\dot{I}Y} = 26.5 \text{ kN/cm}^2, \sigma_{v, E\dot{I}Y*} = 30.7 \text{ kN/cm}^2$$

$$t_{\min} = 3 \text{ cm}$$

$$a = 2.1 \text{ cm}$$

$$l_1 = 4 \times (40 - a) = 152 \text{ cm}$$

$$l_2 = 4 \times 40 = 160 \text{ cm}$$

$$F_{k1} = l_1 x a = 320 \text{cm}^2$$

$$F_{k2} = l_2 x a = 259 \text{cm}^2$$

$$\tau_{kem} = \sigma_a x 0.4$$

$$\tau_k = \frac{P}{F_{k1}} = 14.3 \text{kN/cm}^2 \leq \tau_{kem} = 36 x 0.4 = 14.4 \text{kN/cm}^2$$

$$\sigma_k = \frac{P}{F_{k2}} = 13.9 \text{kN/cm}^2$$

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_k^2 + \tau_k^2} = \sqrt{13.9^2 + 14.3^2} = 19.95 \text{kN/cm}^2 \leq 26.5 \text{kN/cm}^2 \quad (\text{uygun})$$

#### 5.4.1.3 Düğüm Levhası Kaynak Kontrolü

Seçilen elektrod: E10016-D2 (Bkz. Tablo 1.2)

$$\sigma_{v,EIY} = 24.1 \text{kN/cm}^2, \sigma_{v,EIY*} = 27.9 \text{kN/cm}^2$$

$$t_{\min} = 1.72 \text{cm}$$

$$a = 1 \text{cm}$$

$$l = 325 \text{cm}$$

$$F_k = l x a = 325 \text{cm}^2$$

$$\alpha = 35.82^\circ$$

$$P_d = P \cos \alpha = 3811 \text{ kN}$$

$$P_y = P \sin \alpha = 5500 \text{ kN}$$

$$\tau_{kem} = \sigma_a x 0.4$$

$$\tau_k = \frac{P_y}{F_k} = 14.09 \text{kN/cm}^2 \leq \tau_{kem} = 36 x 0.4 = 14.4 \text{kN/cm}^2$$

$$\sigma_k = \frac{P_d}{F_k} = 13.4 \text{kN/cm}^2$$

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_k^2 + \tau_k^2} = 23.5 \text{kN/cm}^2 \leq 24.1 \text{kN/cm}^2 \quad (\text{uygun})$$

#### 5.4.1.4 Whitmore Kesiti Analizi

Çapraz birleşiminde basınçlı durumunda Whitmore burkulma kontrolü yapılırsa;

$$P_{kritik} = (Ex\pi^2 / (KxL / r)) x b_e x t \geq P_{\max}$$

$$P_{kritik} = (Ex\pi^2 / (KL / r)xb_e xt) = (21000x\pi^2 / (1.2x42 / 4)x42x4)$$

$$P_{kritik} = 219324\text{kN} \geq P_{\max} = 4580\text{kN} \quad (\text{uygun})$$

Birleşimde düğüm nokta levhasının üzerine teşkil edilecek olan berkitme levhalarına ihtiyaç yoktur.

Çapraz birleşiminde çekme durumunda Whitmore akma kontrolü yapılırsa;

$$P_{yplaka} = F_yxb_e xt \geq P_{y\text{çapraz}}$$

$$P_{yplaka} = 36x42x4 = 6048\text{kN} \geq P_{y\text{çapraz}} = 3500\text{kN} \quad (\text{uygun})$$

#### 5.4.1.5 Levha Gerilme Kontrolleri

Çapraz elemanı içine yerleştirilen levhada gerilme kontrolü:

$$t=4\text{cm}$$

Faydalı enkesit alanı:

$$F_{nek} = 4x42 - 4x3.1x4 = 185\text{cm}^2$$

$$F_{nek} \leq F_{nboru} = 355 - 2x4x3 = 331\text{cm}^2 \quad (\text{uygun})$$

$$\sigma = \frac{P}{F} \leq \sigma_{em} = 24.8\text{kN/cm}^2$$

$$\sigma = \frac{P}{F} = \frac{4580}{185} = 24.7\text{kN/cm}^2 \leq 24.8\text{kN/cm}^2 \quad (\text{uygun})$$

Birleşim elemanı olan bulonlu levhada gerilme kontrolü:

$$t=4\text{cm}$$

Faydalı enkesit alanı:

$$F_{nek} = 4x47 - 4x3.1x4 = 198\text{cm}^2$$

$$\sigma = \frac{P}{F} \leq \sigma_{em} = 24.8\text{kN/cm}^2$$

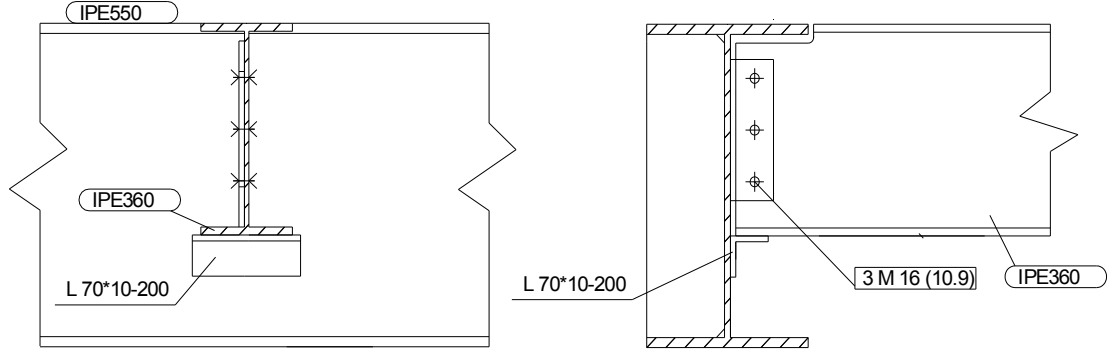
$$\sigma = \frac{P}{F} = \frac{4580}{198} = 23.1\text{kN/cm}^2 \leq 24.8\text{kN/cm}^2 \quad (\text{uygun})$$

### 5.5 Ana Kiriş – Tali Kiriş Bağlantı Detayı

#### 5.5.1 HEB 550-IPE 360 Birleşimi

##### 5.5.1.1 Bulon Hesabı

Döşeme kirişi ile ana kiriş bağlantısı moment aktarmayan bir birleşimdir.



**Şekil 5.5:** Ana kiriş-tali kiriş birleşim detayı

Birleşim Tipi :SL

Birleşime giren en ince elemana göre levhada açılabilcek maksimum delik çapı:

$$d_{\max} \leq \sqrt{5t_{\min}} - 0.2 = \sqrt{5 \times 0.8} - 0.2 = 1.8 \text{ cm}$$

Seçilen bulon: M16 yüksek mukavemetli bulon

$b$  :Bulonlar arasındaki düşey uzaklık

$$b = 17.6 \text{ cm}$$

$a$  : Bulonların merkezi ile ana kiriş gövdesi arasındaki uzaklık

$$a_1 = 5.05 \text{ cm}$$

IPE 360 kirişinin gövde bulonlarında;

$$V = 50 \text{ kN}$$

$$M = Vxa_1 = 50 \times 5.05 = 252.5 \text{ kNcm}$$

$f$ : Bulon düzenine göre belirlen bir katsayı= 1

$$H = Mxf / b = 252.5 \times 1 / 17.6 = 14.34 \text{ kNcm} \quad (5.36)$$

$$R = \sqrt{V^2 + H^2} = \sqrt{50^2 + 14.34^2} = 52.01 \text{ kN} \quad (5.37)$$

SL Birleşim tipi için;

$$\sigma_{lem,EY} = 57 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{sem,EY} = 24 \text{ kN/cm}^2$$

$m$  (tesir sayısı)= 1

$$N_{ez} = dxt_{\min} \times \sigma_{lem,EY} = 1.6 \times 57 \times 0.8 = 72.9 \text{ kN}$$

$$N_{mke} = mx \frac{\pi d^2}{4} \times \tau_{sem,EY} = 1 \times \frac{\pi \times 1.6^2}{4} \times 24 = 24.1 \text{ kN}$$

$$N_{\min} = 24.1 \text{ kN}$$

3 adet M16 bulonu kullanılırsa;

$$n=3$$

$$n \times N_{\min} = 72.3 \text{ kN} \geq R = 52.01 \text{ kN} \quad (\text{uygun})$$

#### 5.5.1.2 Kiriş Azalan Gövde Kontrolü

$$F_g = (0.8 \times 29.8) - (3 \times 1.6 \times 0.8) = 20 \text{ cm}^2$$

$$\tau = \frac{R}{F_g} = 2.6 \text{ kN/cm}^2 \leq \tau_{em,EY} = 13.5 \text{ kN/cm}^2 \quad (\text{St52}) \quad (\text{uygun})$$

#### 5.5.1.3 Nervür Levhasındaki Kaynak Kontrolü

Seçilen elektrod: E8016-C1 (Bkz. Tablo 1.2)

$$\sigma_{v,EIY} = 19.3 \text{ kN/cm}^2, \sigma_{v,EIY*} = 22.3 \text{ kN/cm}^2$$

$$a = 0.7 \text{ cm}$$

$$l = 24 \text{ cm}$$

$$F_k = l \times a = 24 \times 0.7 = 16.8 \text{ cm}^2$$

$$W_k = 2 \times l^2 \times a / 6 = 2 \times 24^2 \times 0.7 / 6 = 134.4 \text{ cm}^3$$

$$\tau_{kem} = \sigma_a \times 0.4$$

$$\tau_k = \frac{V}{F_k} = \frac{50}{16.8} = 2.97 \text{ kN/cm}^2 \leq \tau_{kem} = 14.4 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_k = \frac{V \times a}{W_k} = \frac{50 \times 0.7}{134.4} = 1.87 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_k^2 + \tau_k^2} = \sqrt{1.87^2 + 2.97^2} = 3.5 \text{ kN/cm}^2 \leq \sigma_{v,EIY} = 19.3 \text{ kN/cm}^2$$

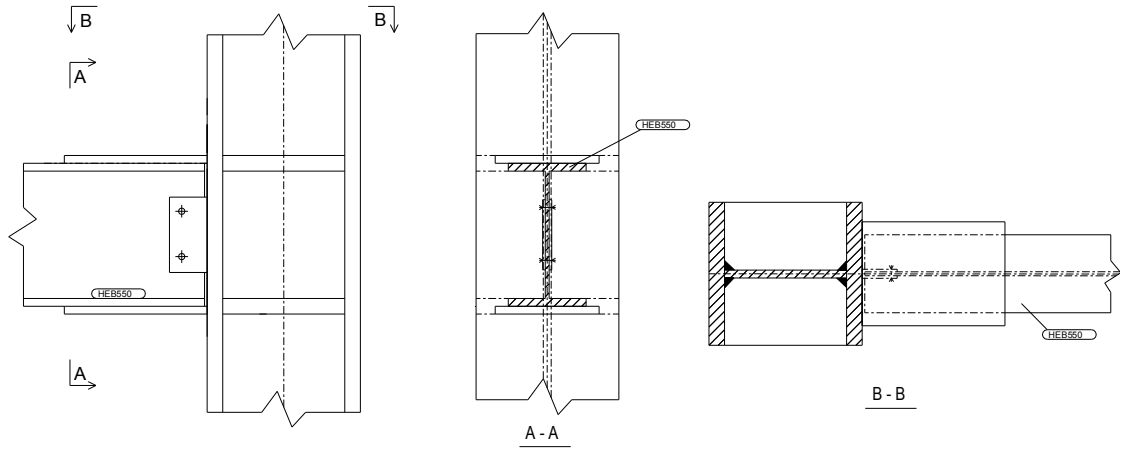
### 5.6 Rijit Kolon – Kiriş Birleşim Detayları

#### 5.6.1 H 540X580-HEB 550 Ek Başlık Levhalı Kaynaklı Birleşimi

Kolon-kiriş birleşim tasarımında yönetmeliklerde belirtilen 0.03 radyan plastik dönme kapasitesine sahip olduğu deneylerle ispatlanmış olan kolon-kiriş birleşimleri esas alınacaktır [3].

Kiriş açıklığı:

$$L = 1365 \text{ cm}$$



**Şekil 5.6:** . Ek başlık levhalı kaynaklı kolon-kiriş birleşim detayı

Seçilen kiriş takviye levhası genişliği:

$$L_p = 55\text{cm}$$

Seçilen kiriş takviye levhası genişliği:

$$b_p = 40\text{cm}$$

Kolon ekseninden itibaren plastik mafsallın yeri:

$$S_h = \frac{d_c}{2} + L_p = \frac{58}{2} + 55 = 84\text{cm} \quad (5.38)$$

Plastik mafsall noktasında  $V_p$  kesme kuvveti değeri için gravatasyonel yükler hesaba katılır.

$$V_p = \frac{M_{pr} + M_{pr} + \left( \frac{Px l'}{2} \right) + \left( \frac{wx(l')^2}{2} \right)}{l'} = 717\text{kN} \quad (5.39)$$

Kolon başlık yüzeyindeki moment:

$$M_f = M_{pr} + L_p \times V_p = 5591 \times 36 + 55 \times 717 = 240711 \text{ kNcm} \quad (5.40)$$

Kolon ağırlık eksenini üzerindeki moment:

$$M_c = M_{pr} + S_h \times V_p = 5591 \times 36 + 84 \times 717 = 261504 \text{ kNcm} \quad (5.41)$$

Kiriş takviye levhası kalınlığı:

$$t_p = \frac{M_f}{\sigma_y \times b_p \times (d_b + \frac{t_{pla} + t_{plü}}{2})} = 3\text{cm} \quad (5.42)$$

Bu formülde;

$d_b$ : Kiriş kesit yüksekliği,

$t_{pla}, t_{plü}$  : Alt üst giriş başlığı takviye levhalarının kalınlığıdır.

$t_{pla} = t_{plü}$  alınarak ikinci derecede bilinmeyen denklem çözümü yapılmıştır.

$$t_p = \frac{M_f}{\sigma_y x b_p x (d_b + \frac{t_{pla} + t_{plü}}{2})} = \frac{240711}{36x40x(55 + \frac{t_{pla} + t_{plü}}{2})} = 3\text{cm bulunmuştur.}$$

### 5.6.1.1 Kayma Bölgesi Kontrolü

$t_p$  : Kayma bölgesi toplam et kalınlığı

Kayma bölgesinin kesme kapasitesi:

$$V_n = 0.6x\sigma_y x d_c x t_p x \left[ 1 + \frac{3xb_{cf}xt_{cf}^2}{d_c x d_b x t_p} \right] \quad (5.43)$$

Bu formülde;

$d_c$  : Kolon kesit yüksekliği,

$t_{cf}$  : Kolon başlık kalınlığı,

$b_{cf}$  : Kolon başlık genişliğidir

Kayma bölgesi kesme kuvveti dayanımı:

$$V_{ke} = 0.8x \sum M_p x \left( \frac{1}{d_b} + \frac{1}{H_{ort}} \right) = 2595\text{kN} \quad (5.44)$$

$$V_n = 0.6x36x58x3x \left[ 1 + \frac{3x54x5^2}{58x55x3} \right] = 4903\text{kN}$$

$$V_{ke} \leq V_n$$

Takviye levhalarına ihtiyaç yoktur.

### 5.6.1.2 Süreklilik Levhası Kontrolü

Süreklilik levhası kalınlığı:

$$t_{cf} \geq 0.4x\sqrt{1.8xb_{bf}xt_{bf}} = 0.4x\sqrt{1.8x40x50} = 24\text{cm} \geq 5\text{cm} \quad (5.45)$$

$$t_{cf} \geq \frac{40}{6} = 6.66\text{cm} \geq 5\text{cm} \quad (5.46)$$

Süreklilik levhasına ihtiyaç olmadığı sonucuna varılmıştır.

#### 5.6.1.3 Başlık Ek Levhası Kaynak Boyu Hesabı

$$l_k = \frac{M_f}{d_c \times 0.707 \times \min(t_p, t_{pl}) \times \tau_{em}} \quad (5.47)$$

$$l_k = \frac{240711}{55 \times 0.707 \times 3 \times 19.3} = 106 \text{cm} \leq 2L_p + b = 150 \text{cm} \quad (\text{uygun})$$

#### 5.6.1.4 Gövde Kayma Elemanı Kaynak Boyu Hesabı

Levha kalınlığı:

$$t = 10 \text{cm}$$

$$a = 0.7 \text{cm}$$

$$l = 57.9 \text{cm}$$

Levha düşey uzunluğu:

$$HL = l / 2 = 29 \text{cm}$$

Levha yatay uzunluğu:

$$BL = 145 \text{cm}$$

#### 5.6.2 H 550X590-IPE 550 Alın Levhalı Bulonlu Birleşimi

Birleşim detayı Şekil 5.7’de verilmiştir.

Kiriş açıklığı:

$$L = 610 \text{cm}$$

Seçilen alın levhası kalınlığı:

$$t_{pl} = 4 \text{cm}$$

Seçilen guse levhası kalınlığı:

$$t_s = 4 \text{cm}$$

Seçilen alın levhası genişliği:

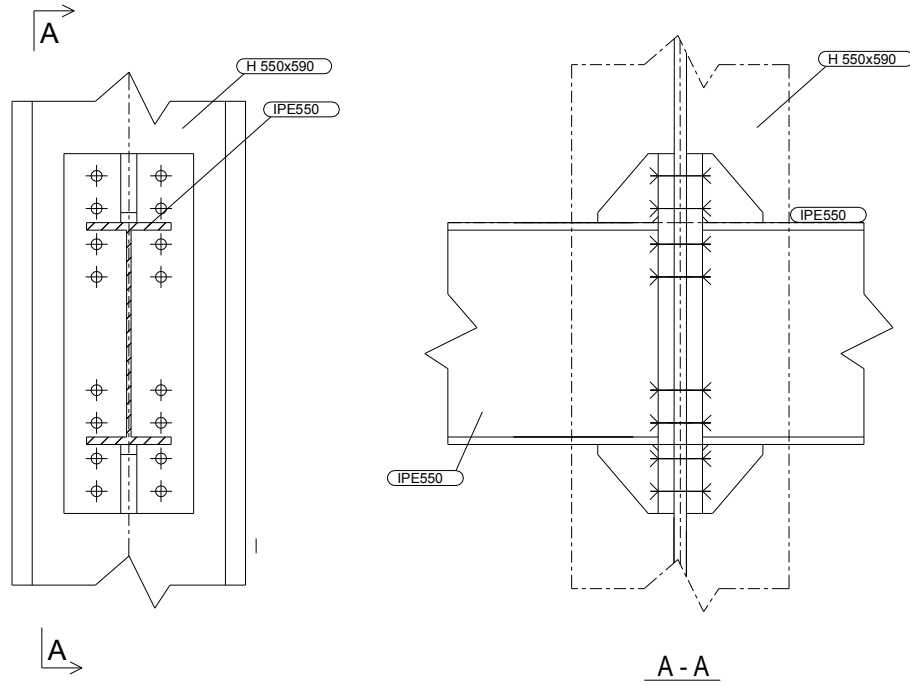
$$b_p = 32.2 \text{cm}$$

Seçilen guse levhası genişliği:

$$L_{st} = 15 \text{cm}$$

Kolon ekseninden itibaren plastik mafsallın yeri:

$$S_h = \frac{d_c}{2} + L_{st} + t_{pl} \quad (5.48)$$



**Şekil 5.7:** . Alın levhali bulonlu kolon-kiriş birleşim detayı

$$S_h = 29.5 + 15 + 4 = 48.5 \text{ cm}$$

$$V_p = \frac{M_{pr} + M_{pr} + \left( \frac{Px l'}{2} \right) + \left( \frac{wx(l')^2}{2} \right)}{l'} = 433 \text{ kN}$$

Kolon başlık yüzeyindeki moment:

$$M_f = M_{pr} + (L_{st} + t_{pl})xV_p \quad (5.49)$$

$$M_f = 10033.2 + (15+4)x433 = 108425 \text{ kNcm}$$

Kolon ağırlık eksenini üzerindeki moment:

$$M_c = M_{pr} + S_h x V_p$$

$$M_c = M_{pr} + S_h x V_p = 10033.2 + 48.5 x 433 = 120992 \text{ kNcm}$$

### 5.6.2.1 Bulon Hesabı

Birleşime giren en ince elemana göre levhada açılabilcek maksimum delik çapı:

$$d_{\max} \leq \sqrt{5t_{\min}} - 0.2 = \sqrt{5x3} - 0.2 = 3.6 \text{ cm}$$

Seçilen bulon: M 27 yüksek mukavemetli bulon

$T_{ub}$ : Bir bulonun dışdibi enkesiti ile taşıyabileceği maksimum aksenal çekme kuvveti

$$T_{ub} = \sigma_{zem} x \frac{0.86 x d^2}{4} = 10 x \frac{0.86 x 2.7^2}{4} = 423 \text{ kN} \quad (5.50)$$

$$d_0 = 57.6 \text{ cm}$$

$$d_1 = 40.8 \text{ cm}$$

$$T_{ub} = 423 \text{ kN} \geq \frac{M_f}{3.4 x (d_0 + d_1)} = \frac{108425}{3.4 x (57.6 + 40.8)} = 324 \text{ kN} \quad (\text{uygun}) \quad (5.51)$$

Burada  $d_{bt}$  bulon çapıdır.

$d_b$ : Kiriş kesit yüksekliği

$t_{bf}$ : Kiriş başlık kalınlığı

$M_f$  momentinden dolayı başlıklara etkiyen  $F_{fu}$ :

$$F_{fu} = \frac{M_f}{d_b - t_{bf}} \quad (5.52)$$

$$F_{fu} = \frac{M_f}{d_b - t_{bf}} = \frac{108425}{55 - 1.72} = 2035 \text{ kN}$$

M27 Yüksek mukavemetli bulon için tam öngerme kuvveti:

$$P_v = 290 \text{ kN}$$

$$T_{ub} \geq \frac{0.00218559 x P_f^{0.591} x F_{fu}^{2.583}}{t_p^{0.895} x d_{bt}^{1.909} x t_s^{0.327} x b_p^{0.965}} + P_v \quad (5.53)$$

$$T_{ub} \geq \frac{0.00218559 x 3.5^{0.591} x 2035^{2.583}}{4^{0.895} x 2.7^{1.909} x 4^{0.327} x 32.2^{0.965}} + 290 = 330.7 \text{ kN}$$

$$T_{ub} = 423 \text{ kN} \geq 330.7 \text{ kN} \quad (\text{uygun})$$

Bulon enkesit alanı:

$$A_b = \frac{\frac{2M_f}{L - d_c} + V_g}{n x \tau_{sem}} \quad (5.54)$$

$$A_b \geq \frac{\frac{2 x 108425}{610 - 59} + 200}{16 x 32} \rightarrow \frac{\pi x 2.7^2}{4} = 5.7 \text{ cm}^2 \geq 1.15 \text{ cm}^2 \quad (\text{uygun})$$

### 5.6.2.2 Alın Levhası Tahkiki

$$t_p = 4 \text{ cm}$$

$$t_p \geq \frac{0.0386428xP_f^{0.9}xF_{fu}xg^{0.6}}{d_{bt}^{0.9}xt_s^{0.1}xb_p^{0.7}} \quad (5.55)$$

$$t_p \geq \frac{0.0386428x3.5^{0.9}x2035x16^{0.6}}{2.7^{0.9}x4^{0.1}x32.2^{0.7}} = 3.9\text{cm} \quad (\text{uygun})$$

$$t_p \geq \frac{0.047451xP_f^{0.25}xF_{fu}xg^{0.15}}{d_{bt}^{0.7}xt_s^{0.15}xb_p^{0.3}} \quad (5.55a)$$

$$t_p \geq \frac{0.047451x3.5^{0.25}x2035x16^{0.15}}{2.7^{0.7}x4^{0.15}x32.2^{0.3}} = 2.8\text{cm} \quad (\text{uygun})$$

### 5.6.2.3 Kaynak Hesabı

Kirişin kolon yüzünde düşey yüklerden oluşan kesme kuvvetine göre hesap yapılır.

Seçilen elektrod: E8016-C1 (Bkz. Tablo 1.2)

$$\sigma_{v,EIY} = 19.3\text{kN/cm}^2, \sigma_{v,EIY*} = 22.3\text{kN/cm}^2$$

$$V_e = V_{dy} + 1.1xD_a x \left( \frac{M_{pi} + M_{pj}}{l'} \right) = 482\text{kN}$$

$$a = 0.7\text{cm}$$

$$\tau_{kem} = 0.4x\sigma_a = 14.4\text{kN/cm}^2$$

$$\tau_k = \frac{V_e}{F_k} = 14.4\text{kN/cm}^2$$

$$F_k = 33.27\text{cm}^2$$

$$l = \frac{F_k}{a} = 47.8\text{cm} \quad (\text{uygun})$$

### 5.6.2.4 Süreklilik Levhası Kontrolü

Süreklilik levhası kalınlığı için:

$$t_{cf} = 6\text{cm}$$

$$t_{cf} > 0.4x\sqrt{1.8xb_{bf}xt_{bf}} = 0.4x\sqrt{1.8x21x1.72} = 3.2\text{cm} \quad (\text{uygun})$$

$$t_{cf} > b_{bf} / 6 = 9.7\text{cm} > 3.5\text{cm} \quad (\text{uygun})$$

Süreklilik levhasına ihtiyaç olmadığı sonucuna varılmıştır.

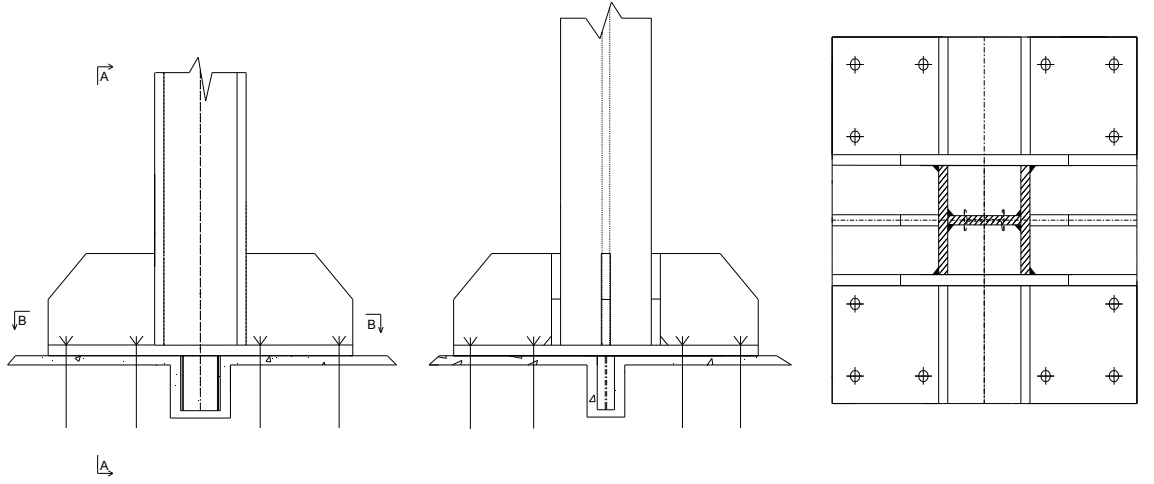
## 5.7 Ankastre Kolon Ayak Detayı

### 5.7.1 HT 600X600 Takviyeli Yapma Profil Kolon Ayağı

Deprem Yönetmeliği uyarınca;

Çelik taşıyıcı sistem elemanlarının temel bağlantı detaylarında, düşey yükler ve depremin ortak etkisinden oluşan mesnet tepkileri esas alınarak gerekli gerilmeleri kontrolleri yapılacaktır. Ayrıca, temel bağlantı detayının taşıma kapasitesi aşağıda tanımlanan iç kuvvetlerden küçük olanlarını da sağlayacaktır:

-Temele birleşen kolonun eğilme momenti kapasitesinin 1.1Da katından oluşan eğilme momenti ile temele birleşen kolon ve çaprazların aksenal yük kapasitelerinin 1.1Da katından oluşan toplam düşey ve yatay kuvvetler.



**Şekil 5.8:** . Kolon ayak detayı

-Arttırılmış yüklemelerden meydana gelen iç kuvvetlerdir.

Tasarımı yapılan kolon ayağı ile ilgili detay Şekil 5.8’de gösterilmiştir.

Normal kuvvet ve yatay kuvvetle beraber momentin aktarılması ankastre kolon ayakları ile mümkündür. Taban levhası üzerinde oluşan kuvvet akışı SAP 2000 sonlu eleman modeli uygulanarak incelenmiştir. Bunun nedeni büyük momentlerin kolon ayaklarında oluşması ve taban levhasının iki ekseninde de moment karşılayabilecek şekilde boyutlandırılması gerekmesidir.

Tasarlanan kolon ayak detayının Sap 2000 modelinde, ankraj bulonlarının olduğu noktalara mesnet, beton tepkisi olarak da elastik yaylar konulmuştur. Bu şekilde hem levhalardaki hem de beton ve ankrajdaki gerilme değerleri elde edilmiştir.

Söz konusu kolon ayağında düşey kuvvet, yatay kuvvet ve moment etkilerinin güvenli bir şekilde aktarılması köşe kaynak dikişleriyle sağlanacaktır. Kolon ayak detayında düşey kuvvet ile moment düşey kaynak kordonlarıyla guse levhalarına, yatay kuvvet ise kolon gövdesini taban levhasına bağlayan dikişler aracılığıyla temele iletilecektir. Yatay kuvvetlerin temele aktarımı ise taban levhası altına kaynaklanan kama elemanı ile gerçekleştirilecektir. Birleşimleri yapılan bütün çelik elemanların gerilme tahkikleri yapılmıştır.

#### **5.7.1.1 Kolon Ayak Detayı Sonlu Eleman Model Analizi**

Çekirdek kolona ait kolon ayak detayı sonlu eleman bilgisayar modeli Şekil 5.9’da verilmiştir.

Bilgisayar programından alınan en elverişsiz kesit tesirleri, arttırılmış yüklemelerden olan D+L+2E kombinasyonundan doğan yüklerdir.

Maksimum basınç için kolon üzerindeki iç kuvvetler:

$$M_x = 97320 \text{ kNcm}, M_y = 32000 \text{ kNcm}, N = 34000 \text{ kN}, V = 320 \text{ kN}$$

Maksimum çekme gerilmesi için kolon üzerindeki iç kuvvetler:

$$M_x = 98100 \text{ kNcm}, M_y = 37000 \text{ kNcm}, N = -10000 \text{ kN}, V_x = 330 \text{ kN}, V_y = 270 \text{ kN}$$

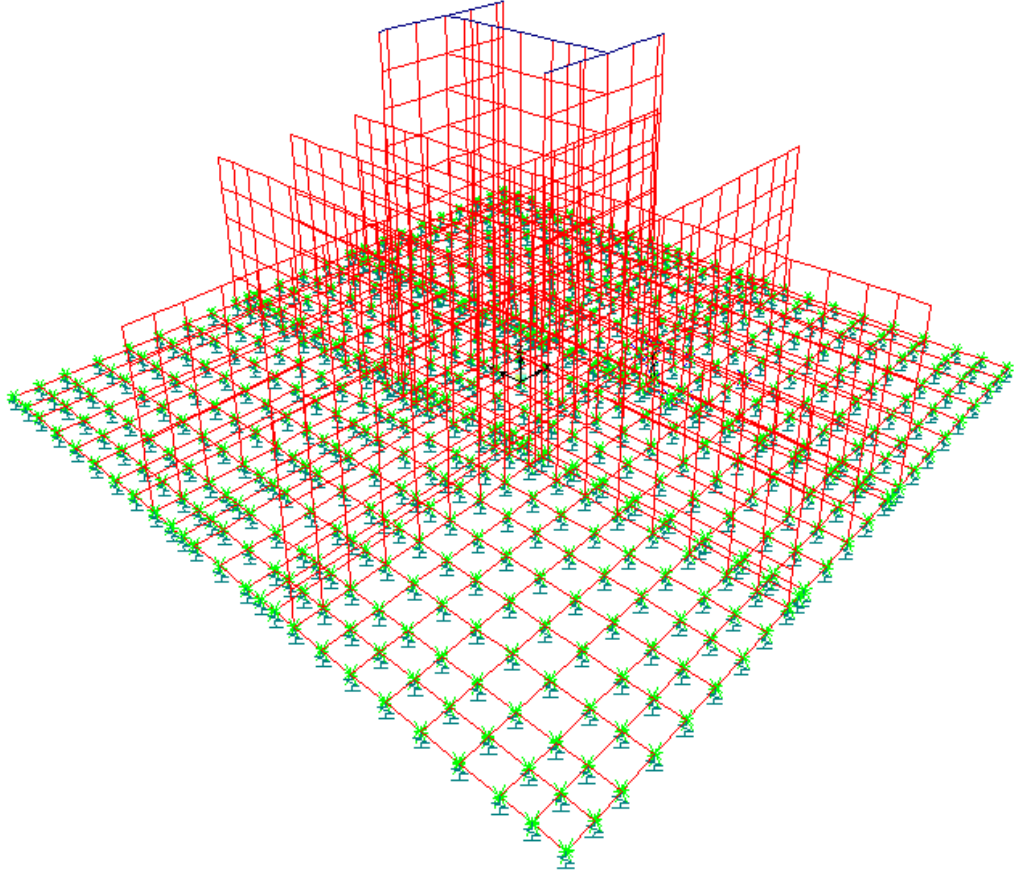
Taban plakasının boyutları aşağıdaki gibi seçilmiştir:

$$A = B = 200 \text{ cm}$$

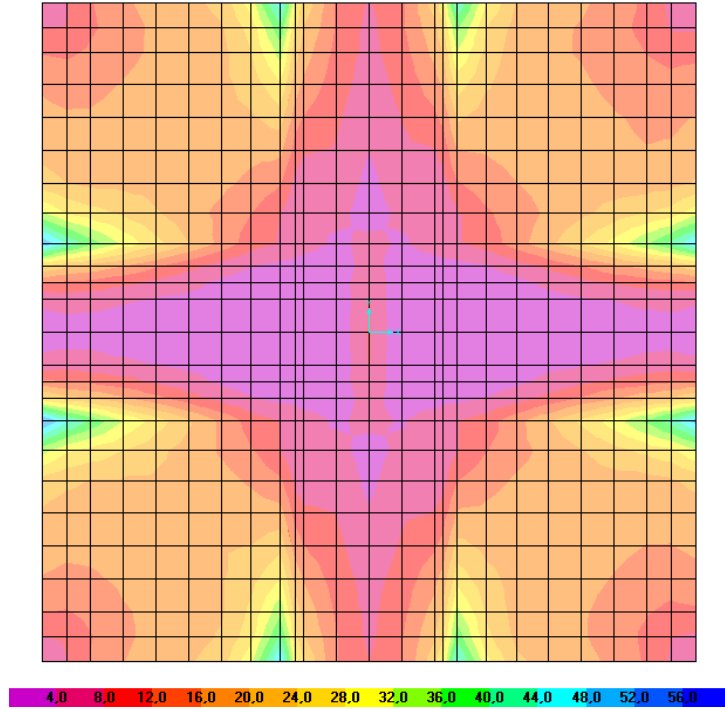
Taban levhası üzerinde oluşan maksimum Von Misses gerilmesi:

Maksimum basınç gerilmesi durumu için taban levhası üzerinde oluşan Von Misses gerilme dağılımı Şekil 5.10’da, basınç gerilmesi dağılımı Şekil 5.11’de gösterilmiştir. EİY yüklemesi için Von Misses sınır gerilmesi  $0.80 \times \sigma_a$  alınmıştır.

$$\sigma_{vm} = 26.9 \text{ kN/cm}^2 < \sigma_a = 0.80 \times 36 = 28.80 \text{ kN/cm}^2 \quad (\text{uygun})$$



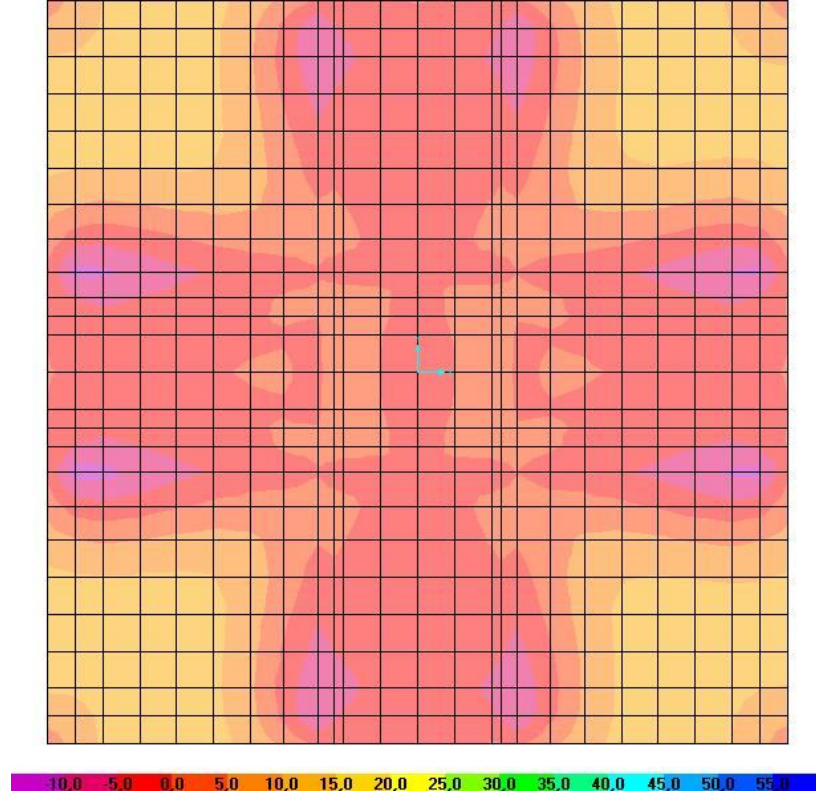
Şekil 5.9: Çekirde kolonu taban levhası sonlu eleman bilgisayar modeli



Şekil 5.10: Taban levhası basınç durumu Von Misses gerilmesi

Taban levhası üzerinde oluşan maksimum basınç gerilmesi:

$$\sigma_{b.\max} = 25.7 \text{ kN/cm}^2 < \sigma_{b.\text{emn}} = 1.33 \times 21 = 27.93 \text{ kN/cm}^2 \quad (\text{uygun})$$



**Şekil 5.11:** Taban levhası Basınç Gerilmesi

Ele alınan kombinasyonda basınç kuvvetinin büyük olması sebebiyle taban levhası üzerinde moment etkisi azalmış ve ankrajlar üzerinde çekme kuvveti çıkmamıştır.

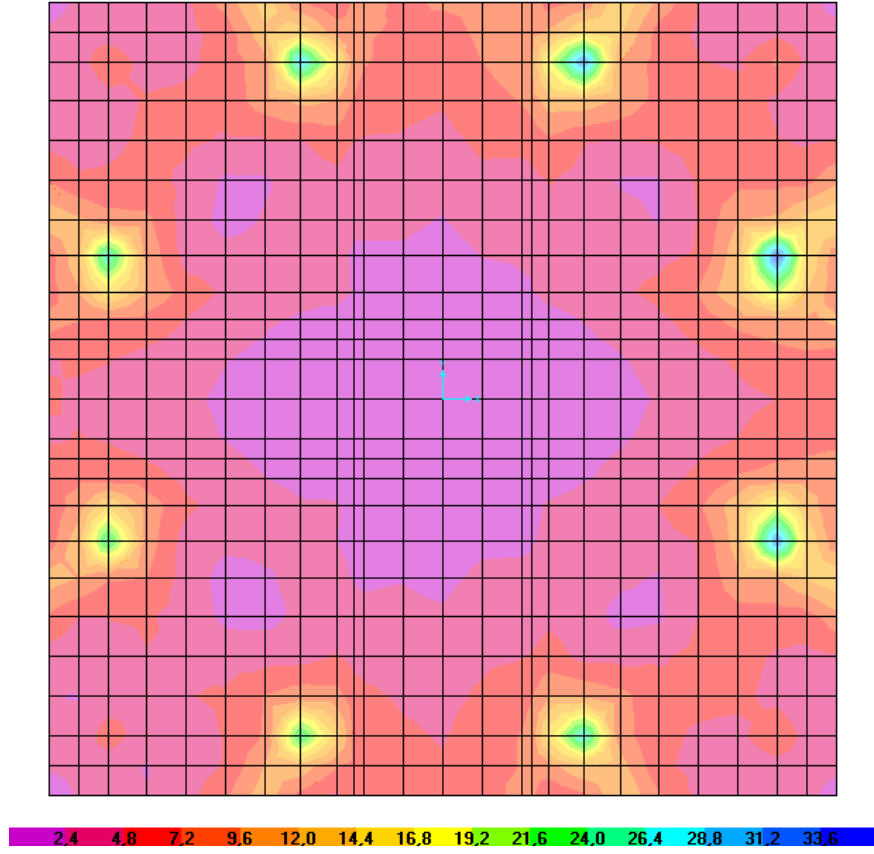
Maksimum çekme durumu için taban levhası üzerinde oluşan Von Misses gerilme dağılımı Şekil 5.12’de, çekme gerilme dağılımı Şekil 5.13’te gösterilmiştir.

Taban levhası üzerinde oluşan maksimum Von Misses gerilmesi:

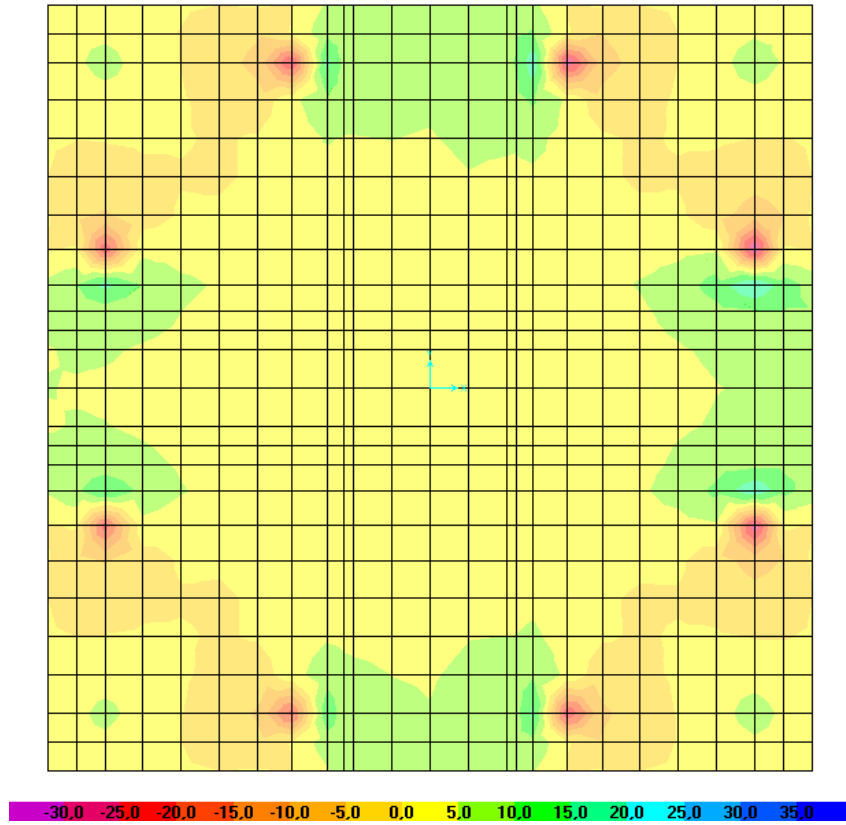
$$\sigma_{vm} = 27.5 \text{ kN/cm}^2 < \sigma_a = 0.80 \times 36 = 28.80 \text{ kN/cm}^2 \quad (\text{uygun})$$

Taban levhası üzerinde oluşan maksimum çekme gerilmesi:

$$\sigma_{\varsigma.\max} = 27.9 \text{ kN/cm}^2 < \sigma_{\varsigma.\text{emn}} = 1.33 \times 24.00 = 31.92 \text{ kN/cm}^2 \quad (\text{uygun})$$



**Şekil 5.12:** Taban levhası çekme durumu Von Misses gerilmesi



**Şekil 5.13:** Taban levhası çekme gerilmesi

### 5.7.1.2 Beton Basınç Gerilmesi Kontrolü

Beton basınç gerilmesi kontrolü için taban levhası üzerinde modellenen en büyük yay kuvveti okunursa:

$$p_{\max} = \frac{40.6}{29.06} = 1.39 \text{ kN/cm}^2 < p_{\text{emn}} = 1.70 \text{ kN/cm}^2 \sqrt{\quad} \quad (\text{BS40}) \quad (5.56)$$

### 5.7.1.3 Guse Levhalarını Kolon Başlığına Bağlayan Kaynak Hesabı

Seçilen elektrod: E11018-M (Bkz. Tablo 1.2)

$$\sigma_{Ely} = 26.5 \text{ kN/cm}^2, \sigma_{Ely*} = 30.7 \text{ kN/cm}^2$$

Levha kalınlığı = 6 cm

Levha üzerindeki en büyük zorlama:

$$P = \frac{N}{8} - \frac{M}{4xh} = 4655 \text{ kN} \quad (5.57)$$

Levha yüksekliği:  $L = 50$  cm alınır;

$$a = 4 \text{ cm}$$

$$F_k = ax(l - 2xa) = 336 \text{ cm}^2$$

$$\tau_k = \frac{P}{F_k} = \frac{4655}{336} = 13.8 \text{ kN/cm}^2 \leq \tau_{\text{kem}} = 14.4 \text{ kN/cm}^2 \quad (\text{uygun})$$

### 5.7.1.4 Guse Levhalarının Uç Kesitlerinde Gerilme Tahkiki

$$y_g = \frac{Axtxt_1 + 3xLxt_1x\left(\frac{t_1}{2} + t\right)}{(Axt) + 3xLxt_1} = 41.4 \text{ cm} \quad (5.58)$$

$$I_{xx} = 9701693 \text{ cm}^4$$

$$M_D = Dx((A - h)/2) - A/8 = 768824 \text{ kNcm} \quad (5.59)$$

$$\sigma = \frac{M_D}{I_{xx}} x(L + b + y_g) = 3.4 \text{ kN/cm}^2 \leq 24.8 \text{ kN/cm}^2 \quad (5.60)$$

### 5.7.1.5 Guse Levhasını Taban Levhasına Bağlayan Kaynak Hesabı

Seçilen elektrod: E11018-M (Bkz. Tablo 1.2)

$$\sigma_{Ely} = 26.5 \text{ kN/cm}^2, \sigma_{Ely*} = 30.7 \text{ kN/cm}^2$$

$$S_x = 167343 \text{ cm}^3$$

$$D = 17084 \text{ kN}$$

$$a = 4 \text{ cm}$$

$$\tau_k = \frac{S_x x D}{I_{xx} x a x 4} = 14.3 \text{ kN/cm}^2 \leq \tau_{kem} \quad (\text{uygun})$$

#### 5.7.1.6 Ankraj Bulonu ve Ankraj Profili Kontrolü

Ankraj bulonu için yapılan tahkiklerde bir yüksek mukavemetli ankraj bulonun emniyetle taşıyabileceği çekme kuvveti:

$$Z_{bulon} = \frac{\pi \times d^2}{4} \times \frac{\sigma_s}{v} \quad (5.61)$$

$\sigma_s$  : 10.9 kalitesindeki ankraj bulonları için  $\sigma_s = 90 \text{ kN/cm}^2$  alınmıştır.

$v$  : emniyet katsayısıdır,  $v = \begin{cases} 2.5 & (\text{EY yüklemede}) \\ 2.2 & (\text{EİY yüklemede}) \end{cases}$  alınır.

Ankraj bulonlarının beton içinde çekme kuvvetini aktarabilmesi için ankraj profilleri kullanılmıştır.

Ankraj profillerinin üst başlık yüzeyi ile beton arasında basınç gerilmesi kontrolü:

$$p = \frac{Z}{2 \times b \times l} \leq p_{em} \quad (5.62)$$

Ankraj profillerinde eğilme gerilmesi kontrolü:

$$e > 0.207 \times l \quad \text{ise} \quad M = \frac{Z \times e^2}{2 \times l} \quad (5.63)$$

$$e < 0.207 \times l \quad \text{ise} \quad M = \frac{Z}{2} \times \left( \frac{l}{4} - e \right) \quad (5.64)$$

$$\sigma = \frac{M}{2 \times W} < \sigma_{em} \quad (5.65)$$

Bu formüllerde;

$b, l$  : ankraj profili başlığının boyu ve genişliği,

$e$  : ankraj profilinin ucundan ankraj bulonuna mesafedir.

Ankraj bulonlarında oluşan maksimum çekme kuvveti:

$$Z_{\max} = 700 \text{ kN}$$

Taban levhasında 10.9 kalitesinde  $4 \times 3$  adet M 72 ankraj bulonu kullanılırsa bir ankraj bulonun taşıyabileceği kuvvet değeri:

$$Z_{\text{bulon}} = \frac{\pi \times (0.86 \times 7.2)^2}{4} \times \frac{90}{2.2} = 1231.89 \text{ kN} > Z_{\max} = 700 \text{ kN} \quad (\text{uygun})$$

Çekme kuvvetinin temele aktarılması için ankraj profilleri kullanılmıştır. Ankraj profili olarak St52 kalitesinde [ 240 tercih edilmiştir.

Ankraj profillerinin üst başlık yüzeyi ile beton arasında basınç gerilmesi tahkiki:

$$p = \frac{2 \times 1500}{2 \times 8.50 \times 170.80} = 1.03 \text{ kN/cm}^2 < p_{em} = 1.70 \text{ kN/cm}^2 \quad (\text{uygun})$$

Ankraj profillerinde eğilme gerilmesi tahkiki:

$$e = 45.40 \text{ cm} > 0.207 \times 170.80 = 35.36 \text{ cm} \Rightarrow M = \frac{2 \times 700 \times 45.40^2}{2 \times 170.80} = 8447 \text{ kNcm}$$
$$\sigma = \frac{8447}{2 \times 300} = 14.07 \text{ kN/cm}^2 < \sigma_{em} = 1.33 \times 21 = 27.93 \text{ kN/cm}^2 \quad (\text{uygun})$$

#### 5.7.1.7 Kolon Gövdesini Taban Levhasına Bağlayan Kaynak Hesabı

Seçilen elektrod: E10016-D2 (Bkz. Tablo 1.2)

$$\sigma_{E1Y} = 24.1 \text{ kN/cm}^2, \sigma_{E1Y*} = 27.9 \text{ kN/cm}^2$$

$$a = 3 \text{ cm}$$

$$V = 320 \text{ kN}$$

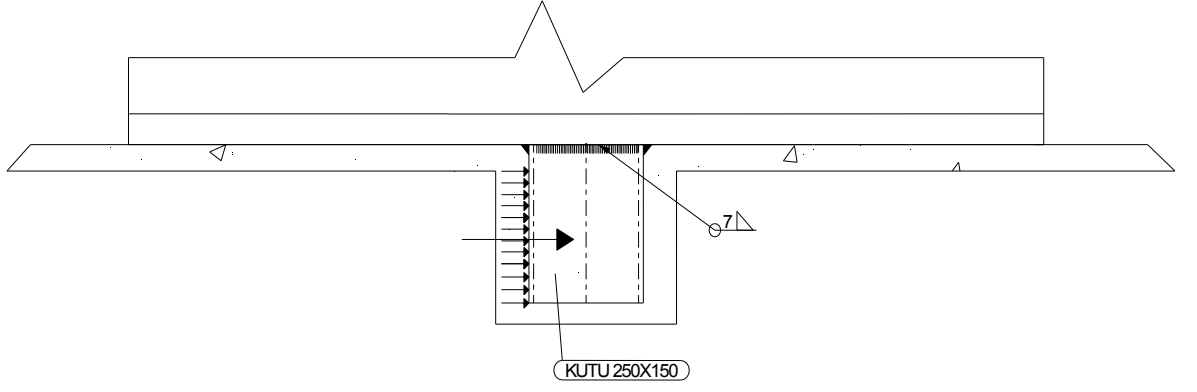
$$F_k = 2xax(48 - 2xa) = 252 \text{ cm}^2$$

$$\tau_k = \frac{V}{F_k} = 12.6 \text{ kN/cm}^2 \leq \tau_{kem} \quad (\text{uygun})$$

#### 5.7.1.8 Kama Hesabı

Seçilen eleman KUTU 250x150

1cm et kalınlığındaki KUTU 250x150 profilinin teşkili Şekil 5.14’de verilmiştir.



**Şekil 5.14:** . Kama elemanının teşkili

$$t' = 5\text{cm}$$

$$l = 25\text{cm}$$

$$l_k' = 15\text{cm}$$

$$b_k = 25\text{cm}$$

Kamaya her iki yönden aktarılan kesme kuvvetleri için kontroller yapılırsa:

$$V_x = 300\text{kN}, V_y = 320\text{kN}$$

Kamadan betona aktarılan kuvvet kontrolü;

$$P_x' = \frac{V_x}{b_k x (l - t')} = \frac{300}{25 \times (25 - 5)} = 0.6\text{kN/cm}^2 \leq 1.7\text{kN/cm}^2 \text{ (BS40)} \quad (5.66)$$

$$P_y' = \frac{V_y}{l_k' x (l - t')} = \frac{320}{15 \times (25 - 5)} = 1.06\text{kN/cm}^2 \leq 1.7\text{kN/cm}^2 \text{ (uygun)}$$

INP 260 kama profilinde emniyet gerilmesi kontrolü;

$$M_x = V_x x (15 + 3.5) = 300 \times (15 + 3.5) = 5550\text{kNcm} \quad (5.67)$$

$$\sigma = \frac{M_x}{W_x} = \frac{5550}{494} = 11.23\text{kN/cm}^2 \leq 24.8\text{kN/cm}^2 \text{ (uygun)}$$

$$M_y = V_y x (15 + 3.5) = 320 \times (15 + 3.5) = 5920\text{kNcm}$$

$$\sigma = \frac{M_y}{W_y} = \frac{5920}{367} = 16.13\text{kN/cm}^2 \leq 24.8\text{kN/cm}^2 \text{ (uygun)}$$

Kamayı taban levhasına bağlayan kaynak dikişleri kontrolü;

Seçilen elektrod: E8016-C1 (Bkz. Tablo 1.2)

$$\sigma_{Ely} = 19.3\text{kN/cm}^2, \sigma_{Ely*} = 22.3\text{kN/cm}^2$$

$$a = 0.7\text{cm}$$

$$F_k = 26.4 \times 16.4 - 15 \times 25 = 57.96\text{cm}^2$$

X yönünde kontrol:

$$I_{kx} = \frac{16.4^3 \times 26.4}{12} - \frac{15^3 \times 25}{12} = 2672.7 \text{cm}^4$$

$$\tau_{kx} = \frac{V_x}{F_k} = \frac{300}{57.96} = 5.17 \text{kN/cm}^2 \leq \tau_{kem} \quad (\text{uygun})$$

$$W_{kx} = \frac{I_{kx}}{8.2} = 326 \text{cm}^3$$

$$\sigma_{kx} = \frac{V_x \times e}{W_{kx}} = \frac{300 \times 20}{326} = 18.4 \text{kN/cm}^2$$

$$\sigma_{vx} = \sqrt{\sigma_{kx}^2 + \tau_{kx}^2} = \sqrt{5.17^2 + 18.4^2} = 19.11 \text{kN/cm}^2 \leq 19.3 \text{kN/cm}^2 \quad (\text{uygun})$$

Y yönünde kontrol:

$$I_{ky} = \frac{16.4 \times 26.4^3}{12} - \frac{15 \times 25^3}{12} = 5614.7 \text{cm}^4$$

$$\tau_{ky} = \frac{V_y}{F_k} = \frac{320}{57.96} = 5.52 \text{kN/cm}^2 \leq \tau_{kem} \quad (\text{uygun})$$

$$W_{ky} = \frac{I_{ky}}{13.2} = 425.3 \text{cm}^3$$

$$\sigma_{ky} = \frac{V_y \times e}{W_{ky}} = \frac{320 \times 20}{425.3} = 15.04 \text{kN/cm}^2$$

$$\sigma_{vy} = \sqrt{\sigma_{ky}^2 + \tau_{ky}^2} = \sqrt{5.52^2 + 15.04^2} = 16.02 \text{kN/cm}^2 \leq 19.3 \text{kN/cm}^2 \quad (\text{uygun})$$

## 6 KOMPOZİT DÖŞEME HESABI

### 6.1 Döşeme Sistemi Tanıtımı

Yapıya ait elemanların boyutlandırılmasında kat döşemeleri tasarımı için kompozit döşeme uygulaması uygun görülmüştür. TS kapsamında kompozit elemanlar ve hesapları mevcut olmadığından döşeme hesapları için Eurocode 4'te verilen yöntemlerden yararlanılmıştır [14]. Katlanmış çelik sac ile betonun ortak çalışmasından oluşan kompozit döşemelerde profillenmiş çelik sac inşaat süresince işçiler ve malzeme için platform, beton için ise kalıp görevini görür. Beton, kesitte basınç ve kayma kuvvetlerini taşıırken çelik sac çekme görevini üstlenir. Beton ve çelik sac arasındaki kompozit etkiyi oluşturabilmek için çelik sacın bu iki eleman arasındaki yüzeyde oluşacak yatay kayma kuvvetlerini karşılayabilecek, mekanik kenetlenmeyi sağlayabilecek şekilde enkesit şekli biçimlendirilir. Beraber çalışmayı sağlamak için, beton ile çelik sac arasındaki aderansın yeterli olması gerekir. Bu nedenle aderansın yetersiz olduğu durumlarda ortak çalışmayı arttırıcı önlemler alınır. Döşeme sisteminde plak, yükün homojen dağılımı ve yangına karşı mukavemetinin arttırılması için hasır donatıyla donatılmıştır. Korozyona karşı çelik sacın korunması ise galvaniz kaplamayla sağlanır.

Çelik kirişe kayma elemanlarıyla mesnetlenen çelik sac istendiğinde rijit ve güvenilir yanal bağlantı elemanı görevini görür.

Çelik sac ile kompozit döşemenin her ikisi de her doğrultuda aynı geometriye sahip değildir. Bu nedenle iki doğrultuda tasarım güçtür. Bu durumu basitleştirebilmek amacıyla hesaplar, çelik sac olukları boyunca (boyuna eksen doğrultusu) yapılmıştır. Burada HiBond 55/1 tipi çelik sac kullanılmıştır.

### 6.2 Kompozit Döşeme Hesabı

#### 6.2.1 Kompozit Döşemenin Boyutlandırılması

Kompozit döşemeye ait boyutlar ve verilen sınır değerler aşağıdaki gibidir:

$b_o$ : Çelik sac kesit genişliği

$h_c$  : Sac üstündeki beton kalınlığı

$h_t$  : Kompozit döşeme derinliği

$h_p$  : Profillenmiş çelik sac derinliği

$t$  : Çelik sac kalınlığı

$b_o = 88.5\text{mm} \geq 50\text{mm}$

$b_b = 61.5\text{mm} \geq 50\text{mm}$

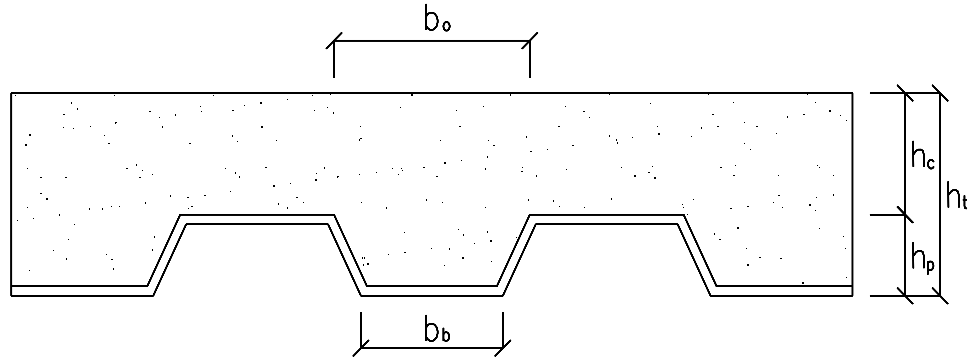
$h_c = 66\text{mm} \geq 50\text{mm}$

$h_t = 120\text{mm} \geq 90\text{mm}$

$h_p = 54\text{mm} \leq 80\text{mm}$

$t = 1\text{mm} \leq 0.7\text{mm}$

Kompozit döşemeye ait enkesit Şekil 6.1’de verilmiştir.



**Şekil 6.1:** Kompozit döşeme çelik sac-beton enkesiti

Kompozit döşemede rötreden dolayı ve çatlakları en aza indirmek için, boyuna ve enine doğrultuda tüm alana minimum donatı yerleştirilmelidir. Bu donatı mevcut donatıya ilave edilmelidir. Donatının minimum alanı her iki doğrultuda beton enkesitin %0.2’sidir ve genellikle hasır donatı kullanılmaktadır.

### 6.2.2 Kesit Zorlarının Belirlenmesi

Kesit zorlarının belirlenmesi için iki ayrı çalışma süreci ele alınır.

Profillenmiş çelik sacın kalıp görevi üstlendiği inşaat sürecinde, inşaat sırasındaki yükler, çelik sacın kendi ağırlığı, ıslak beton ağırlığı ve göllenme etkisi gibi durumların söz konusu olması nedeniyle çelik sacın emniyetle kullanılabilirliği araştırılır.

Çelik sac ile betonun ortak çalıştığı kompozit çalışma sürecinde ise döşeme, sıva, kaplama ağırlıkları ve hareketli yük değerleri hesaba katılır.

Yukarıda bahsedilen iki süreçte de kompozit döşemelerin tasarımında çelik ve betonun gerçek davranışına yakın sonuçlar elde edebilmek için taşıma sınır durumu ve kullanma sınır durumu adı verilen kontroller yapılır. Taşıma sınır durumu kalıp sürecinde çelik sacın, kompozit süreçte ise döşemenin dayanımını kontrol ederken kullanma sınır durumu yapının kullanılabilirliğini kaybetmemesi, deformasyon problemlerinin oluşması gibi durumlarda devreye girer.

### Yüklerin Belirlenmesi

Seçilen HiBond 55/1 tipi çelik saca ait malzeme özellikleri şu şekildedir:

$$\begin{aligned} f_{yp} &= 320 \text{ N/mm}^2 & I_{ap} &= 0.72 \times 10^6 \text{ mm}^4/\text{m} & A_p &= 1482 \text{ mm}^2 \\ g_{ap} &= 0.12 \text{ kN/m}^2 & m &= 86 & k &= 0.069 & \tau_{u.Rd} &= 68.4 \text{ kN/m}^2 \\ M_{p.ap}^+ &= 7.41 \text{ kN.m/m} & M_{p.ap}^- &= -7.48 \text{ kN.m/m} & R_{ap} &= 68.1 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Katlanmış çelik sac ağırlığı:

$$g_{ap} = 0.12 \text{ kN/m}^2$$

Beton ağırlığı:

$$g_b = \left( 1 \times 0.066 + \frac{1}{0.15} \times \frac{0.0615 \times 0.09}{2} \times 0.054 \right) \times 1 \times 25 = 2.33 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Konstrüksiyon yükleri} : q_{m1} = 1.5 \text{ kN/m}^2 \quad q_{m2} = 0.75 \text{ kN/m}^2$$

### **6.2.3 Katlanmış Çelik Sacın Kalıp Süresince Hesabı**

Katlanmış çelik sacın kalıp süresince yukarıda bahsedilen taşıma sınır durumu kontrolü yapılırsa;

$M_{sd}$  : Elastik analiz ile elde edilen tasarım yüklerinden bulunan açıklık veya mesnet momenti,

$M_{Rd}$  : Elastik analiz ile elde edilen açıklık veya mesnet tasarım eğilme momenti dayanımı,

$R_{sd}$  : Tasarım yüklerinden bulunan kenar veya ara mesnet tepkisi,

$R_{Rd}$  : Kenar veya ara mesnet tasarım kesme kuvvet dayanımıdır.

Mesnet ve açıklıkta moment kontrolü;

$$M_{Sd} \leq M_{Rd} \quad (6.1)$$

Kenar ve ara mesnetlerde kesme kuvveti kontrolü;

$$R_{Sd} \leq R_{Rd} \quad (6.2)$$

Eğilme momenti ve kesme kuvveti etkileşimi kontrolü;

$$\left( \frac{R_{Sd}}{R_{Rd}} \leq 0.25 \right) \quad \text{ise} \quad \frac{M_{Sd}}{M_{Rd}} \leq 1 \quad (6.3)$$

$$\left( 0.25 \leq \frac{R_{Sd}}{R_{Rd}} \leq 1 \right) \quad \text{ise} \quad \left( \frac{M_{Sd}}{M_{Rd}} \right)^2 + \left( \frac{R_{Sd}}{R_{Rd}} \right)^2 \leq 1.25 \quad (6.4)$$

$$M_{sd}^+ = 4.42 \text{ kN.m/m} , \quad M_{sd}^- = 1.32 \text{ kN.m/m} , \quad R_{sd} = 17.1 \text{ kN/m}$$

Çelik sac için güvenlik katsayısı ise  $\gamma_{ap} = 1.1$  alınmıştır.

$$M_{p.ap.Rd}^+ = 7.41/1.1 = 6.74 \text{ kN.m/m} \geq M_{sd}^+ = 1.1 \text{ kN.m/m} \quad (\text{uygun})$$

$$M_{p.ap.Rd}^- = 7.48/1.1 = 6.80 \text{ kN.m/m} \geq M_{sd}^- = 0.32 \text{ kN.m/m} \quad (\text{uygun})$$

$$R_{Rd} = 68.1/1.1 = 61.9 \text{ kN/m} \geq R_{sd} = 8.55 \text{ kN/m} \quad (\text{uygun})$$

$$\frac{R_{sd}}{R_{Rd}} = \frac{8.55}{61.9} = 0.13 > 0.25$$

$$\left( \frac{M_{sd}}{M_{Rd}} \right)^2 + \left( \frac{R_{sd}}{R_{Rd}} \right)^2 = \left( \frac{1.1}{6.74} \right)^2 + \left( \frac{8.55}{61.9} \right)^2 = 0.04 < 1 \quad (\text{uygun})$$

Döşemenin kalıp süresince yukarıda bahsedilen kullanma sınır durumu kontrolü yapılırsa;

Çelik sacın inşaat süresince sehim;

$$\delta_{ser} \leq L/180 \text{ veya } 20 \text{ mm} \quad (6.5)$$

$$\delta_{ser} = \frac{(2.65g_{ap} + 3.4g_c)xL^4}{384EI_{ap}} = \frac{(2.65x0.12 + 3.4x2.33)x1525^4}{384x210000x72x10^4} = 0.76\text{mm}$$

$$\delta_{ser} \leq \frac{1525}{180} = 8.47 \text{ mm} \quad (\text{uygun})$$

Göllenme etkisi kontrolü ;

$$\delta_{ser} \leq L/250 \text{ veya } 20 \text{ mm} \quad (6.6)$$

$$\delta_{ser} \leq \frac{1525}{250} = 6.1 \text{ mm} \quad (\text{uygun})$$

Yukarıdaki belirtilen sınır değer aşılmadığından beton derinliğinin artmadığı, göllenme etkisinin oluşmadığı görülmektedir. Bu nedenle hesaplarda dikkate alınmamıştır.

Çelik sac ara desteksiz ve sürekli olarak mesnetlendiği düşünüldüğünden iç mesnette mesnet reaksiyonunun ve eğilme momentinin plastik mafsallı olmaması için aşağıdaki kontroller yapılmıştır.

$M_{ser}$ ,  $R_{Ser}$  : Yük arttırma faktörleri ile arttırılmamış ( $\gamma_G = \gamma_Q = 1$ ) konstrüksiyon yüklerinden dolayı eğilme momenti ve mesnet tepkisi,

$M_{Rd}$ ,  $R_{Rd}$  : Kullanma sınır durumu ( $\gamma_M = 1$ ) için tasarım eğilme momenti ve mesnet tepkisi dayanımıdır.

$$M_{ser} \leq 0.9M_{Rd} \quad (6.7)$$

$$R_{Ser} \leq 0.9R_{Rd} \quad (6.8)$$

$$R_{Ser}/(0.9R_{Rd}) \leq 0.25 \quad \text{ise} \quad M_{ser}/(0.9M_{Rd}) \leq 1 \quad (6.9)$$

$$0.25 \leq R_{Ser}/(0.9R_{Rd}) \leq 1 \quad \text{ise} \quad \left( \frac{M_{ser}}{0.9M_{Rd}} \right)^2 + \left( \frac{R_{Ser}}{0.9R_{Rd}} \right) \leq 1.25 \quad (6.10)$$

$$M_{ser} = (0.08g_{ap} + 0.094g_c)xL^2$$

$$M_{ser} = (0.08 \times 0.12 + 0.094 \times 2.33) \times 1.525^2 = 0.53 \text{ kNm/m}$$

$$R_{ser} = 2.5 \text{ kN/m}$$

Plastik mafsal oluşmaması için;

$$0.90 M_{Rd} = 0.90 / 6.74 = 6.07 \text{ kN.m/m} \geq M_{ser} = 0.53 \text{ kNm/m} \quad (\text{uygun})$$

$$0.90 R_{Rd} = 0.90 / 61.90 = 55.71 \quad \text{kN/m} \quad \geq R_{ser} = 2.5 \text{ kN/m}$$

(uygun)

$$\frac{R_{ser}}{0.9 R_{Rd}} = \frac{2.5}{55.71} = 0.04 \leq 0.25$$

$$\frac{M_{ser}}{0.9 M_{Rd}} = \frac{0.53}{6.07} = 0.08 \leq 1 \quad (\text{uygun})$$

#### 6.2.4 Kompozit Çalışma Süresinde Döşemenin Kontrolü

Bu süreçte enkesit tasarımı için pozitif ve negatif moment bölgeleri için farklı diyagramlar uygulamaya alınmıştır. Kompozit döşemenin eğilme dayanımları bu diyagramlarla elde edilmiş ve gerekli kontroller yapılmıştır.

Kompozit çalışma süresinde sünme, rötre ve çatlama gibi özellikler göz önüne alındığında beton için daha büyük malzeme katsayısının kullanıldığı görülmektedir. Sünme ve rötre etkileri bu katsayı kullanılarak dikkate alınmıştır. Bu etkiler için ayrıca hesap yapılmamıştır.

##### Yüklerin Belirlenmesi

$$\text{Döşeme ağırlığı} \quad : g_1 = 2.3 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Hareketli yük} \quad : q = 5 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Kaplama, sıva} \quad : g_2 = 1.2 \text{ kN/m}^2$$

##### Kompozit çalışma süresince taşıma sınır durumu kontrolü yapılırsa;

Genellikle pozitif moment bölgesi için yapılan hesaplarda kompozit döşemenin plastik tarafsız eksenini, beton plağın içinde kalır. Bu durumda kompozit döşeme enkesiti için aşağıdaki formülün doğruşuğuna bakılır.

$$\frac{A_p \times f_{yp}}{\gamma_p} \leq \frac{0.85 f_{ck} \times b}{\gamma_c} \quad (6.11)$$

Birim genişlik için tasarım yükü:

$$P_{sd} = (1.35x(2.3+1.2) + 1.5x5)x1 = 12.2 \text{ kN/m}$$

Tasarım eğilme momenti;

$$M_{sd}^+ = \frac{P_{sd} x L^2}{8} = \frac{12.2 x 1.525^2}{8} = 3.54 \text{ kNm/m}$$

Tarafsız eksenini yeri ve tasarım eğilme dayanımı için gerekli parametreler:

$A_p$  : çelik sacın çekmede enkesit alanı,

$f_{yp}$  : çelik sacın akma dayanımı,

$\gamma_{ap}$  : çelik sac için malzeme güvenlik katsayısı,

$d_p$  : etkili çelik sac alanı tarafsız ekseninin döşeme üst kotuna uzaklığı,

$f_{ck}$  : beton karakteristik basınç dayanımı,

$\gamma_c$  : beton için malzeme güvenlik katsayısıdır.

Tarafsız eksenini yeri:

$$x = \frac{A_{ap} x f_{yp} / \gamma_{ap}}{b x 0.85 x f_{ck} / \gamma_c} \quad (6.12)$$

$$x = \frac{1482 x 320 / 1.1}{1000 x 0.85 x 34.5 / 1.5} = 22 \text{ mm} \leq h_c = 66 \text{ mm}$$

Plastik tarafsız eksen beton plağı içindedir.

$$M_{p.Rd}^+ = A_{ap} x f_{yp} x (d_b - x / 2) / \gamma_{ap} \quad (6.13)$$

$$M_{p.Rd}^+ = 1482 x 320 x (120 - 27.5 - 11) / 1.1 x 10^6 = 35.1 \text{ kNm/m}$$

$$M_{sd}^+ \leq M_{p.Rd}^+ \quad (\text{uygun})$$

Eğilme dayanımı yeterlidir.

Negatif moment bölgesi için yapılan hesaplarda ise, çelik sacın katkısı hesap kolaylığı için ihmal edilir. Tasarım negatif eğilme dayanımı mesnette donatının akmasıyla belirlenir.

$z^-$  :  $N_c^-$  ve  $N_t^-$  iç kuvvetleri için moment koludur.

$b_c$  : basınç beton genişliği,

$d_s$  : donatının çelik sac alt kenarına uzaklığıdır.

$$z^- = d_s - x / 2 \quad (6.14)$$

$$N_c^- = b_c \times x \times 0.85 f_{ck} / \gamma_c = A_s \times f_{ys} / \gamma_s = N_t^- \quad (6.15)$$

$$M_{p.Rd}^- = A_s \times f_{ys} \times z^- / \gamma_s \quad (6.16)$$

$\phi 6/150$  hasır donatısı seçilirse  $A_s = 188 \text{ mm}^2/\text{m}$ 'dir.

Tarafsız eksenin yeri:

$$x = \frac{188 \times 550 / 1.15}{1000 \times 0.85 \times 34.5 / 1.5} = 4.59 \text{ mm}$$

$$z^- = 85 - 4.59 / 2 = 82.7 \text{ mm}$$

$$M_{p.Rd}^- = 188 \times 550 \times 82.7 / 1.15 \times 10^6 = 7.43 \text{ mm}$$

$$M_{sd}^- \leq M_{p.Rd}^- \quad (\text{uygun})$$

Eğilme dayanımı yeterlidir.

Tasarım kayma kuvveti:

Kesme dayanımı için yalnızca beton katkısı ele alınır. Hesaplarla ilgili formüller ve parametreler aşağıdaki gibidir:

Tasarım kayma kuvveti:

$$V_{sd} = \frac{P_{sd} \times L}{2} \quad (6.17)$$

Tasarım kesme kuvveti dayanımı:

$$V_{v.Rd} = b_0 \times d \times \tau_c \quad (6.18)$$

Kompozit döşemenin yaklaşık sınır kayma gerilmesi:

$$\tau_c = \tau_{Rd} \times k_1 \times k_2 \quad (6.19)$$

Donatısız betonun kayma dayanımı:

$$\tau_{Rd} = 0.25 f_{ctk} / \gamma_c \quad (6.20)$$

$$k_1 = (1.6 - d) \geq 1.0 \quad (6.21)$$

$$k_2 = 1.2 + 40\rho \quad (6.22)$$

$$\rho = A / (b_c \times d) \quad (6.23)$$

$b_c$  : Birim genişlikte içi beton dolu olukların ortalama genişliği

$d = d_p$  : Pozitif eğilme bölgesinde etkili çelik sac alanının tarafsız ekseninin döşeme üstüne uzaklığı,

$d = d_s$  : Negatif eğilme bölgesinde donatının ağırlık merkezinin döşeme altına uzaklığı,

$A = A_p$  : Pozitif moment bölgesinde çelik sac alanı,

$A = A_s$  : Negatif moment bölgesinde donatı alanıdır.

$$V_{sd} = \frac{12.2 \times 1.525}{2} = 9.3 \text{ kN}$$

$$\tau_{Rd} = \frac{0.25 \times 2.02}{1.5} = 0.33 \text{ N/mm}^2$$

$$b_c = \frac{1000}{150} \times (90 + 61.5 / 2) = 505 \text{ mm}$$

Pozitif moment bölgesi için hesap yapılırsa;

$$\rho = \frac{1482 \times 505}{100} = 0.03 \geq 0.02 \rightarrow \rho = 0.02 \text{ alınır.}$$

$$k_1 = 1.6 - d_p = 1.6 - 0.01 = 1.59$$

$$k_2 = 1.2 + 40 \times 0.02 = 2$$

$$\tau_c = 0.33 \times 1.59 \times 2 = 1.04 \text{ N/mm}^2$$

$$V_{v.Rd} = \frac{505 \times 100 \times 1.04}{10^3} = 52.5 \text{ kN}$$

$$V_{sd} \leq V_{v.Rd} \quad (\text{uygun})$$

Negatif moment bölgesi için hesap yapılırsa;

$$\rho = \frac{1482}{505 \times 75} = 0.03 \geq 0.02 \rightarrow \rho = 0.02 \text{ alınır.}$$

$$k_1 = 1.6 - d_p = 1.6 - 0.075 = 1.52$$

$$k_2 = 1.2 + 40 \times 0.02 = 2$$

$$\tau_c = 0.33 \times 1.52 \times 2 = 1 \text{ N/mm}^2$$

$$V_{v.Rd} = \frac{505 \times 75 \times 1}{10^3} = 37.8 \text{ kN}$$

$$V_{sd} \leq V_{v.Rd} \quad (\text{uygun})$$

Boyuna kayma dayanımı:

Sünek kompozit döşemelerde kullanılan bu yöntemde boyuna tasarım kayma dayanımı,  $\tau_{u,Rd}$  döşeme testleri ile belirlenir. Bu değer her bir test serisinin sonunda elde edilen  $\tau_u$  değerinin % 10 azaltılmasıyla elde edilen  $\tau_{u,Rk}$  karakteristik kayma dayanımının  $\gamma_k = 1.25$  ile oranlanmış şeklindedir [15].

$\eta_{test}$  : Kayma bağlantı derecesi,

$N_{cf}$  : Tam etkileşim sağlandığında basınç kuvveti,

$b$  : Döşeme genişliği,

$L_{sf}$  : Kayma açıklığıdır.

$$N_{cf} = \frac{A_p \times f_{yp}}{\gamma_{ap}} = \frac{1482 \times 320}{1.1} = 431 \text{ kN/m} \quad (6.24)$$

$$L_{sf} = \frac{N_{cf}}{b \times \tau_{u,Rd}} = \frac{431}{1 \times 68.4} = 6.3 \text{ m} \quad (6.25)$$

Boyuna kayma dayanımının kontrolünde, açıklık boyunca herhangi bir kesitte tasarım eğilme momenti, tasarım dayanımını aşmamalıdır.

$$M_{sd} \leq M_{Rd} \quad (\text{uygun})$$

Kompozit çalışma süresince kullanma sınır durumu kontrolü yapılırsa;

Kompozit çalışma sürecinde hesaplarda betonun çatlamış ve çatlamamış atalet momentlerinin ortalaması kullanılarak kullanma sınır durumları incelenmiştir. Elastisite modülleri oranı  $n = 15$  alınarak hesaplar yapılmıştır.

Çatlamış kesit için elastik tarafsız eksenin yeri ve atalet momenti,

$$x = \frac{n A_p}{b} \left[ \sqrt{1 + \frac{2 b d_p}{n A_p}} - 1 \right] \quad (6.26)$$

$$I_{vc} = \frac{b x^3}{3n} + A_p (d_p - x)^2 + I_{ap} \quad (6.27)$$

$$x = \frac{15 \times 1482}{1000} \times \sqrt{1 + (2 \times 1000 \times 100 / 15 \times 1482)} - 1 = 66.6 \text{ mm}$$

$$I_{vc} = \frac{1000 \times 66^3}{3 \times 15} + 1482 \times (100 - 66)^2 + 0.72 \times 10^6 = 8.82 \times 10^6 \text{ mm}^4/\text{m}$$

Çatlamamış kesit için elastik tarafsız eksenin yeri ve atalet momenti:

$$x_u = \frac{b \frac{h_c^2}{2} + b_c h_p d_p + n A_p d_p}{b h_c + b_c h_p + n A_p} \quad (6.28)$$

$$I_{vu} = \frac{b h_c^3}{12n} + \frac{b h_c}{n} \left( x_u - \frac{h_c}{2} \right)^2 + \frac{b_c h_p^3}{12n} + \frac{b_c h_p}{n} \left( h_t - x_u - \frac{h_p}{2} \right)^2 + A_p (d_p - x_u)^2 + I_{ap} \quad (6.29)$$

$$x_u = \frac{1000 \times 66^2 / 2 + 500 \times 54 \times 1000 + 15 \times 1482 \times 100}{1000 \times 66 + 500 \times 54 + 15 \times 1482} = 61.6 \text{ mm}$$

$$I_{vc} = \frac{1000 \times 66^3}{12 \times 15} + \frac{1000 \times 66}{15} \times (61.6 - 66 / 2)^2 + \frac{500 \times 54^3}{12 \times 15}$$

$$+ \frac{500 \times 54}{15} x (120 - 61.6 - 54/2)^2 + 1482 x (100 - 61.2)^2 + 72 x 10^4 = 10.3 x 10^6 \text{ mm}^4/\text{m}$$

Çatlamış ve çatlamamış kesitin ortalama ataleti:

$$I_{vm} = (8.82 + 10.3) x 10^6 / 2 = 9.56 x 10^6 \text{ mm}^4/\text{m}$$

Sehim Kontrolü:

$$\delta_{\max} = \delta_{v,g} + \delta_{v,q} \leq L/250 \quad (6.30)$$

$$\delta_2 = \delta_{v,q} \leq L/300 \quad (6.31)$$

Kompozit döşemenin  $g_2$  yükü altında yaptığı sehim:

$$\delta_{ser} = \frac{(2.65 g_2) x L^4}{384 E I_{v,m}} = \frac{(2.65 x 1.2 x 10^{12}) x 1525^4}{384 x 210000 x 9.56 x 10^6} = 0.022 \text{ mm} \quad (6.32)$$

Kompozit döşemenin uzun süreli hareketli yük etkisinde yaptığı sehim:

$$\delta_{vp} = \frac{(3.4 q) x L^4}{384 E I_{v,m}} = \frac{(3.4 x 5 x 10^{12}) x 1525^4}{384 x 210000 x 9.56 x 10^6} = 0.11 \text{ mm} \quad (6.33)$$

$$\delta_{\max} = \delta_{ser} + \delta_{vg} + \delta_{vp} = 0.76 + 0.022 + 0.11 = 0.9 \text{ mm}$$

$$\delta_{\max} = 0.9 \text{ mm} \leq \frac{1525}{250} = 6.1 \text{ mm} \quad (\text{uygun})$$

$$\delta_2 = \delta_{vg} + \delta_{vp} = 0.13 \text{ mm} \leq \frac{1525}{300} = 5.08 \text{ mm} \quad (\text{uygun})$$

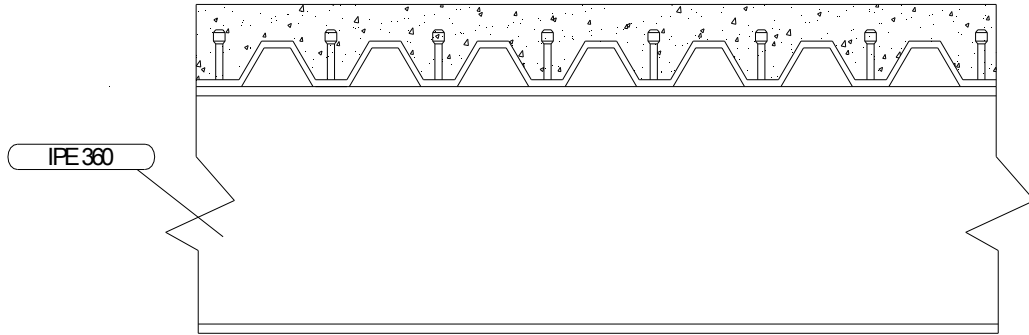
Beton için yapılan çatlak kontrolünde sınır beton enkesit alanının %0.2'si olarak alınmıştır.

$$\rho = \frac{A_s}{b x h_c} = \frac{188}{1000 x 66} = \%0.29 \geq \%0.2 \quad (6.34)$$

Donatı miktarı yeterlidir.

### 6.3 Kompozit Döşeme Kirişlerinin Hesabı

Kompozit kirişler, betonarme plaklarla çelik kirişlerin birlikte çalışmasıyla oluşan karma kirişlerdir. Karma kirişler, üzerlerine serbestçe oturan çelik kiriş ya da yalnız kullanılan betonarme plaklara göre çok daha ekonomiktir. Tipik bir karma kirişte eğilmeden ileri gelen kuvvet çiftinin çekme bileşeni çelik profilce, basınç bileşeni de hem çelik hem betonarme plak tarafından taşınır. Böylece çelik, basınç bileşenini tümüyle ya da kısmen taşımaktan kurtulur. Betonarme plağın ölü yük olmaktan çıkıp bir basınç elemanı olarak çalışmasının yanı sıra, kuvvet çiftine ait manivela kolunu büyütmesi ikinci bir ekonomik etkidir. Ayrıca bir betonarme kirişe göre kompozit kiriş her zaman daha hafiftir. Kompozit döşemeye ait enkesit Şekil 6.1’de verilmiştir.



**Şekil 6.2:** Kompozit döşeme enkesiti

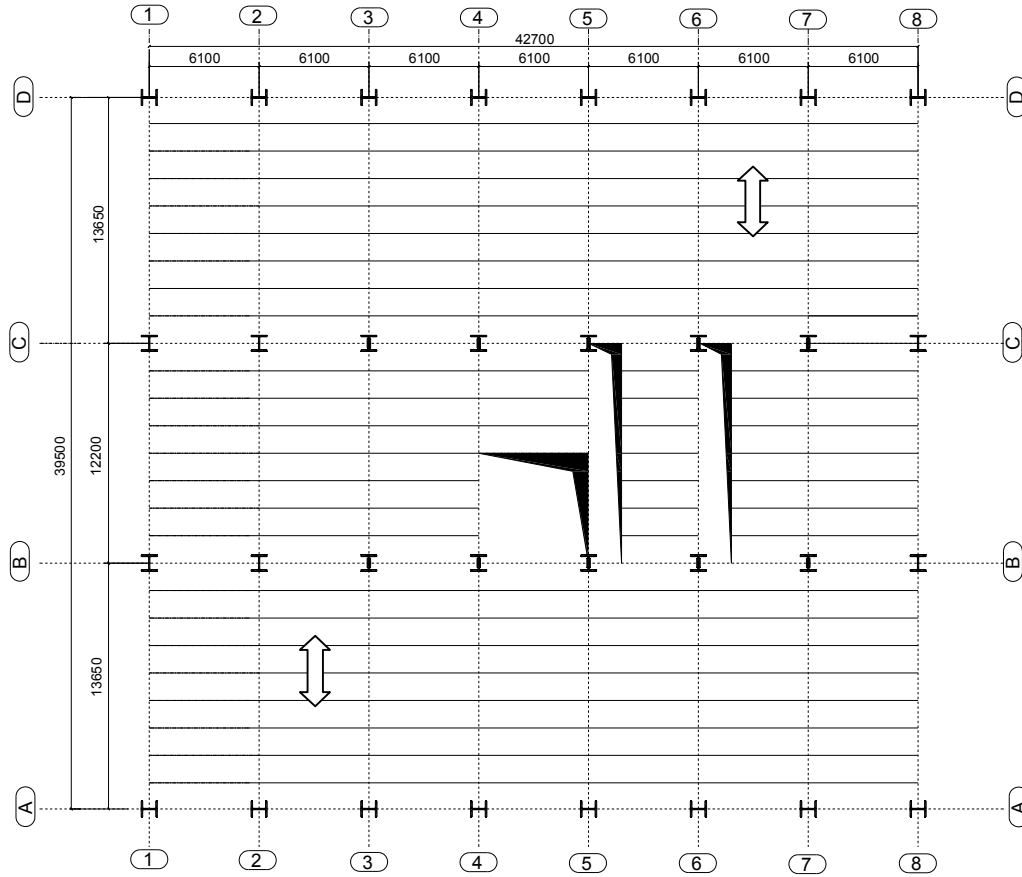
Karma kiriş hesabı plastik yöntem kullanılarak yapılacaktır.

Seçilen kesit IPE 360

Kesite ait özellikler aşağıdaki tabloda belirtilmiştir. Kompozit döşemeye ait oluk doğrultusu kompozit döşeme kirişine dik olup yerleşimi Şekil 6.3’teki kat planında ok yönünde gösterilmiştir.

**Tablo 6.1:** IPE 360 kesit özellikleri

| h (cm)                            | b (cm)              | t <sub>w</sub> (cm) | t <sub>f</sub> (cm)               | h <sub>i</sub> (cm)               | A (cm <sup>2</sup> )               | I <sub>x</sub> (cm <sup>4</sup> )  |
|-----------------------------------|---------------------|---------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| 36                                | 17                  | 0.8                 | 1.27                              | 33.46                             | 72.7                               | 16270                              |
| I <sub>y</sub> (cm <sup>4</sup> ) | i <sub>x</sub> (cm) | i <sub>y</sub> (cm) | W <sub>x</sub> (cm <sup>3</sup> ) | W <sub>y</sub> (cm <sup>3</sup> ) | W <sub>px</sub> (cm <sup>3</sup> ) | W <sub>py</sub> (cm <sup>3</sup> ) |
| 1043                              | 14.95               | 3.79                | 903.6                             | 122.8                             | 1019                               | 191.1                              |



Şekil 6.3: Normal kat planı kompozit döşeme oluk doğrultusu

### 6.3.1 IPE 360 Profili Enkesit Kontrolü

Seçilen çelik kiriş profilleri deprem yönetmeliğince belirlenen kompaktlık şartlarını sağlamak zorundadır [2]. Süneklik düzeyi yüksek sistemlerde yapılması gereken kontroller aşağıdaki gibidir:

$$b/2t_f \leq 0.3\sqrt{E_s/\sigma_a} \rightarrow \frac{170}{2 \times 12.7} = 6.92 \leq 0.3\sqrt{21000/36} = 7.25 \quad (\text{uygun}) \quad (6.35)$$

$$h/t_w \leq 3.2\sqrt{E_s/\sigma_a} \quad (6.36)$$

$$360/8 = 45 \leq 3.2\sqrt{21000/36} = 77.28 \quad \text{Kesit Kompakttır.}$$

Kat planında A ve D akslarına en yakın bulunan IPE 360 sürekli kirişleri için SAP 2000 programından elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

$$M^+_{\max} = 10510 \text{ kNcm}, \quad M^-_{\max} = 8200 \text{ kNcm}, \quad V_{sd,\max} = 95 \text{ kN}$$

Kompozit döşemenin kiriş ile birlikte çalışan etkili döşeme genişliği  $b_{eff}$ , aşağıdaki gibi belirlenir:

$L$ : Aks aralığı

$l_o$  : Eğilme momentinin sıfır olduğu noktalar arasındaki uzaklık,

$$b_{eff} = b_{e1} + b_{e2} \quad (6.37)$$

$$b_{e1} = \min \left( \frac{l_o}{8}; b_1 \right) \quad (6.37a)$$

$$b_{e2} = \min \left( \frac{l_o}{8}; b_2 \right) \quad (6.37b)$$

Basit mesnetli bir kirişte  $l_o$  uzaklığı açıklığa eşit olacağından bu değer;

$b_{eff} = L / 4$  şeklinde alınabilir.

Sürekli kiriş hesabına göre;

$b_1 = 1.425\text{m}$ ,  $b_2 = 1.525\text{m}$ ,  $l_o = 5\text{ m} \rightarrow b_{eff} = 1.25\text{m}$  alınmıştır.

Hesaplarda, beton plak elastisite oranına (n) bölünerek çelik profil kontrolüne dahil edilmiştir. Betonda oluşan sünme ve rötrenin sebep olacağı gerilme etkileri için modüler oranı 2n olarak alınmıştır.

### 6.3.2 Pozitif ve Negatif Moment Bölgesinde Plastik Moment Dayanımı

Çelik ve betonun ortak çalıştığı kompozit döşemelerde Eurocode 4’de belirtildiği şekilde plastik hesap yapılmaktadır. Gerilme diyagramlarının dikdörtgen kabul edildiği bu hesap yönteminde pozitif moment bölgelerinde çatlamamış kesit atalet momentleri, negatif moment bölgelerinde ise çatlamış kesit atalet momentleri kullanılmıştır.

Tasarım yöntemi ve yükleme için kompozit kirişin maksimum eğilme dayanımına ulaşması için gereken minimum kayma bağlantısının mevcut olduğu durum tam kayma bağlantısı olarak tanımlanır. Aksli halde ise döşeme ile çelik kiriş arasındaki bağlantı kısmi kayma bağlantısıdır.

Gerilme dağılımlarında  $x_c$  tarafsız eksenin yeri kompozit döşemenin içinde ya da çelik kiriş üzerinde olabilir. Tarafsız eksenin kompozit döşeme içinde olması durumunda dayanım momenti;

$$M_{pl.Rd} = A_a f_{yd} \left( h_g + h_t - \frac{x_c}{2} \right) \quad (6.38)$$

olarak belirlenir.

Tam kayma bağlantısı kabulüne göre, tarafsız eksenin çelik kiriş üst başlığında olması durumunda basınç ve çekme bileşenleri;

$$N_{c,f} = b_{eff} h_c (0.85 f_{cd}) \quad (6.39)$$

$$N_{a,pl} = A_a f_{yd} \quad (6.40)$$

$$N_{ac} = N_{a,pl} - N_{c,f} \leq 2 b_f t_f f_{yd} \quad (6.41)$$

$$M_{pl,Rd} = N_{a,pl} \left( h_g + h_t - \frac{h_c}{2} \right) - N_{ac} (x_c - h_c - h_t) / 2 \quad (6.42)$$

şeklilde formülüle edilir.

$$N_{cf} = 125 \times 6.6 \times (0.85 \times 2.3 / 1.5) = 1075 \text{ kN}$$

$$N_{a,pl} = 72.7 \times 36 = 2617 \text{ kN}$$

$$N_{ac} = 2617 - 1075 = 1542 \text{ kN}$$

$$x_c = \frac{1542}{2 \times 36 \times 17} + 12 = 13.25 \text{ cm}$$

Bu durumda tarafsız eksen kiriş başlığı üzerindedir.

$$M_{pl,Rd} = 2617 \times (18 + 12 + 6.6 / 2) - 1542 \times (13.25 - 6.6 - 12) / 2 = 91270 \text{ kN cm}$$

$$M_{pl,Rd} \geq M_{\max}^+ \quad (\text{uygun})$$

Kısmi kayma bağlantısı kabulüne göre; kısmi bağlantı derecesi;

$$\eta = N / N_f \text{ şeklindedir.} \quad (6.43)$$

Çelik kirişlerde  $A_t = A_b$  eşitliği sağlanıyorsa;

$$L \leq 5 \text{ m} \rightarrow \frac{N}{N_f} \geq 0.4 \quad (6.44a)$$

$$5 \leq L \leq 25\text{m} \rightarrow \frac{N}{N_f} \geq 0.25 + 0.03L \quad (6.44b)$$

$$L \geq 25\text{m} \rightarrow \frac{N}{N_f} \geq 1.0 \quad (6.44c)$$

Kiriş boyu,  $L = 6.1$  m olarak dikkate alınmıştır.

$$5 \leq L \leq 25\text{m} \rightarrow N / N_{cf} = 0.25 + 0.03 \times 6.1 = 0.433$$

$$N_c = 1075 \times 0.433 = 465\text{kN}$$

$$N_{ac} = 2617 - 465 = 2152\text{kN}$$

$$x_c = \frac{2152}{2 \times 36 \times 17} + 12 = 13.7\text{cm}$$

Tarafsız eksen gövdenin üzerindedir. Başlık ve gövdenin hesabı ayrı ayrı yapılır.

Gövde üzerinde  $N_{aw}$  kuvveti hesaplanarak tahkiklere dahil edilir.

$$N_{aw} = 2t_w f_{yd} \left[ x_c - (h_t + t_f) \right] \quad (6.45)$$

$$N_{ac} = 2 \times 17 \times 36 \times 1.27 = 1554\text{kN}$$

$$N_{aw} = 2617 - 465 - 1554 = 598\text{kN}$$

$$N_{aw} = 2 \times 36 \times 0.8 \times h_{aw} = 598\text{kN} \rightarrow h_{aw} = 10.38\text{cm}$$

$$M_{pl,Rd} = 2617 \times (18 + 12 - 6.6 / 2) - 1554 \times (13.7 - 6.6 - 12) / 2 = 73681\text{kNcm}$$

$$M_{pl,Rd} \geq M_{\max}^+ \quad (\text{uygun})$$

Negatif moment bölgesinde ise kompozit kirişlerin tasarımı, birinci sınıf çelik kesitler için yapılmıştır ve bu bölgenin tasarımı tam kayma bağlantısı kullanılır.

Donatıdaki tasarım çekme kuvveti,

$$N_s = A_s \times f_{sk} / \gamma_s = A_s \times f_{yd} \quad (6.46)$$

Çekme donatısı olmasaydı, eğilme dayanımını çelik kesit belirleyecekti,

$$M_{pl,a,Rd} = W_a \times f_{yd} = N_a \times z_a \quad (6.47)$$

Donatıdaki kuvveti nuluabilmek için gövdenin  $x_a$  derinliğindeki gerilmelerin çekmeden basınca değiştiği kabul edilir.

$$x_a \leq \frac{h_a}{2} - t_f \rightarrow N_s = x_a t_w (2 f_{yd}) \quad (6.48)$$

$$z = h_a / 2 + h_s - x_a / 2 \quad (6.49)$$

Dayanım momenti,

$$M_{Rd} = M_{pl,a,Rd} + N_s z \quad (6.50)$$

şeklindedir.

$$N_s = \frac{1.88 \times 100 \times 55}{100 \times 1.15} = 89.91 \text{ kN}$$

$$x_a = 89.91 / 2 \times 36 \times 0.8 = 1.56 \text{ cm} \leq 18 - 1.27 = 16.73 \text{ cm}$$

$$z = 18 + 7.5 - 1.56 / 2 = 24.7 \text{ cm}$$

$$M_{pl,Rd} = 1019 \times 36 = 36684 \text{ kNcm}$$

$$M_{Rd} = 89.91 \times 24.7 + 36684 = 38906 \text{ kNcm}$$

$$M_{pl,Rd} \geq M_{\max}^- = 8200 \text{ kNcm} \quad (\text{uygun})$$

### 6.3.3 Basit Kirişlerde Kayma Bağlantısı

Tam kayma bağlantılı durumda boyuna kayma kuvvetinin maksimum değeri:

$$V_{lf} = \min \left[ (A_a \times f_{yd}); (b_{eff} \times h_c \times 0.85 f_{cd} + A_{se} \times f_{sd}) \right] \quad (6.51)$$

$$V_{lf} = \min(2617; 1075 + 89.91) = 1166 \text{ kN}$$

Saplama türü bağlantıların taşıma gücü aşağıdaki ampirik formüllerden elde edilen en küçük değer olarak alınır;

$$P_{Rd} = \frac{0.8 f_u (\pi d^2 / 4)}{\gamma_v} \quad (6.52)$$

$$P_{Rd} = \frac{0.29 d^2 \times \alpha \times (f_{ck} \times E_{cm})^{1/2}}{\gamma_v} \quad (6.53)$$

Yukarıdaki formüllerde;

$d$  : saplamanın gövde çapı,

$f_u$  : kayma bağlantısı çeliğinin çekme dayanımı,

$f_{ck}$  : beton silindir basınç dayanımı,

$E_{cm}$  : kısa süreli yükler için elastisite modülü,

$\gamma_v$  : kayma bağlantısı için malzeme güvenlik katsayısıdır.

$$3 \leq h/d \leq 4 \quad \text{için} \quad \alpha = 0.2[(h/d) + 1] \quad (6.54)$$

$$h/d > 4 \quad \text{için} \quad \alpha = 1 \quad (6.55)$$

$h$  : saplamanın yüksekliğidir.

Kayma bağlantısı olarak  $\phi 16$ ,  $h=6$  cm seçilirse;

$$h/d = 6/1.6 = 3.75 \leq 4 \quad \text{için} \quad \alpha = 0.2 \times (3.75 + 1) = 0.95 \quad \text{bulunur.}$$

$$P_{Rd} = 0.8 \times 50 \times (\pi \times 1.6^2 / 4) / 1.25 = 64.33 \text{ kN}$$

$$P_{Rd} = 0.29 \times 1.6^2 \times 0.95 \times (2 \times 2800)^{0.5} / 1.25 = 42.22 \text{ kN}$$

$$P_{Rd} = 42.22 \text{ kN seçilir.}$$

Profillenmiş çelik sac oluklarının kiriş açıklığına dik yerleştirildiği için ( $N_r=1$ ) bir olukta bulunan saplama adedi 1'dir.

Profillenmiş çelik sac oluklarının kiriş açıklığına dik yerleştirilmişse:

$$k = \frac{0.8}{\sqrt{N_r}} \times \frac{b_0}{h_p} \times \left( \frac{h}{h_p} - 1 \right) \quad (6.56)$$

$$k = \frac{0.8}{\sqrt{1}} \times \frac{7.57}{5.4} \times \left( \frac{7.57}{5.4} - 1 \right) = 0.43 \leq 1$$

$N_f$ , tam kayma bağlantısı için gerekli bağlantı eleman sayısı aşağıdaki gibi belirlenir:

$$N_f = \frac{V_{lf}}{P_{Rd} \times k} \quad (6.57)$$

$$N_f = 1166 / 42.22 \times 0.43 = 64.22 \text{ kN}$$

65 adet  $\phi$  16 kullanılmalıdır.

#### 6.3.4 Sürekli Kirişlerde Kayma Bağlantısı

$$N_{cf} = \min \left[ \left( A_a \times f_{yd} \right); \left( b_{eff} \times h_c \times 0.85 f_{cd} + A_{se} \times f_{sd} \right) \right] \quad (6.58)$$

$$N_{cf} = \min(2617; 1075 + 89.91) = 1166 \text{ kN}$$

$$V_{lf} = N_{cf} + A_s \times f_{sk} / \gamma_s + A_{ap} \times f_{yp} / \gamma_{ap} \quad (6.59)$$

Çelik sac olukları kirişe dik yerleştirildiği için sacın etkisi sıfır kabul edilir.

$$V_{lf} = 1166 + 89.91 + 0 = 1256 \text{ kN}$$

Sürekli kirişlerde, çift sıralı yerleşim için  $N_r = 2$  alınmıştır.

$$k = \frac{0.8}{\sqrt{2}} \times \frac{7.57}{5.4} \times \left( \frac{7.57}{5.4} - 1 \right) = 0.31 \leq 1$$

$$N_f = 1166 / 42.22 \times 0.31 = 89 \text{ kN}$$

90 adet  $\phi$  16 kullanılmalıdır.

### 6.3.5 Kayma Bağlantıları için Konstrüktif Kurallar

Bağlantı çapının giriş başlığı kalınlığına oranı:

$$1.6/1.27 = 1.25 \leq 2.5 \quad (\text{uygun})$$

Boyuna doğrultuda bağlantıların aralığı min. sınırı;

$$x_{\min} = 15 \text{ cm}$$

$$x_{\min} \geq 5d = 5 \times 1.6 = 8 \text{ cm} \quad (\text{uygun})$$

Boyuna doğrultuda bağlantıların aralığı max. sınırı;

$$x_{\max} = 30 \text{ cm}$$

$$x_{\min} \geq 6h_t = 6 \times 1.2 = 7.2 \text{ cm} \quad (\text{uygun})$$

Kayma bağlantısının boyu;

$$h = 6 \geq 3d = 3 \times 1.6 = 4.8 \text{ cm} \quad (\text{uygun})$$

### 6.3.6 Düşey Kayma Dayanımı

Düşey kayma dayanımında beton döşemenin katkısı ihmal edilmektedir.

$$V_{pl,a,Rd} = A_v \times (f_{yd} / \sqrt{3}) \quad (6.60)$$

$$A_v = A_a - 2 \times b_f \times t_f + (t_w + 2r) \times t_f \quad (6.61)$$

$$V_{sd} \leq V_{pl,a,Rd} \quad (6.62)$$

$$A_v = 72.7 - 2 \times 17 \times 1.27 + (0.8 + 2 \times 1.5) \times 1.27 = 34.34 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,a,Rd} = 34.34 \times 36 / \sqrt{3} = 714 \text{ kN}$$

$$V_{pl,a,Rd} \geq V_{sd} = 95 \text{ kN} \quad (\text{uygun})$$

### 6.3.7 Sehim Hesabı

SAP 2000 programından alınan değerler doğrultusunda IPE 360 kirişinin yaptığı maksimum sehim 1.90 cm olarak görülmüştür.

$$\delta = 1.9\text{cm} \leq 610/300 = 2.03\text{cm} \quad (\text{uygun})$$

### 6.3.8 Yanal Burkulma Hesabı

Yanal burkulma hesabında beton çeliğin bir parçası olarak düşünülmüş ve TS 648’de verilen formüller kullanılmıştır.

$$\frac{s}{i_y} \leq \sqrt{\frac{300000000 \times C_b}{\sigma_a}} \quad \text{ise} \quad \sigma_B = \left[ \frac{2}{3} - \frac{\sigma_a \times (s/i_y)^2}{90000000 \times C_b} \right] \times \sigma_a \quad (6.63)$$

$$\frac{s}{i_y} \geq \sqrt{\frac{300000000 \times C_b}{\sigma_a}} \quad \text{ise} \quad \sigma_B = \frac{10000000 \times C_b}{(s/i_y)^2} \quad (6.64)$$

Alt başlığın basınca çalıştığı burkulma boyu:

$$s = 152.5 \text{ cm}$$

$$i_y = 4.45 \text{ cm} \quad , \quad C_b = 1$$

$$\frac{152.5}{4.45} = 34.2 \leq \sqrt{\frac{3 \times 10^7 \times 1}{3600}} = 91.28$$

$$\sigma_B = \left[ \frac{2}{3} - \frac{\sigma_a \times \lambda_{yb}^2}{9 \times 10^7 \times C_b} \right] \times \sigma_a = \left[ \frac{2}{3} - \frac{36 \times 34.2^2}{9 \times 10^7 \times 1.5} \right] \times 36 = 23.98 \text{ kNcm}^2 \geq 0.6 \sigma_a$$

$$\sigma_B = \left[ \frac{84 \times 10^4 \times C_b}{s \times \frac{d}{F_b}} \right] = \left[ \frac{84 \times 10^4 \times 1}{152.3 \times \frac{36}{22.3}} \right] = 34.12 \text{ kNcm}^2 \geq 0.6 \sigma_a$$

$$\sigma_{Bx} = \max \sigma_{Bx} = 35 \geq 0.6 \times 36 = 21.6 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_B = 21.6 \text{ kN/cm}^2$$

Bilgisayar analizi programından elde edilen, IPE 360 kirişi üzerinde en elverişsiz etkiyi yaratan maksimum yükleme kombinasyonuna göre;

$$M_{\max} = 7650 \text{ kNcm}$$

Kompozit kiriş çatlamış kesit atalet momenti,

$$I_k = 45806.6 \text{ cm}^4$$

Kompozit kiriş ağırlık merkezi yüksekliği:

$$g = 33.94 \text{ cm}$$

$$\sigma_b = \frac{7650}{45806.6} \times 33.94 = 5.66 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_B}{\sigma_b} = \frac{5.66}{21.6} = 0.26 \leq 1$$

Basınç başlığında takviyeye gerek yoktur.

### 6.3.9 Enine Takviye Hesabı

$$h/t_g < 319/\sqrt{\sigma_a} \text{ ise } \tau_{emn} = 0.40 \sigma_a \quad (6.65)$$

$$h/t_g > 319/\sqrt{\sigma_a} \text{ ise } \tau_{emn} = \frac{\sigma_a}{2.89} C_v \leq 0.40 \sigma_a \quad (6.66)$$

Yukarıdaki formüllerde  $h/t_g$  oranının 260 değerini, kayma gerilmesinin ise verilen sınır değerleri aşması halinde enine takviyeler kullanılmalıdır.

$$h/t_g = 334.6/8 = 41.8 \leq 319/\sqrt{36} = 53.16$$

$$h/t_g = 41.8 \leq 260 \quad (\text{uygun})$$

$$\tau_{emn} = 0.4 \times 36 = 14.4 \text{ kN/cm}^2$$

$$V_{sd, \max} = 50 \text{ kN}$$

$$\tau = \frac{50}{33.46 \times 0.8} = 1.86 \text{ kN/cm}^2 \leq \tau_{emn} \quad (\text{uygun})$$

## 7 TEMEL HESABI

### 7.1 Radye Temelin Boyutlandırılması

Sistemde yapı ağırlığının büyük ve zemin taşıma gücünün çok yüksek olmamasından ötürü temel tipi olarak radye temel uygulamasına gidilmiştir. Temel, planda her iki yönde yapı boyutlarının dışına 1'er m taşırılarak boyutlandırılmıştır. Maksimum yükleme durumu  $D+L+2E$  kombinasyonunda görüldüğünden radye temel kalınlığı 2 m alınmıştır. Beton sınıfının BS40, beton çeliğinin BÇIII seçildiği temel ve zemin özellikleri aşağıdaki tablolarda toplanmıştır.

**Tablo 7.1:** Temel özellikleri

|          |                            |
|----------|----------------------------|
| Tip      | Radye Temel                |
| EnxBoy   | (41.5x49.1) m <sup>2</sup> |
| Kalınlık | 2 m                        |

**Tablo 7.2:** Zemin özellikleri

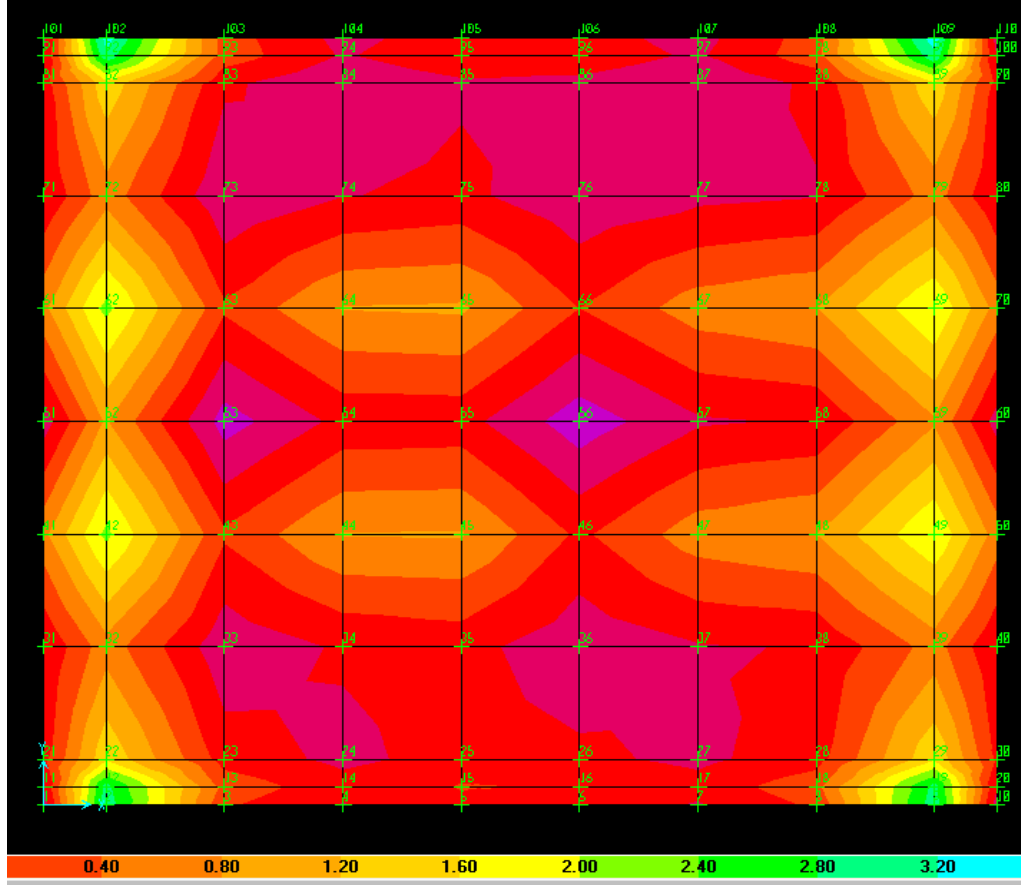
|                               |                                      |
|-------------------------------|--------------------------------------|
| Zemin Sınıfı                  | Z2                                   |
| Zemin Grubu (Sıkı kum, çakıl) | B                                    |
| Zemin Yatak Katsayısı (K)     | 50.000 kN/m <sup>3</sup>             |
| Zemin Emniyet Gerilmesi       | $\sigma_{zem}=500$ kN/m <sup>2</sup> |

### 7.2 Radye Temelin Sap 2000 Programı İle Analizi

Sisteme ait plak temel analizi, Sap 2000 Programı yardımıyla yapılmıştır. Temel boyutları küçük sonlu eleman parçalarına bölünmüş, sistemi maksimum zorlayan  $D+L+2E$  kombinasyonundan alından yükler, düğüm noktalarına etkilmiştir. Bu etkiler x-y yönündeki kesme kuvvetleri, z eksenı boyunca temele aktarılan eksenel kuvvetler ve x-y doğrultularındaki momentlerdir.  $D+L+2E$  kombinasyonuna ait zemin gerilme durumu Şekil 7.1'de görülmektedir.

#### 7.2.1 Zemin Emniyet Gerilmesi Kontrolü

Programdan alınan düğüm noktalarının maksimum çökme değeri ile zemin emniyet gerilmesi kontrolü yapılır. En büyük etki  $D+L+2E$  kombinasyonunda oluşmuştur.



**Şekil 7.1:** D+L+2E kombinasyonuna göre zemin gerilmeleri

$$\sigma_{zem} = 500 \text{ kN/m}^2$$

$$u_{\max} = 0.006089 \text{ m (Düğüm noktalarının maksimum çökme değeridir.)}$$

$$K \text{ (Yatak katsayısı)} = 50.000 \text{ kN/m}^3$$

$$\sigma_{z\max} = Kxu_{\max} = 50000 \times 0.006089 = 304.45 \text{ kN/m}^2 \leq \sigma_{zem} \quad (\text{uygun})$$

(7.1)

### 7.3 Donatı Hesabı

Temelin donatılandırılması için aks hizalarındaki mesnet ve açıklık momentleri programdan okunmuştur. Bu değerler Tablo 7.4'teki gibidir.

Kesitler için minimum donatı alanı (1 m genişlik için);

$$b = 100 \text{ cm}$$

$$\text{Pas payı} = 5 \text{ cm}$$

Faydalı yükseklik:

$$d' = 2 - 0.05 = 1.95 \text{ m}$$

$$A_s = 0.002 \times b \times d = 0.002 \times 100 \times 195 = 39 \text{ cm}^2 \quad (7.2)$$

**Tablo 7.3:** Radye temelde okunan maksimum moment değerleri

| Aks | $M_{\max}$ (kNm) |               |             |              |
|-----|------------------|---------------|-------------|--------------|
|     | Kenar Mesnet     | Kenar Açıklık | Orta Mesnet | Orta Açıklık |
| 1   | 2900             | 3349          | 2064        | 1432         |
| 2   | 281              | 190           | 58          | 463          |
| 3   | 441              | 523           | 750         | 552          |
| 4   | 200              | 180           | 827         | 360          |
| 5   | 187              | 200           | 150         | 598          |
| 6   | 539              | 500           | 515         | 465          |
| 7   | 300              | 172           | 802         | 284          |
| 8   | 3058             | 3407          | 1982        | 1328         |
| A   | 1517             | 400           | 335         | 1000         |
| B   | 1982             | 1130          | 827         | 1377         |
| C   | 2109             | 1100          | 759         | 1400         |
| D   | 3058             | 500           | 441         | 1425         |
| Mak | 3058             | 3407          | 2064        | 1432         |

Kesite gerekli olan donatı alanının hesaplanması;

$$K = \frac{bxd}{M} \quad (7.3)$$

$$A_s = \frac{k_s \times M}{d'} \quad (7.4)$$

$k_s$  değerleri, *İ.T.Ü İnşaat Fakültesi Çalışma Grubu*'nun hazırladığı *Betonarme Tablo ve Abaklar* kitapçığından okunmuştur [12]. Açıklık ve mesnetler için gerekli olan ve seçilen donatılar Tablo 7.5'te verilmiştir.

**Tablo 7.4:** Açıklık ve mesnetler için donatılar

| Kullanılan Parametreler     | Kenar Mesnet | Kenar Açıklık | Orta Mesnet | Orta Açıklık |
|-----------------------------|--------------|---------------|-------------|--------------|
| $K$ (m <sup>2</sup> /kN)    | 0.001243     | 0.0011161     | 0.0018423   | 0.0026554    |
| $k_s$ (mm <sup>2</sup> /kN) | 2.827        | 2.834         | 2.807       | 2.793        |
| $A_s$ (mm <sup>2</sup> )    | 4433.316     | 4951.5067     | 2971.1015   | 2051.0646    |
| $A_s$ (cm <sup>2</sup> )    | 45           | 50            | 39          | 39           |
| Seçilen Donatı              | Ø24/10       | Ø24/9         | Ø24/10      | Ø24/9        |
| Sehpa Donatısı              | Ø22/80       |               |             |              |
| Konstrüktif Donatı          | Ø12/40       |               |             |              |

$$\text{Ø24/10} \rightarrow 45.24 \text{ cm}^2$$

$$\text{Ø24/9} \rightarrow 50.27 \text{ cm}^2$$

## 7.4 Zımbalama Kontrolü

Sınırlı bir alana yayılmış yükler veya kolonlar tarafından yerel olarak yüklenen plakların zımbalama dayanımı hesaplanarak , bu kuvvetin tasarım zımbalama kuvvetine eşit veya ondan büyük olduğu kanıtlanmalıdır [9].

$$V_{pr} \geq V_{pd}$$

$\gamma$  = Zımbalamada eğilme etkisini yansıtan katsayıdır.

$$\gamma = \frac{1}{1 + 1.5x \frac{e_x + e_y}{\sqrt{b_x + b_y}}} \quad (7.5)$$

$b_x, b_y$  = Zımbalama çevresinin ( $u_p$ ) “x” ve “y” doğrultularındaki boyutlarıdır

( $b, h$  : Taban levhası boyutlarıdır.)  $b = h = 2\text{m}$

$$b_x = b_y = b + d = 2 + 1.95 = 3.95\text{m} \quad (7.6)$$

$e_x, e_y$  = “x” ve “y” doğrultularındaki dışmerkezliklerdir.

$$e_x = e_y = 0.03xh = 0.03x0.6 = 0.018\text{m} \quad (7.7)$$

$$\gamma = 0.98$$

$$u_p = 2(b_x + b_y) = 2(3.95 + 3.95) = 15.8\text{m} \quad (7.8)$$

Beton tasarım eksenel çekme dayanımı

$$f_{ctd} = 1459 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{BS40})$$

Zımbalama Dayanımı;

$$V_{pr} = \gamma x f_{ctd} x u_p x d \quad (7.9)$$

$$V_{pr} = 0.98 x 1459 x 15.8 x 1.95 = 44083.89 \text{ kN}$$

Zemin tepkisi,

$$q_{sp} = 304.45 \text{ kN/m}^2$$

Zımbalama çevresinin ( $u_p$ ) içinde kalan plak yüklerinin toplamı:

$$F_a = q_{sp} x b_x x b_y = 304.45 x 3.95 x 3.95 = 4750.18 \text{ kN} \quad (7.10)$$

Zımbalamada maksimum eksenel kolon yükü  $N = 23850 \text{ kN}$

Tasarım zımbalama kuvveti:

$$V_{pd} = N - F_a = 23850 - 4750.18 = 19099.82 \text{ kN} \quad (7.11)$$

$$V_{pr} \geq V_{pd} \quad (\text{uygun})$$

## 8 SONUÇLAR

Tez kapsamında çok katlı bir büro yapısının karşılaştırmalı olarak ele alınan üç farklı taşıyıcı sistem modelinde yapının yatay ve düşey yükler altındaki tasarımı, TS 648, TS 498, TS 500, Kanada Yönetmeliği (CSA), İMO – 01, R – 01, İMO – 02, R – 01 Standartları ve Deprem Yönetmeliği göz önüne alınarak analiz edilmiştir. Yapının deprem yükü analizi için DBYBHY2007’de önerilen mod birleştirme yöntemi kullanılmış; taban kesme kuvveti eşdeğer deprem yükü ile bulunan taban kesme kuvveti ile karşılaştırılmıştır. Bu yöntemle çok serbestlik dereceli sistemlerde gerçeğe daha yakın sonuçlar elde edilmiştir. Hesaplarda ele alınan çok katlı yüksek sünek yapı için DBYBHY2007’nce belirtilen ‘R’ taşıyıcı sistem davranış katsayısı kullanılmış, İMO – 02 standartlarınca belirlenen yükleme kombinasyonlarında deprem yük değeri yapısal rezerv katsayısından yararlanılarak azaltılmıştır. Yapıda rüzgar yüklemesi için ise TS 498 Yönetmeliği yerine yüksek yapılarda rüzgarın darbe etkisini göz önüne alan Kanada Yönetmeliği esas alınmıştır.

Söz konusu taşıyıcı sistem analizlerinde ilk olarak her iki yönde çalışan çerçevelerle birlikte bina çekirdek bölgesinde merkezi çelik çaprazlar teşkil edilmiş, rijitliğin yeterli olmadığı bu durumda ikincil olarak cephe çaprazları sisteme eklenmiştir. Yapının son haline karşı gelen taşıyıcı sistem şeklinde ise perdeler en üst katta sayıları arttırılarak her iki yönde yatay kafes kirişli çerçeve sistemi oluşturmuştur. Yapılan hesaplar sonucunda yapının yatay yüklere karşı rijitliği arttıkça 1. doğal titreşim periyodunun %1, bina tepe noktası yerdeğiştirme değerinin % 5 ve etkin görelî kat deplasmanlarının %50 oranında azaldığı görülmüştür. Bina taban kesme kesme kuvveti değerlerinin ise bir miktar arttığı saptanmıştır. Bu nedenle tasarımı yapılan kule tipi çok katlı çelik büro yapısı için her iki yönde çerçeve, çekirdek ve dış cephe çaprazlarıyla güçlendirilmiş yatay kafes kirişli çerçeve taşıyıcı sistem modeli uygun görülmüştür.

Yapı analizinde yapılan bir diğer hesaplamada ise seçilen yatay kafes kirişli çerçeve sistem modelinde depremlî ve rüzgarlı kombinasyonların karşılaştırılması yapılmıştır. Rüzgarlı durumunda yapıda taban kesme kuvvetinin %20 oranında

arttığı, yapı elemanlarına gelen yük değerlerinin de %5 oranında büyüdüğü görülmüştür. Bu sebeple eleman boyutlandırma ve birleşim hesapları emniyet gerilmelerinde 1.15 arttırma katsayısını öngören, en elverişsiz duruma karşılık gelen rüzgarlı kombinasyona göre yapılmıştır.

Yapı elemanlarının boyutlandırılmasında Deprem Yönetmeliği'nce istenen enkesit koşulları sağlanmış ve yapıda tüm birleşimlerde süneklik prensibi korunmuştur. Kiriş kesitleri kolonlardan önce plastikleşmeyi oluşturacak şekilde tasarlanmıştır.

Kule tipi çok katlı çelik yapıda eleman birleşim hesapları için DBYBHY2007'nin öngördüğü arttırılmış deprem kombinasyonları esas alınmıştır. Tüm birleşimlerde birleşim levhalarının faydalı enkesit alanlarının birleşen eleman faydalı enkesit alanından büyük olması göz önünde bulundurulmuştur. Birleşimlerde kullanılan tüm birleşim ek levhalarında gerilme tahkikleri yapılmıştır. Bu hesaplara ek olarak çapraz birleşimlerinde düğüm nokta levhasının düzlem dışına burkulmasını göz önünde bulunduran 'Whitmore Kesit Analizi' de dahil edilmiştir. Yapıda kolon-kiriş birleşim bölgeleri için DBYBHY2007'nce önerilen dayanımı testlerle ispatlanmış, 0.04 radyan plastik dönme kapasitesine sahip rijit kolon-kiriş birleşimleri uygun görülmüştür. Bu birleşimler ek başlık levhalı kaynaklı birleşim ve alın levhalı bulonlu birleşim olarak tasarlanmıştır. Yapıda tüm iç kuvvetlerin temele aktarıldığı kolon ayakları için düşey kuvvet ve yatay kuvvetle beraber momentin aktarılmasını sağlayan ankastre kolon ayak detayı düşünülmüştür. Taban levhasının iki ekseninde de momenti karşılayabilmesi için Sap 2000 sonlu eleman model analizi yapılmıştır. Birleşimlerde kullanılan tüm bulonlar yapının yüksek sünek olması dolayısıyla 10.9 kalitesinde tam öngermeli yüksek mukavemetli olarak seçilmiştir.

Tez kapsamında yapı analizi yapılan çok katlı büro yapısı için en uygun taşıyıcı sistem olarak seçilen yatay kafes kirişli çerçeve sisteme göre yapı elemanları toplam ağırlığı 77000 kN olarak belirlenmiştir. Bu durumda bina normal kat alanına düşen ağırlık  $1.5 \text{ kN/m}^2$ , yapı birim hacmine düşen ağırlık ise yaklaşık  $0.4 \text{ kN/m}^3$ 'tür.

## KAYNAKLAR

- [1] **Celep, Z. ve Kumbasar, N.**, 2005. Betonarme Yapılar, Beta Dağıtım, İstanbul.
- [2] **Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik**, DBYYHY2007. Bayındırlık Bakanlığı, Ankara.
- [3] **Deren, H., Uzgider, E., Piroğlu, F.**, 2005. Çelik Yapılar, Çağlayan Kitabevi, İstanbul.
- [4] **İMO – 02. R-01**, 2008. Çelik Yapılar, Emniyet Gerilmesi Esasına Göre Hesap ve Proje Esasları, İstanbul.
- [5] **Odabaşı, Y.**, 2000. Ahşap ve Çelik Yapı, Beta Basım, İstanbul.
- [6] **Özgen, A. ve Sev, A.**, 2000. Çok Katlı Yüksek Yapılarda Taşıyıcı Sistemler, Birsan Yayınevi, İstanbul.
- [7] **Özmen, G., Orakdoğan, E. ve Darılmaz, K.**, 2007. Örneklerle Sap2000-V10, Birsan Yayınevi, İstanbul.
- [8] **İMO – 01, R – 01**, 2005 Çelik Yapılarda Kaynaklı Birleşimlerin Hesap ve Yapım Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara
- [9] **TS-500**, 2000. Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [10] **TS-648**, 1980. Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [11] **TS-498**, 1997. Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [12] **İ.T.Ü İnşaat Fakültesi Betonarme Yapılar Çalışma Grubu**, 2004. Betonarme Tablo ve Abaklar, İ.T.Ü İnş. Fak. Matbaası, İstanbul.
- [13] **CSA, Canadian Standards Association Offshore Structures Code**, Kanada Yönetmeliği
- [14] **Eurocode 4**, 1994. Kompozit Çelik ve Beton Yapıların Projelendirilmesi, *Avrupa Standartları Komitesi (CEN)*
- [15] **Yorgun C.**, 2003. Kompozit Döşemeler, *Türk Yapısal Çelik Derneği Yayınları*, İstanbul

## **EKLER**

**EK A:** Kanada Yönetmeli-Rüzgar Yük Parametreleri Tabloları

**EK B:** İmalat Paftaları

**Pafta 1:** Genel Görünüş, Dispozisyon ve Kolon Aplikasyon Planı

**Pafta 2:** Normal Kat ve Çatı Katı Planı

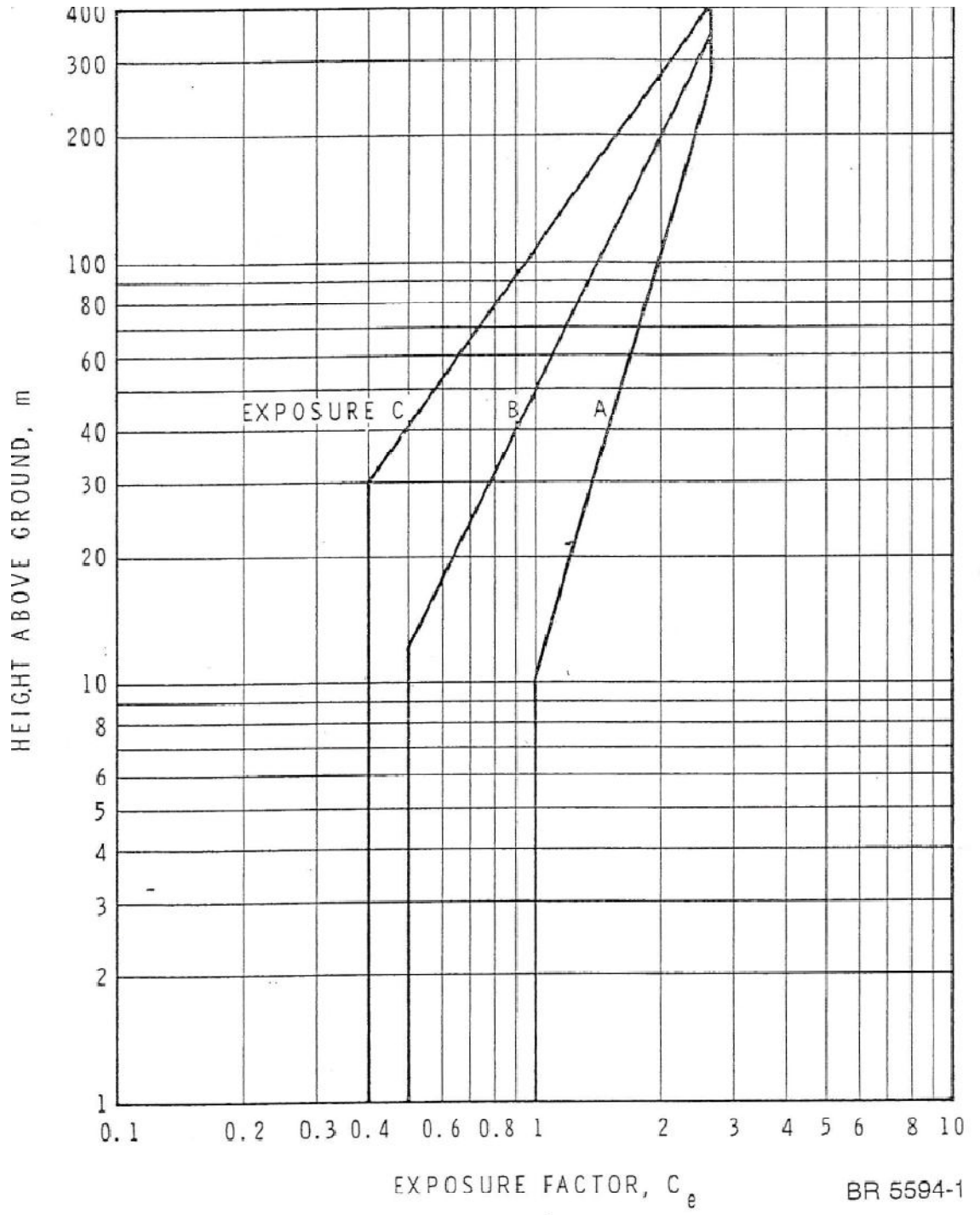
**Pafta 3:** 1, 8, 2 Aksı Kesitleri ve Birleşim Detayları

**Pafta 4:** 3, 7, 6 Aksı Kesitleri ve Birleşim Detayları

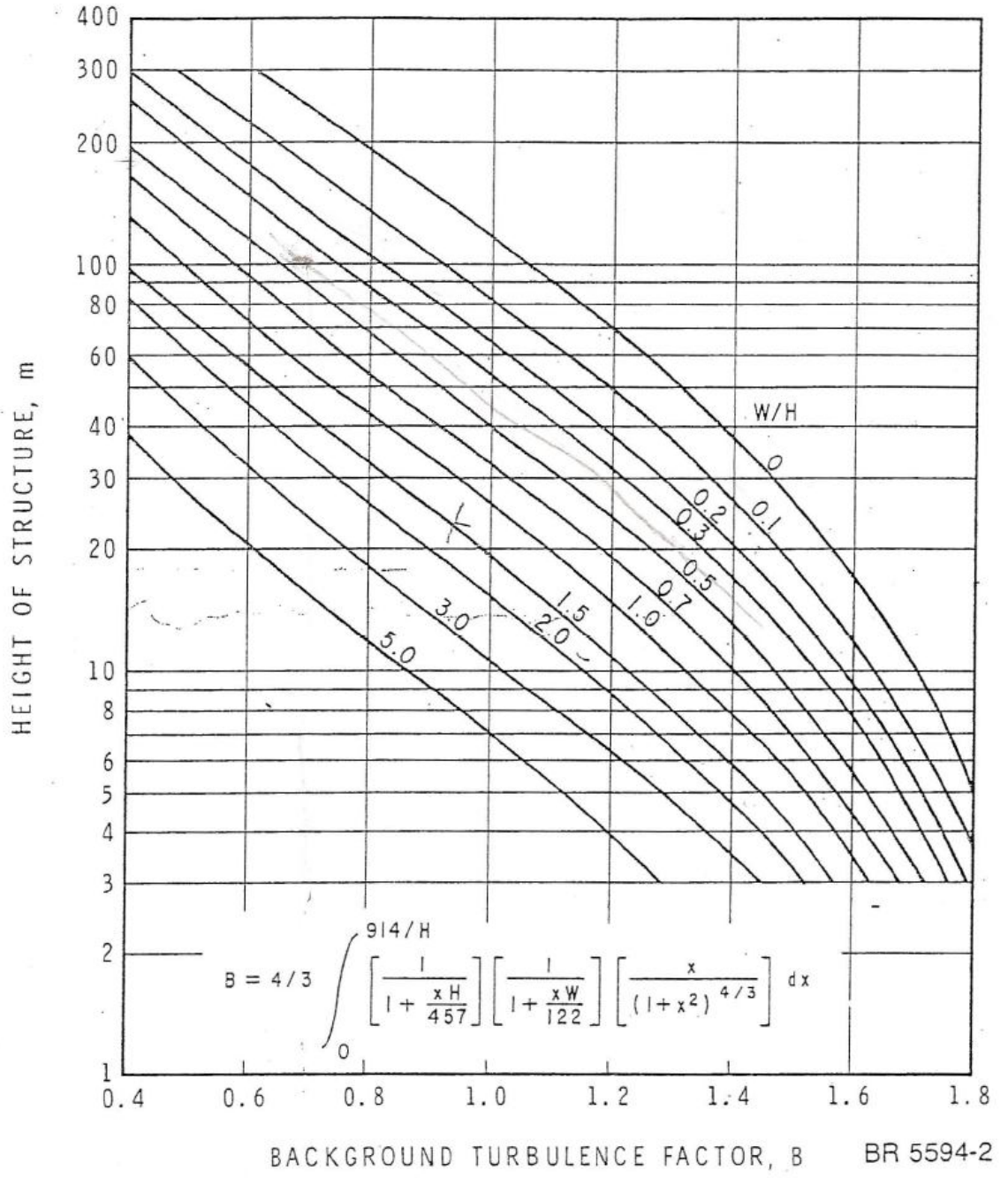
**Pafta 5:** 4, 5, A, D Aksı Kesitleri ve Birleşim Detayları

**Pafta 6:** B, C Aksı Kesitleri ve Birleşim Detayları

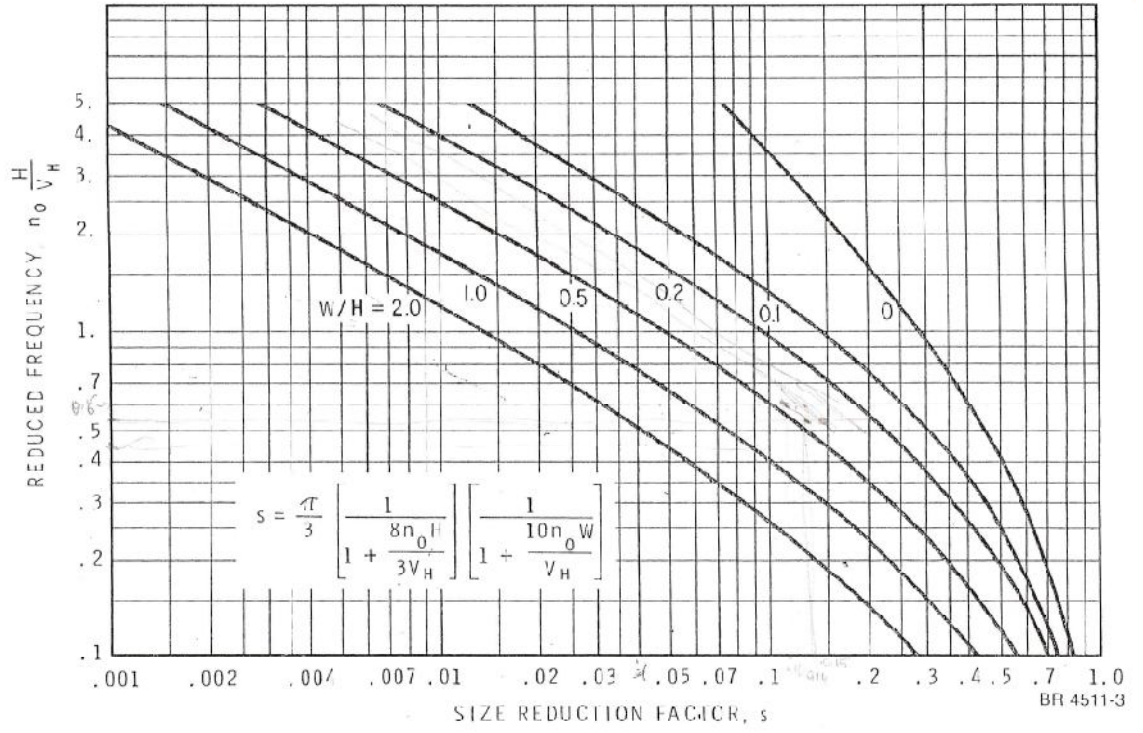
**Pafta 7:** Temel Donatı Planı



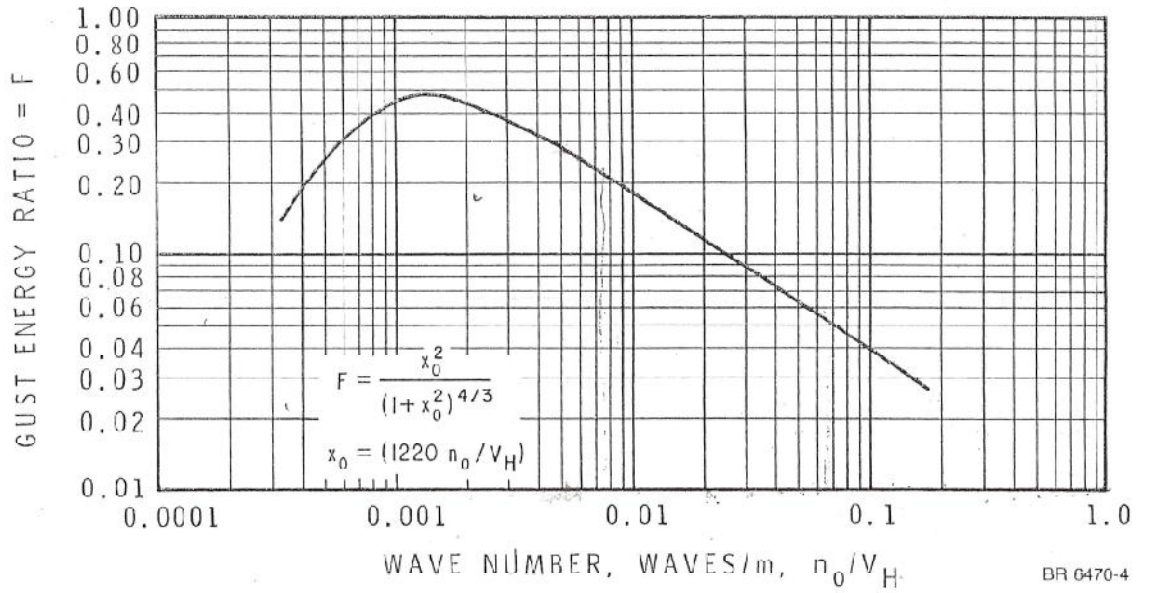
Şekil A.1: Etki faktörü



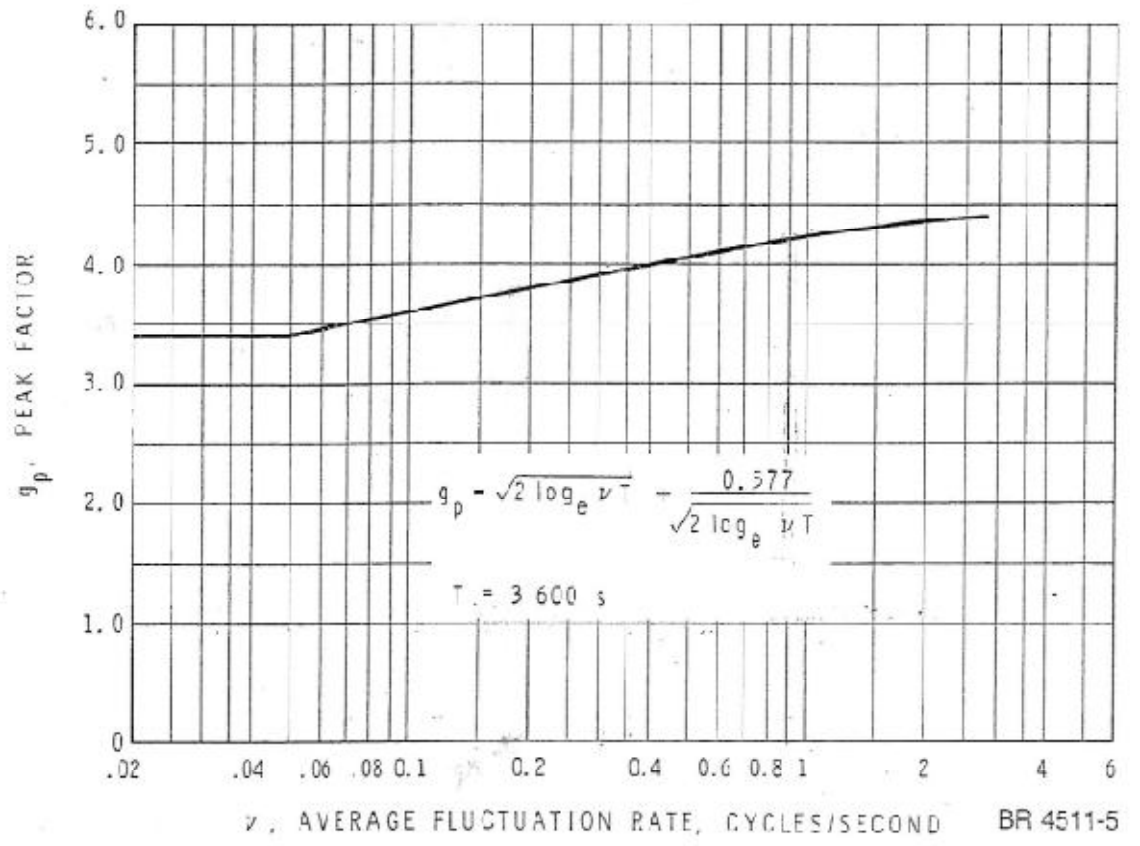
**Şekil A.2:** Türbülans faktörü



Şekil A.3: Boyut küçültme faktörü



Şekil A.4: Darbe etkisi enerji oranı



Şekil A.5: Pik faktörü

## ÖZGEÇMİŞ

Ayça KATIPOĞLU, 1984 yılında İstanbul’da doğdu. İlk ve orta öğrenimini, İstanbul, Ortaköy’de yaptı. 1998 yılında Ankara Dr. Binnaz Rıdvan Ege Anadolu Lisesi’nde başladığı lise eğitiminden sonra 2002 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde lisans eğitimine başladı. İlgi duyduğu çelik alanında “Çelik Bir Endüstri Yapısının Tasarım ve Boyutlandırılması” konusu hakkında lisans tezini tamamlayarak, 2006 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Mühendisliği Programı’nda lisansüstü eğitime başladı. Aynı yıl proje mühendisi olarak iş hayatına başladı.