

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DÜŞEY SÜREKSİZLİK BULUNAN BİR BİNANIN TASARIMI VE ZAMAN  
TANIM ALANINDA DOĞRUSAL ELASTİK VE DOĞRUSAL OLMAYAN  
ANALİZ YÖNTEMLERİ İLE İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Ferhat Uğur BOZAT**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Yapı Mühendisliği Programı**

**OCAK 2013**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DÜŞEY SÜREKSİZLİK BULUNAN BİR BİNANIN TASARIMI VE ZAMAN  
TANIM ALANINDA DOĞRUSAL ELASTİK VE DOĞRUSAL OLMAYAN  
ANALİZ YÖNTEMLERİ İLE İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Ferhat Uğur BOZAT  
(501101025)**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Yapı Mühendisliği Programı**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Kutlu DARILMAZ**

**OCAK 2013**







## **ÖNSÖZ**

Yüksek lisans öğrenimim boyunca sabır ve hoşgörü ile bana yol gösteren, mesleki ve akademik bilgimin gelişmesinde çok büyük katkısı olan, değerli danışman hocam Sayın Doç. Dr. Kutlu DARILMAZ'a en içten teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Değerli vakitlerini ayırıp sorularımı cevapsız bırakmayan Sayın Prof. Dr. Zekai CELEP ve Sayın Doç. Dr. Beyza TAŞKIN'a teşekkür etmeyi borç bilirim.

Bugüne kadar üzerimde emeği bulunan tüm hocalarıma ve tez çalışmam süresince bilgilerinden yararlandığım arkadaşlarım İnş. Müh. Alper AYDIN, İnş. Müh. Salim AYALP ve İnş. Müh. Uğur ÖZORPAK'a teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca benden desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili aileme, değerli dostlarım Mak. Müh. Efe UÇMAZBAŞ ve Mak. Müh. Oğuz DİKİCİ'ye ve her zaman yanımda olan Mim. Özge UÇMAZBAŞ'a sonsuz teşekkür ederim.

Aralık 2012

Ferhat Uğur BOZAT  
(İnşaat Mühendisi)





## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

|   |            |
|---|------------|
| ÖNSÖZ.....  | v          |
| İÇİNDEKİLER.....  | vii        |
| KISALTMALAR.....  | ix         |
| ÇİZELGE LİSTESİ.....  | xi         |
| ŞEKİL LİSTESİ.....  | xiii       |
| <b>DÜŞEY SÜREKSİZLİK BULUNAN BİR BİNANIN TASARIMI VE ZAMAN TANIM ALANINDA DOĞRUSAL ELASTİK VE DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZ YÖNTEMLERİ İLE İNCELENMESİ.....</b> | <b>xxi</b> |
| ÖZET.....   | xxi        |
| SUMMARY.....  | xxiii      |
| <b>1. GİRİŞ .....</b>   | <b>1</b>   |
| 1.1 Konu .....  | 1          |
| 1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....  | 2          |
| <b>2. YAPISAL DÜZENSİZLİKLER.....</b>   | <b>3</b>   |
| 2.1 Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY2007).....   | 3          |
| 2.1.1 Planda düzensizlikler.....  | 3          |
| 2.1.2 Düşey doğrultuda düzensizlikler.....  | 6          |
| 2.2 ASCE/SEI 7(2005).....   | 9          |
| 2.3 Eurocode 8 (2008).....  | 11         |
| 2.3.1 Yatayda düzenlilik kriterleri.....  | 11         |
| 2.3.2 Düşeyde düzenlilik kriterleri.....  | 13         |
| <b>3. B3 DÜZENSİZLİĞİ BULUNAN ÖRNEK BİR BİNANIN DBYBHY(2007) VE TS500(2000)'E GÖRE TASARIMI.....</b>  | <b>15</b>  |
| 3.1 Genel Bina Bilgileri.....   | 15         |
| 3.2 Deprem Hesabı.....  | 23         |
| 3.2.1 Hesap yönteminin belirlenmesi.....  | 23         |
| 3.2.2 Mod birleştirme yöntemi ile analiz.....   | 23         |
| 3.2.3 İvme spektrumu.....   | 24         |
| 3.2.4 Göz önüne alınacak dinamik serbestlik dereceleri.....   | 25         |
| 3.2.5 Hesaba katılacak yeterli titreşim modu sayısı.....  | 25         |
| 3.2.6 Mod katkılarının birleştirilmesi.....   | 26         |
| 3.2.7 Hesaplanan büyüklüklere ilgili alt sınır değerler.....  | 27         |
| 3.2.8 Göreli kat ötelemelerinin kontrolü.....   | 30         |
| 3.2.9 İkinci merteye etkilerinin kontrolü.....  | 32         |
| 3.3 Betonarme Hesabı.....   | 33         |
| 3.3.1 Tasarımda kullanılan yük durumları ve kombinasyonları.....  | 33         |
| 3.3.2 Yüksek kirişin tasarımı.....  | 33         |
| 3.3.2.1 Taşıma gücü yöntemine göre betonarme hesap.....   | 34         |
| Eğilme donatısı hesabı.....   | 35         |

|  |            |
|--|------------|
| Kesme donatısı hesabı.....   | 39         |
| 3.3.2.2 Çubuk model yöntemine göre betonarme hesap.....                          | 40         |
| Çubuk model yöntemi için ACI318-08 Yönetmeliği'nin koşulları.....                | 42         |
| Çubuk model yöntemi ile ilgili genel bilgiler.....                               | 45         |
| Yüksek kirişin çubuk model yöntemine göre hesabı.....                            | 47         |
| Eğilme donatılarının hesabı.....   | 48         |
| Basınç çubuklarının ve düğüm noktalarının kontrolü.....                          | 48         |
| Kesme donatısı hesabı.....   | 50         |
| 3.3.3 Perdenin Tasarımı.....   | 53         |
| 3.3.3.1 Boyuna donatıların belirlenmesi.....                                     | 53         |
| 3.3.3.2 Enine donatıların belirlenmesi.....                                      | 55         |
| 3.3.3.3 Eğilme güvenliğinin kontrolü.....  | 58         |
| 3.3.3.4 Kesme güvenliğinin kontrolü.....   | 59         |
| 3.3.4 Bağ Kirişlerinin Tasarımı.....   | 62         |
| 3.3.5 Kirişlerin Tasarımı.....   | 63         |
| 3.3.5.1 Eğilme donatısı hesabı.....  | 63         |
| 3.3.5.2 Kesme donatısı hesabı.....   | 64         |
| 3.3.6 Kolonların Tasarımı.....   | 66         |
| 3.3.6.1 Eğilme donatısı hesabı.....  | 66         |
| 3.3.6.2 Kesme donatısı hesabı.....   | 67         |
| <b>4. B3 DÜZENSİZLİĞİ BULUNAN ÖRNEK BİNANIN ZAMAN TANIM</b>                      |            |
| <b>ALANINDA DOĞRUSAL VE DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZİ.....</b>                        | <b>71</b>  |
| 4.1 Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklendirilmesi.....                      | 74         |
| 4.1.1 Zaman tanım alanında ölçeklendirme işlemi.....                             | 75         |
| 4.1.1.1 Tek bir deprem kaydı için genel yöntem.....                              | 76         |
| 4.1.1.2 Birden çok deprem kaydı için genel yöntem.....                           | 76         |
| 4.1.2 Frekans tanım alanında ölçeklendirme işlemi.....                           | 77         |
| 4.1.3 Kullanılan deprem kayıtları.....   | 77         |
| 4.2 Yük kombinasyonları.....   | 84         |
| 4.3 Doğrusal Olmayan Hesap İçin Analiz Modeli Oluşturulması.....                 | 84         |
| 4.3.1 Beton ve donatı çeliği için malzame modelleri.....                         | 85         |
| 4.3.1.1 Sargılı ve sargısız beton için gerilme-şekil değiştirme bağıntıları..... | 85         |
| 4.3.1.2 Donatı çeliği için gerilme-şekildeğiştirme bağıntıları.....              | 88         |
| 4.3.2 Moment-eğrilik ilişkisi.....   | 88         |
| 4.3.3 Çatlamış kesite ait eğilme rijitliklerinin tanımlanması.....               | 89         |
| 4.3.4 Plastik mafsal kabulü.....   | 91         |
| 4.4 Analiz Sonuçları.....  | 92         |
| 4.4.1 Zaman tanım alanında doğrusal elastik analiz sonuçları.....                | 92         |
| 4.4.2 Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonuçları.....                | 97         |
| <b>5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>   | <b>101</b> |
| <b>KAYNAKLAR.....</b>  | <b>105</b> |
| <b>EKLER.....</b>  | <b>107</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>   | <b>153</b> |

## **KISALTMALAR**

|               |   |
|---------------|---|
| <b>ACI</b>    | : American Concrete Institute                                 |
| <b>ASCE</b>   | : American Society of Civil Engineers                         |
| <b>CQC</b>    | : The Complete Quadric Combination rule                       |
| <b>DBYBHY</b> | : Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelik |
| <b>EC</b>     | : Eurocode  |
| <b>PGA</b>    | : Peak Ground Acceleration                                    |
| <b>SRSS</b>   | : The Square Root of Sum of Squares rule                      |
| <b>TS</b>     | : Türk Standartları   |
| <b>ZTADEA</b> | : Zaman Tanım Alanında Doğrusal Elastik Analiz                |
| <b>ZTADOA</b> | : Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz                |



## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

|   |    |
|---|----|
| Çizelge 2.1 : ASCE/SEI7' ye göre düşeyde düzensiz olan yapılar.....                         | 9  |
| Çizelge 2.2 : ASCE/SEI7' ye göre planda düzensiz olan yapılar.....                          | 10 |
| Çizelge 2.3 : EC8 yapısal düzensizliğin sismik analiz ve tasarımdaki sonuçları. ....        | 11 |
| Çizelge 3.1 : Döşeme kalınlıkları.....  | 19 |
| Çizelge 3.2 : Kiriş tabla genişlikleri ve boyutları.....                                    | 20 |
| Çizelge 3.3 : 1. tip kat planlarında yer alan kolonların boyutları.....                     | 21 |
| Çizelge 3.4 : 2. tip kat planlarında yer alan kolonların boyutları.....                     | 21 |
| Çizelge 3.5 : Kat ağırlıkları.....  | 22 |
| Çizelge 3.6 : Etkin kütle katılım oranları.....   | 26 |
| Çizelge 3.7 : İlk 12 modun periyot, frekans ve açısal frekans değerleri. ....               | 27 |
| Çizelge 3.8 : x doğrultusundaki kat öteleme değerleri. ....                                 | 30 |
| Çizelge 3.9 : y doğrultusundaki kat öteleme değerleri. ....                                 | 31 |
| Çizelge 3.10 : x doğrultusunda $\theta_i$ değerleri. ....                                   | 32 |
| Çizelge 3.11 : y doğrultusunda $\theta_i$ değerleri. ....                                   | 32 |
| Çizelge 3.12 : Tasarımda kullanılan yük kombinasyonları. ....                               | 33 |
| Çizelge 3.13 : Arttırılmış moment değerleri. ....   | 35 |
| Çizelge 3.14 : Yüksek kirişte taşıma gücü hesap yöntemine göre eğilme donatısı hesabı.....  | 38 |
| Çizelge 3.15 : Yüksek kirişte seçilen donatılara göre taşıma gücü momentleri ( $M_r$ )..... | 38 |
| Çizelge 3.16 : Kesme kuvveti değerleri.....   | 39 |
| Çizelge 3.17 : Yüksek kirişte kesme donatısı hesabı. ....                                   | 40 |
| Çizelge 3.18 : ACI318-08 gerilme limitleri.....   | 44 |
| Çizelge 3.19 : Çubuk elemanların aksenal kuvvetleri.....                                    | 48 |
| Çizelge 3.20 : Yüksek kirişte çubuk model yöntemine göre eğilme donatısı hesabı.....        | 48 |
| Çizelge 3.21 : Basınç çubuklarının kontrolü.....  | 50 |
| Çizelge 3.22 : Düğüm noktaları $\beta_n$ çarpanları ve dayanımları.....                     | 50 |
| Çizelge 3.23 : Basınç çubukları için düşey ve yatay donatı kontrolü .....                   | 52 |
| Çizelge 3.24 : Değişik durumlar için kesme-sürtünme katsayısı.....                          | 62 |
| Çizelge 3.25 : Kirişlerin $M_p$ ve $M_r$ değerleri. ....                                    | 68 |
| Çizelge 3.26 : Kolonların x doğrultusundaki $M_p$ ve $M_r$ değerleri. ....                  | 68 |
| Çizelge 4.1 : $\beta$ ve $\gamma$ değerleri.....  | 71 |
| Çizelge 4.2 : Newmark yöntemi ile çözümde izlenen adımlar (Chopra, 2006).....               | 74 |
| Çizelge 4.3 : Yatay deprem kayıtları.....   | 82 |
| Çizelge 4.4 : Düşey deprem kayıtları. ....  | 82 |
| Çizelge 4.5 : Doğrusal analizde kullanılan deprem yükü kombinasyonları. ....                | 84 |
| Çizelge 4.6 : Doğrusal olmayan analizde kullanılan deprem yükü kombinasyonları.....         | 84 |
| Çizelge 4.7 : Çatlama kesite ait eğilme rijitlikleri.....                                   | 90 |
| Çizelge 4.8 : Mod birleştirme ve ZTADEA den elde edilen taban kesme kuvvetleri.....         | 93 |

|   |     |
|---|-----|
| Çizelge 4.9 : $E_x+0.3E_y+E_v$ deprem yüklemeleri için kritik kesitlerdeki iç kuvvetler.  | 96  |
| Çizelge 4.10 : $E_y+0.3E_x+E_v$ deprem yüklemeleri için kritik kesitlerdeki iç kuvvetler. | 97  |
| Çizelge 4.11 : ZTADOA'lerden elde edilen $V_{tx}$ ve $d_a$ değerleri.                     | 98  |
| Çizelge 4.12 : ZTADOA lerde plastik mafsallarda oluşan kolonlar.                          | 100 |
| Çizelge A.1 : Yatay ve düşey kayıtların spektral ivme değerlerinin ortalamaları.          | 114 |
| Çizelge B.1 : TH1 analizi için kritik kesitlerdeki iç kuvvetlerin karşılaştırılması.      | 121 |
| Çizelge B.2 : TH1 analizi için kritik kesitlerdeki iç kuvvetlerin karşılaştırılması.      | 122 |
| Çizelge B.3 : TH2 analizi için kritik kesitlerdeki iç kuvvetlerin karşılaştırılması.      | 123 |
| Çizelge B.4 : TH2 analizi için kritik kesitlerdeki iç kuvvetlerin karşılaştırılması.      | 124 |
| Çizelge B.5 : TH3 analizi için kritik kesitlerdeki iç kuvvetlerin karşılaştırılması.      | 125 |
| Çizelge B.6 : TH3 analizi için kritik kesitlerdeki iç kuvvetlerin karşılaştırılması.      | 126 |
| Çizelge B.7 : TH4 analizi için kritik kesitlerdeki iç kuvvetlerin karşılaştırılması.      | 127 |
| Çizelge B.8 : TH4 analizi için kritik kesitlerdeki iç kuvvetlerin karşılaştırılması.      | 128 |
| Çizelge B.9 : TH5 analizi için kritik kesitlerdeki iç kuvvetlerin karşılaştırılması.      | 129 |
| Çizelge B.10 : TH5 analizi için kritik kesitlerdeki iç kuvvetlerin karşılaştırılması.     | 130 |
| Çizelge B.11 : TH6 analizi için kritik kesitlerdeki iç kuvvetlerin karşılaştırılması.     | 131 |
| Çizelge B.12 : TH6 analizi için kritik kesitlerdeki iç kuvvetlerin karşılaştırılması.     | 132 |
| Çizelge B.13 : TH7 analizi için kritik kesitlerdeki iç kuvvetlerin karşılaştırılması.     | 133 |
| Çizelge B.14 : TH7 analizi için kritik kesitlerdeki iç kuvvetlerin karşılaştırılması.     | 134 |
| Çizelge B.15 : Kritik kesitlerdeki ortalama iç kuvvetlerin karşılaştırmaları.             | 135 |
| Çizelge B.16 : Kritik kesitlerdeki ortalama iç kuvvetlerin karşılaştırmaları.             | 136 |
| Çizelge B.17 : TH8 analizi için kritik kesitlerdeki iç kuvvet karşılaştırmaları.          | 137 |
| Çizelge B.18 : TH8 analizi için kritik kesitlerdeki iç kuvvet karşılaştırmaları.          | 138 |
| Çizelge B.19 : TH9 analizi için kritik kesitlerdeki iç kuvvet karşılaştırmaları.          | 139 |
| Çizelge B.20 : TH9 analizi için kritik kesitlerdeki iç kuvvet karşılaştırmaları.          | 140 |
| Çizelge B.21 : TH10 analizi için kritik kesitlerdeki iç kuvvet karşılaştırmaları.         | 141 |
| Çizelge B.22 : TH10 analizi için kritik kesitlerdeki iç kuvvet karşılaştırmaları.         | 142 |
| Çizelge B.23 : TH11 analizi için kritik kesitlerdeki iç kuvvet karşılaştırmaları.         | 143 |
| Çizelge B.24 : TH11 analizi için kritik kesitlerdeki iç kuvvet karşılaştırmaları.         | 144 |
| Çizelge B.25 : TH12 analizi için kritik kesitlerdeki iç kuvvet karşılaştırmaları.         | 145 |
| Çizelge B.26 : TH12 analizi için kritik kesitlerdeki iç kuvvet karşılaştırmaları.         | 146 |
| Çizelge B.27 : TH13 analizi için kritik kesitlerdeki iç kuvvet karşılaştırmaları.         | 147 |
| Çizelge B.28 : TH13 analizi için kritik kesitlerdeki iç kuvvet karşılaştırmaları.         | 148 |
| Çizelge B.29 : TH14 analizi için kritik kesitlerdeki iç kuvvet karşılaştırmaları.         | 149 |
| Çizelge B.30 : TH14 analizi için kritik kesitlerdeki iç kuvvet karşılaştırmaları.         | 150 |
| Çizelge B.31 : Kritik kesitlerdeki ortalama iç kuvvetlerin karşılaştırmaları.             | 151 |
| Çizelge B.32 : Kritik kesitlerdeki ortalama iç kuvvetlerin karşılaştırmaları.             | 152 |

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

|  |    |
|--|----|
| Şekil 1.1 : Süreksiz kolonların bulunduğu örnek bir bina. ....                       | 2  |
| Şekil 2.1 : Burulma düzensizliği (A1). ....  | 4  |
| Şekil 2.2 : Döşeme süreksizlikleri (A2). ....  | 5  |
| Şekil 2.3 : Planda çıkıntıların bulunması (A3). ....                                 | 6  |
| Şekil 2.4 : Zayıf kat düzensizliği (B1). ....  | 7  |
| Şekil 2.5 : Yumuşak kat düzensizliği (B2). ....                                      | 8  |
| Şekil 2.6 : Düşey elemanların süreksizliği ile oluşan düzensizlik (B3). ....         | 8  |
| Şekil 2.7 : Bina geri çekmelerinde düzenlilik koşulları. ....                        | 14 |
| Şekil 3.1 : 1. tip kat planı. ....   | 16 |
| Şekil 3.2 : 2. tip kat planı. ....   | 17 |
| Şekil 3.3 : Binanın A-A aksı görünüşü. ....  | 18 |
| Şekil 3.4 : Kiriş tabla genişliği. ....  | 20 |
| Şekil 3.5 : Binanın SAP2000 modeli. ....   | 23 |
| Şekil 3.6 : Elastik ve inelastik ivme spektrumları. ....                             | 25 |
| Şekil 3.7 : Bağ kirişli perde sistemi. ....  | 30 |
| Şekil 3.8 : Dengeli durum için şekil değiştirme ve gerilmeler. ....                  | 35 |
| Şekil 3.9 : Yüksek kiriş boyuna donatılar. ....                                      | 37 |
| Şekil 3.10 : Betonarme elemanlarda B ve D bölgeleri. ....                            | 41 |
| Şekil 3.11 : St.Venant prensibi. ....  | 41 |
| Şekil 3.12 : Kafes benzeşimi. ....   | 42 |
| Şekil 3.13 : Birleşim bölgelerinin sınıflandırılması (Mitchell ve diğ. , 2004). .... | 43 |
| Şekil 3.14 : $\beta_s$ değişkeninin değişimi. ....                                   | 44 |
| Şekil 3.15 : Çubuk model metodunda hesap adımları. ....                              | 46 |
| Şekil 3.16 : Kiriş ön boyutları, yükleme durumu, B ve D-Bölgeleri. ....              | 47 |
| Şekil 3.17 : Gerilme yörüngeleri. ....   | 47 |
| Şekil 3.18 : Çubuk model. ....   | 47 |
| Şekil 3.19 : Yüksek kiriş boyuna donatılar. ....                                     | 49 |
| Şekil 3.20 : Basınç çubuğunu kesen donatılar. ....                                   | 53 |
| Şekil 3.21 : 1. tip perde betonarme detayı. ....                                     | 54 |
| Şekil 3.22 : 2. tip perde betonarme detayı. ....                                     | 54 |
| Şekil 3.23 : 3. tip perde betonarme detayı. ....                                     | 54 |
| Şekil 3.24 : 1. tip ve 2. tip perde boyuna ve enine donatı şemaları. ....            | 57 |
| Şekil 3.25 : Perde X ve Y doğrultusu tasarım eğilme momentleri. ....                 | 58 |
| Şekil 3.26 : 1. tip perde $M_x$ - $M_y$ -N etkileşim diyagramı. ....                 | 58 |
| Şekil 3.27 : 2. tip perde $M_x$ - $M_y$ -N etkileşim diyagramı. ....                 | 58 |
| Şekil 3.28 : 3. tip perde $M_x$ - $M_y$ -N etkileşim diyagramı. ....                 | 59 |
| Şekil 3.29 : x doğrultusu için karşılıklı etki diyagramı. ....                       | 60 |
| Şekil 3.30 : y doğrultusu için karşılıklı etki diyagramı. ....                       | 61 |
| Şekil 3.31 : Çapraz donatılı bağ kirişi donatı düzeni. ....                          | 63 |
| Şekil 3.32 : SAP2000 kiriş eğilme donatısı hesabının özeti. ....                     | 64 |
| Şekil 3.33 : SAP2000 kiriş kesme donatısı hesabının özeti. ....                      | 65 |

|  |     |
|--|-----|
| Şekil 3.34 : SAP2000 kolon eğilme donatısı hesabının özeti.....  | 66  |
| Şekil 3.35 : S102 kolonu $M_x$ - $M_y$ -N etkileşim diyagramı.....   | 66  |
| Şekil 3.36 : S1602 kolonu $M_x$ - $M_y$ -N etkileşim diyagramı.....  | 67  |
| Şekil 3.37 : Örnek hesabın yapıldığı düğüm noktası ve elemanlar.....   | 69  |
| Şekil 3.38 : İki deprem yönü için kiriş ve kolon $M_r$ değerleri.....  | 69  |
| Şekil 4.1 : Fay tipleri için odak küresi gösterimi.....  | 78  |
| Şekil 4.2 : Türkiye'deki fayların odak mekanizmaları (McClusky ve diğ. 2000).....  | 78  |
| Şekil 4.3 : TS1 kaydına ait ölçeklenmiş ve ölçeklenmemiş ivme spektrumları.....  | 79  |
| Şekil 4.4 : TS5 kaydına ait ivme-zaman grafiği ve kaydın zarf süresi.....  | 80  |
| Şekil 4.5 : TS5 kaydına ait husid grafiği ve kaydın anlamlı süresi.....  | 80  |
| Şekil 4.6 : TS2 kaydına ait sapma düzeltmesi yapılmış ve yapılmamış,<br>(a)ivme-zaman (b)hız-zaman (c)yer değiştirme-zaman grafikleri..... | 81  |
| Şekil 4.7 : Yatay deprem kayıtlarının ve ortalamasının ivme spektrumu.....   | 83  |
| Şekil 4.8 : Yatay deprem kayıtlarının ortalama ivme spektrumu.....   | 83  |
| Şekil 4.9 : Yanal atımlı fayda fay geometrisi ve mesafe ölçüleri.....  | 83  |
| Şekil 4.10 : Örnek kolon kesiti.....   | 87  |
| Şekil 4.11 : Örnek kolon sargılı betonun $f$ - $\epsilon$ eğrisi.....  | 87  |
| Şekil 4.12 : Donatı çeliğinin $f$ - $\epsilon$ eğrisi.....   | 88  |
| Şekil 4.13 : Betonarme bir elemana ait moment-eğrilik ilişkisi.....  | 89  |
| Şekil 4.14 : Plastik mafsal hipotezi.....  | 91  |
| Şekil 4.15 : Plastik mafsal yerleşimi.....   | 92  |
| Şekil 4.16 : x doğrultusundaki görelî kat ötelemeleri.....   | 94  |
| Şekil 4.17 : y doğrultusundaki görelî kat ötelemeleri.....   | 94  |
| Şekil 4.18 : Karşılaştırma yapılan kritik elemanlar.....   | 95  |
| Şekil 4.19 : NLTH3 analizine ait taban kesme kuvveti-zaman grafiği.....  | 99  |
| Şekil 4.20 : NLTH2 analizine ait tepe deplasmanı-zaman grafiği.....  | 99  |
| Şekil 4.21 : x doğrultusundaki görelî kat ötelemeleri.....   | 99  |
| Şekil 4.22 : ZTADOA lerde oluşan plastik mafsallar.....  | 100 |
| Şekil A.1 : TS1 kaydına ait ivme-zaman grafiği ve kaydın zarf süresi.....  | 109 |
| Şekil A.2 : TS1 kaydına ait ölçeklenmiş ve ölçeklenmemiş ivme spektrumları.....  | 109 |
| Şekil A.3 : TS1 kaydına ait husid grafiği ve kaydın anlamlı süresi.....  | 109 |
| Şekil A.4 : TS2 kaydına ait ivme-zaman grafiği ve kaydın zarf süresi.....  | 109 |
| Şekil A.5 : TS2 kaydına ait ölçeklenmiş ve ölçeklenmemiş ivme spektrumları.....  | 110 |
| Şekil A.6 : TS2 kaydına ait husid grafiği ve kaydın anlamlı süresi.....  | 110 |
| Şekil A.7 : TS3 kaydına ait ivme-zaman grafiği ve kaydın zarf süresi.....  | 110 |
| Şekil A.8 : TS3 kaydına ait ölçeklenmiş ve ölçeklenmemiş ivme spektrumları.....  | 110 |
| Şekil A.9 : TS3 kaydına ait husid grafiği ve kaydın anlamlı süresi.....  | 111 |
| Şekil A.10 : TS4 kaydına ait ivme-zaman grafiği ve kaydın zarf süresi.....   | 111 |
| Şekil A.11 : TS4 kaydına ait ölçeklenmiş ve ölçeklenmemiş ivme spektrumları.....   | 111 |
| Şekil A.12 : TS4 kaydına ait husid grafiği ve kaydın anlamlı süresi.....   | 111 |
| Şekil A.13 : TS5 kaydına ait ivme-zaman grafiği ve kaydın zarf süresi.....   | 112 |
| Şekil A.14 : TS5 kaydına ait ölçeklenmiş ve ölçeklenmemiş ivme spektrumları.....   | 112 |
| Şekil A.15 : TS5 kaydına ait husid grafiği ve kaydın anlamlı süresi.....   | 112 |
| Şekil A.16 : TS6 kaydına ait ivme-zaman grafiği ve kaydın zarf süresi.....   | 112 |
| Şekil A.17 : TS6 kaydına ait ölçeklenmiş ve ölçeklenmemiş ivme spektrumları.....   | 113 |
| Şekil A.18 : TS6 kaydına ait husid grafiği ve kaydın anlamlı süresi.....   | 113 |
| Şekil A.19 : TS7 kaydına ait ivme-zaman grafiği ve kaydın zarf süresi.....   | 113 |
| Şekil A.20 : TS7 kaydına ait ölçeklenmiş ve ölçeklenmemiş ivme spektrumları.....   | 113 |
| Şekil A.21 : TS7 kaydına ait husid grafiği ve kaydın anlamlı süresi.....   | 114 |
| Şekil A.22 : TS8 kaydına ait ivme-zaman grafiği ve kaydın zarf süresi.....   | 115 |



|   |     |
|---|-----|
| Şekil A.23 : TS8 kaydına ait ölçeklenmiş ve ölçeklenmemiş ivme spektrumları.... | 115 |
| Şekil A.24 : TS8 kaydına ait husid grafiği ve kaydın anlamlı süresi. ....       | 115 |
| Şekil A.25 : TS9 kaydına ait ivme-zaman grafiği ve kaydın zarf süresi. ....     | 115 |
| Şekil A.26 : TS9 kaydına ait ölçeklenmiş ve ölçeklenmemiş ivme spektrumları.... | 116 |
| Şekil A.27 : TS9 kaydına ait husid grafiği ve kaydın anlamlı süresi. ....       | 116 |
| Şekil A.28 : TS10 kaydına ait ivme-zaman grafiği ve kaydın zarf süresi. ....    | 116 |
| Şekil A.29 : TS10 kaydına ait ölçeklenmiş ve ölçeklenmemiş ivme spektrumları. . | 116 |
| Şekil A.30 : TS10 kaydına ait husid grafiği ve kaydın anlamlı süresi. ....      | 117 |
| Şekil A.31 : TS11 kaydına ait ivme-zaman grafiği ve kaydın zarf süresi. ....    | 117 |
| Şekil A.32 : TS11 kaydına ait ölçeklenmiş ve ölçeklenmemiş ivme spektrumları. . | 117 |
| Şekil A.33 : TS11 kaydına ait husid grafiği ve kaydın anlamlı süresi. ....      | 117 |
| Şekil A.34 : TS12 kaydına ait ivme-zaman grafiği ve kaydın zarf süresi. ....    | 118 |
| Şekil A.35 : TS12 kaydına ait ölçeklenmiş ve ölçeklenmemiş ivme spektrumları. . | 118 |
| Şekil A.36 : TS12 kaydına ait husid grafiği ve kaydın anlamlı süresi. ....      | 118 |
| Şekil A.37 : TS13 kaydına ait ivme-zaman grafiği ve kaydın zarf süresi. ....    | 118 |
| Şekil A.38 : TS13 kaydına ait ölçeklenmiş ve ölçeklenmemiş ivme spektrumları. . | 119 |
| Şekil A.39 : TS13 kaydına ait husid grafiği ve kaydın anlamlı süresi. ....      | 119 |
| Şekil A.40 : TS14 kaydına ait ivme-zaman grafiği ve kaydın zarf süresi. ....    | 119 |
| Şekil A.41 : TS14 kaydına ait ölçeklenmiş ve ölçeklenmemiş ivme spektrumları. . | 119 |
| Şekil A.42 : TS14 kaydına ait husid grafiği ve kaydın anlamlı süresi. ....      | 120 |
| Şekil A.43 : Düşey deprem kayıtlarının ortalamasının ivme spekturumu.....       | 120 |



## SEMBOL LİSTESİ

|                         |  |
|-------------------------|--|
| <b>A(T)</b>             | : Spektral ivme katsayısı  |
| <b>A<sub>c</sub></b>    | : Kolon veya perdenin brüt kesit alanı   |
| <b>A<sub>ck</sub></b>   | : Sargı donatısının dışından dışına alınan ölçü içinde kalan çekirdek beton alanı  |
| <b>A<sub>s</sub></b>    | : Eğilme donatısı alanı, çekme donatısı alanı  |
| <b>A<sub>sh</sub></b>   | : s enine donatı aralığına karşı gelen yükseklik boyunca, kolonda veya perde uç bölgesindeki tüm etriye kollarının ve çirozların enkesit alanı değerlerinin gözönüne alınan b <sub>k</sub> 'ya dik doğrultudaki izdüşümlerinin toplamı |
| <b>A<sub>sw</sub></b>   | : Kesme donatısı toplam kesit alanı  |
| <b>A<sub>s</sub>'</b>   | : Basınç donatısı alanı  |
| <b>A<sub>0</sub></b>    | : Etkin yer ivmesi katsayısı   |
| <b>a</b>                | : Eşdeğer dikdörtgen basınç bloğu derinliği  |
| <b>a<sub>n</sub></b>    | : Paralel kirişler arasındaki net uzaklık  |
| <b>b</b>                | : Kiriş tabla genişliği  |
| <b>b<sub>k</sub></b>    | : Birbirine dik yatay doğrultuların her biri için, kolon veya perde uç bölgesi çekirdeğinin enkesit boyutu (en dıştaki enine donatı eksenleri arasındaki uzaklık)  |
| <b>b<sub>w</sub></b>    | : Kirişin gövde genişliği  |
| <b>c</b>                | : Tarafsız eksen derinliği   |
| <b>D<sub>i</sub></b>    | : Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nde burulma düzensizliği olan binalar için i'nci katta $\pm 5$ ek dış merkezliğe uygulanan büyütme katsayısı   |
| <b>d</b>                | : Kirişin ve kolonun faydalı yüksekliği  |
| <b>d<sub>i</sub></b>    | : Binanın i'nci katında azaltılmış deprem yüklerine göre hesaplanan yerdeğiştirme  |
| <b>E<sub>c</sub></b>    | : Betonunun elastisite modülü  |
| <b>(ED)<sub>e</sub></b> | : Çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitliği   |
| <b>(ED)<sub>o</sub></b> | : Çatlamamış kesite ait eğilme rijitliği   |
| <b>e</b>                | : Dış merkezlik  |
| <b>F<sub>wi</sub></b>   | : i'nci katta bağ kirişli perde sistemine etkiyen deprem yükü  |
| <b>f</b>                | : Yapının frekansı (çevrim/sn)   |
| <b>f<sub>cd</sub></b>   | : Betonun tasarım basınç dayanımı  |
| <b>f<sub>ck</sub></b>   | : Betonun karakteristik silindirik basınç dayanımı   |
| <b>f<sub>ctd</sub></b>  | : Betonun tasarım çekme dayanımı   |
| <b>f<sub>yd</sub></b>   | : Boyuna donatının tasarım akma dayanımı   |
| <b>f<sub>yk</sub></b>   | : Boyuna donatı karakteristik akma dayanımı  |
| <b>f<sub>ywd</sub></b>  | : Enine donatının tasarım akma dayanımı  |
| <b>f<sub>ywk</sub></b>  | : Enine donatının karakteristik akma dayanımı  |
| <b>g</b>                | : Yerçekimi ivmesi (9.81 m/s <sup>2</sup> )  |
| <b>H<sub>i</sub></b>    | : i'nci kata kadar olan toplam yapı yüksekliği   |
| <b>h<sub>f</sub></b>    | : Döşeme kalınlığı   |
| <b>h<sub>i</sub></b>    | : Binanın i'nci katının kat yüksekliği   |

|                                     |   |
|-------------------------------------|---|
| <b>I</b>                            | : Bina önem katsayısı   |
| <b>I<sub>c</sub></b>                | : Kolon atalet momenti  |
| <b>k<sub>1</sub></b>                | : Eşdeğer dikdörtgen basınç bloğu derinliği katsayısı   |
| <b>L<sub>max</sub></b>              | : Binanın plandaki en büyük boyutu  |
| <b>L<sub>min</sub></b>              | : Binanın plandaki en küçük boyutu  |
| <b>L<sub>p</sub></b>                | : Plastik mafsal boyu   |
| <b>l<sub>n</sub></b>                | : Kolon serbest yüksekliği  |
| <b>l<sub>p</sub></b>                | : Moment sıfır noktaları arasındaki uzaklık   |
| <b>l<sub>sn</sub></b>               | : Serbest açıklık   |
| <b>l<sub>w</sub></b>                | : Perdenin veya bağ kirişli perde parçasının plandaki uzunluğu  |
| <b>M<sub>a</sub>, M<sub>b</sub></b> | : Bağ kirişli perde sisteminin parçalarında deprem yüklerinden oluşan toplam devrilme momenti   |
| <b>M<sub>a</sub></b>                | : Kolonun serbest yüksekliğinin alt ucunda, kolon kesme kuvvetinin hesabına esas alınan moment  |
| <b>M<sub>l</sub></b>                | : Deprem moment lokal (yerel) büyüklüğü   |
| <b>M<sub>pa</sub></b>               | : Kolonun serbest yüksekliğinin alt ucunda $f_{ck}$ , $f_{yk}$ ve çeliğin pekleşmesi gözönüne alınarak hesaplanan moment kapasitesi           |
| <b>M<sub>p1</sub></b>               | : Kirişin ucunda kolon yüzünde $f_{ck}$ , $f_{yk}$ ve çeliğin pekleşmesi gözönüne alınarak hesaplanan pozitif moment kapasitesi               |
| <b>M<sub>p2</sub></b>               | : Kirişin ucunda kolon yüzünde $f_{ck}$ , $f_{yk}$ ve çeliğin pekleşmesi gözönüne alınarak hesaplanan negatif moment kapasitesi               |
| <b><math>\Sigma M_p</math></b>      | : Düğüm noktasına birleşen kirişlerin moment kapasitelerinin toplamı  |
| <b>M<sub>pü</sub></b>               | : Kolonun serbest yüksekliğinin üst ucunda $f_{ck}$ , $f_{yk}$ ve çeliğin pekleşmesi gözönüne alınarak hesaplanan moment kapasitesi.          |
| <b>M<sub>r1</sub></b>               | : Kirişin ucunda kolon yüzünde $f_{cd}$ , $f_{yd}$ ve çeliğin pekleşmesi gözönüne alınarak hesaplanan pozitif moment kapasitesi               |
| <b>M<sub>r2</sub></b>               | : Kirişin ucunda kolon yüzünde $f_{cd}$ , $f_{yd}$ ve çeliğin pekleşmesi gözönüne alınarak hesaplanan negatif moment kapasitesi               |
| <b>M<sub>y</sub></b>                | : Kiriş ya da kolon kesiti akma momenti   |
| <b>M<sub>n</sub></b>                | : n'inci modda etkin modal kütle katılım oranı  |
| <b>n</b>                            | : Hareketli yük katılım kat sayısı  |
| <b>R<sub>a</sub></b>                | : Deprem yükü azaltma katsayısı   |
| <b>R<sub>NÇ</sub></b>               | : Deprem yüklerinin tamamının süneklik düzeyi normal çerçeveler tarafından taşındığı durum için tanımlanan Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı |
| <b>R<sub>YP</sub></b>               | : Deprem yüklerinin tamamının süneklik düzeyi yüksek perdeler tarafından taşındığı durum için tanımlanan Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı   |
| <b>S(T)</b>                         | : Spektrum katsayısı  |
| <b>S<sub>ac</sub>(T)</b>            | : Elastik spektral ivme ( $m/s^2$ )   |
| <b>s</b>                            | : Enine donatı aralığı  |
| <b>T</b>                            | : Bina doğal titreşim periyodu (s)  |
| <b>T<sub>A</sub>, T<sub>B</sub></b> | : Spektrum karakteristik periyotları (s)  |
| <b>T<sub>1</sub></b>                | : Binanın birinci doğal titreşim periyodu (s)   |
| <b>V<sub>c</sub></b>                | : Kesme dayanımına betonun katkısı  |
| <b>V<sub>cr</sub></b>               | : Kesitin kesmede çatlama dayanımı  |
| <b>V<sub>dy</sub></b>               | : Kirişin kolon yüzünde düşey yüklerden meydana gelen basit kiriş kesme kuvveti   |
| <b>V<sub>e</sub></b>                | : Kolon, kiriş ve perdede esas alınan tasarım kesme kuvveti   |

|                    |  |
|--------------------|--|
| $V_i$              | : Gözönüne alınan deprem doğrultusunda binanın $i$ 'inci katına etki eden kat kesme kuvveti  |
| $V_{kol}$          | : Düğüm noktasının üstünde ve altında hesaplanan kolon kesme kuvvetlerinin küçük olanı   |
| $V_r$              | : Kolon, kiriş veya perde kesitinin kesme dayanımı   |
| $V_t$              | : Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nde gözönüne alınan deprem doğrultusunda binaya etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti) |
| $V_{tB}$           | : Mod Birleştirme Yöntemi'nde gözönüne alınan deprem doğrultusunda binaya etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti)     |
| $W$                | : Binanın, hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak bulunan toplam ağırlığı  |
| $w_i$              | : Binanın $i$ 'inci katının, hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak hesaplanan ağırlığı  |
| $\gamma_{mc}$      | : Beton malzeme güvenlik katsayısı   |
| $\gamma_{ms}$      | : Donatı çeliği malzeme güvenlik katsayısı   |
| $\Delta_i$         | : Binanın $i$ 'inci katındaki azaltılmış görelî kat ötelemesi  |
| $(\Delta_i)_{ort}$ | : Binanın $i$ 'inci katındaki ortalama azaltılmış görelî kat ötelemesi   |
| $\alpha_s$         | : Süneklik düzeyi yüksek perdelerin taban kesme kuvvetinin toplam taban kesme kuvvetine oranı  |
| $\beta$            | : Sönüm oranı  |
| $\beta_s$          | : Çatlama ve donatının betonun basınç dayanımına olan etkisini belirten katsayı  |
| $\beta_n$          | : Çekme çubuklarının ankrajının düğüm noktasındaki betonun basınç dayanımına olan etkisini belirten katsayı                            |
| $\delta_i$         | : Binanın $i$ 'inci katındaki etkin görelî kat ötelemesi   |
| $\epsilon_{cu}$    | : Kesitin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesi  |
| $\epsilon_s$       | : Donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi  |
| $\eta_{bi}$        | : $i$ 'inci katta tanımlanan burulma düzensizliğı katsayısı  |
| $\eta_{ci}$        | : $i$ 'inci katta tanımlanan dayanım düzensizliğı (zayıf kat) katsayısı  |
| $\eta_{ki}$        | : $i$ 'inci katta tanımlanan rijitlik düzensizliğı (yumuşak kat) katsayısı   |
| $\phi$             | : Gerilme azaltma katsayısı  |
| $\lambda$          | : Binanın plandaki narinliğı ( $L_{max}/L_{min}$ )   |
| $\omega$           | : Yapının açısal frekansı (rad/sn)   |
| $\theta$           | : Eşdeğer basınç çubuğunun yatay ile olan açısı  |
| $\theta_i$         | : $i$ 'inci katta tanımlanan İkinci Mertebe Gösterge Değeri  |
| $\rho$             | : Çekme donatısı oranı   |
| $\rho_b$           | : Dengeli donatı oranı   |
| $\rho'$            | : Basınç donatısı oranı  |



## **DÜŞEY SÜREKSİZLİK BULUNAN BİR BİNANIN TASARIMI VE ZAMAN TANIM ALANINDA DOĞRUSAL ELASTİK VE DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZ YÖNTEMLERİ İLE İNCELENMESİ**

### **ÖZET**

Düzenli binaların (kütle, dayanım ve rijitliği düzgün olarak dağıtılmış ve plandaki şekli düzgün olan binalar), deprem etkileri altında düzensiz binalara göre daha iyi performans gösterdikleri bilinse de, mimari ihtiyaç ve kısıtlamalar nedeni ile bu tip binalar inşa edilmektedir. Yönetmeliklerde, yapısal düzensizliklerden dolayı oluşacak olumsuz bir durumun önüne geçmek için bu tip binalara ilişkin çeşitli kısıtlamalar ve koşullar getirilmiştir.

Bu çalışma kapsamında, kolonun iki ucundan mesnetli bir kirişe oturması nedeni ile oluşan düzensizlik durumu incelenmiştir. Bu düzensizlik türü Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik'te B3 tipi düzensizlik olarak geçmektedir. Yönetmeliğin 2.3.2.4 maddesinde B3 tipi düzensizlik ile ilgili tanım ve koşullar verilmiştir. DBYBHY(2007)'de, kolonların binanın herhangi bir katında konsol kirişlerin veya alttaki kolonlarda oluşturulan güselerin üstüne veya ucuna oturtulmasına ve üst kattaki perdelerin alt kattaki kolonların veya kirişlerin üstüne oturtulmasına hiçbir zaman izin verilmemektedir. Sadece kolonların iki ucundan mesnetli bir kirişe oturtulması durumuna izin verilmektedir. Eğer kolonların iki ucundan mesnetli bir kirişe oturması durumu mevcut ise kirişin bütün kesitlerinde ve ayrıca göz önüne alınan deprem doğrultusunda bu kirişin bağlandığı düğüm noktasına birleşen diğer kiriş ve kolonların bütün kesitlerinde, düşey yükler ve depremin ortak etkisinden oluşan tüm iç kuvvet değerlerinin %50 arttırılması öngörülmüştür.

Beş bölümden oluşan yüksek lisans tezinin birinci bölümünde giriş kısmına yer verilmiş ve bu bölümde çalışmanın konusu, amacı ve kapsamı belirtilmiştir.

İkinci bölümde, yapısal düzensizlikler hakkında genel bilgiler ve DBYBHY (2007), Eurocode8 (2008) ve ASCE/SEI7 (2005) yönetmeliklerindeki yapısal düzensizlik tanımları ve getirilen ek koşullar verilmiştir.

Üçüncü bölümde, süreksiz kolonların bulunduğu betonarme bir binanın tasarımı DBYBHY (2007) ve TS500 (2000)'e göre ayrıntılı olarak yapılmıştır. Analizlerde SAP2000 v15.1.0 programı kullanılmıştır.

Dördüncü bölümde, tasarımı yapılan yapının zaman tanım alanında doğrusal elastik ve doğrusal olmayan analizleri yapılmıştır. Analiz için gerekli ivme kayıtları Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi (PEER) kuvvetli yer hareketi veri bankasından alınmıştır. Bu kayıtlar DBYBHY (2007)'de verilen koşulları sağlayacak şekilde zaman tanım alanında tasarım ivme spektrumuna göre ölçeklenmiştir. Depremin düşey bileşeni ise tasarım ivme spektrumunun 2/3'üne göre ölçeklenmiştir. İvme kayıtlarının, ivme spektrumlarını elde etmek için SeismoSignal v4.3.0 programı kullanılmıştır. Depremin üç doğrultudaki bileşenlerinde etkitildiği 7 adet

ana doğrultusu x olan ve 7 adet ana doğrultusu y olan toplam 14 tane zaman tanım alanında doğrusal elastik analiz yapılmıştır. Bu analizlerden elde edilen kritik kesitlerdeki iç kuvvet değerleri, depremin sadece yatay bileşenlerinin hesaba katıldığı mod birleştirme yöntemiyle yapılan analizlerden elde edilen iç kuvvet değerleri ile karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmalar sonucu depremin düşey bileşeninin süreksizlik bölgesindeki elemanların iç kuvvet değerlerini arttırmadığı görülmüştür. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz için, betonarme elemanların çatlamış kesite ait eğilme rijitliği değerlerinin kullanıldığı, yapısal elemanların doğrusal olmayan davranışlarının yığılı plastik davranış modeli (plastik mafsal) ile modellenmiş olduğu ve kolonlardaki sargı etkisinin hesaba katıldığı analiz modeli oluşturulmuştur. Depremin yatay x doğrultusu ve düşey bileşeninin hesaba katıldığı 7 adet doğrusal olmayan analiz yapılmıştır. Bu analizler sonucunda, yüksek kirişe mesnetlenen kolonların alt ucu ve yüksek kirişin mesnetlendiği kolonların üst ucu hariç kolonlarda plastik mafsal oluşmadığı gözlenmiştir. Elemanlarda oluşacak iç kuvvet değerleri elemanların kapasitesi ile ilgili olduğundan bu analizlerden elde edilen iç kuvvet değerleri için karşılaştırma yapılmamıştır.

Beşinci bölümde ise çalışmada varılan sonuçlar verilmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçların başlıcaları aşağıda özetlenmiştir.

Ana doğrultusu x olan ( $E_x+0.3E_y+E_v$ ) deprem yüklemeleri için yapılan zaman tanım alanında doğrusal elastik analizlerden elde edilen değerlerin ortalaması ile mod birleştirme yönteminden elde edilen değerler karşılaştırıldığında,

- Süreksiz kolonların mesnetlendiği yüksek kirişte moment ve kesme kuvveti değerlerinde artış olmadığı görülmüştür.
- Süreksiz kolonlar ile yüksek kirişin mesnetlendiği kolonların moment, kesme kuvveti ve maksimum eksenel kuvvet değerlerinde artış olmadığı, minimum eksenel kuvvet değerlerinde %10~55 aralığında artış olduğu görülmüştür.

Ana doğrultusu y olan ( $E_y+0.3E_x+E_v$ ) deprem yüklemeleri için yapılan zaman tanım alanında doğrusal elastik analizlerden elde edilen değerlerin ortalaması ile mod birleştirme yönteminden elde edilen değerler karşılaştırıldığında,

- Süreksiz kolonların mesnetlendiği yüksek kirişin bağlandığı düğüm noktasına birleşen kirişlerin moment ve kesme kuvvetinde artış olmadığı görülmüştür.
- Süreksiz kolonlar ile yüksek kirişin mesnetlendiği kolonların ana deprem doğrultusundaki moment, kesme kuvveti ve maksimum eksenel kuvvet değerlerinde artış olmadığı, minimum eksenel kuvvet değerlerinde %15~50 aralığında artış olduğu görülmüştür.

Yüksek kirişin kolon serbest yükseklik değerini azaltması sebebi ile ilgili katta x doğrultusunda görel kat öteleme değerlerinin azaldığı görülmüştür. Y doğrultusundaki görel kat öteleme değerlerinde ise, ilgili kattaki kolonlarda düşey süreksizlik ve buna bağlı olarak yüksek kiriş bulunmadığından azalma gözlenmezken, bu katın üzerinde rijitliğin azalmasından dolayı artış gözlenmiştir.



## **STUDY OF LINEAR AND NONLINEAR TIME HISTORY ANALYSIS OF A VERTICALLY IRREGULAR STRUCTURE**

### **SUMMARY**

Most of the population of Turkey resides in high seismic zones. Historical earthquakes caused in a huge scope of loss of lives and property. Thus earthquake resistant design is crucial for any kind of construction in Turkey. On the other hand, any examination on structures that have failed or extensively damaged revealed the fact that many structures did not satisfy the requirements of codes. Examples include ignorance of structural code requirements and misinterpreted structural behavior in the design and uncontrolled layout of structural reinforcements in the construction phase and the failure to execute the project accurately on the site. It has also been revealed that regular structures, (structural mass and rigidity is linearly distributed throughout the height and symmetric storey/horizontal plan distribution), performed better than irregular structures. Even though this fact is widely accepted, irregular structures cannot be avoided wholly because of the architectural requirements and various other constraints.

A thorough understanding of structural response and care to execute the design are required to eliminate or minimize losses due to seismic activities. Dead and live loads acting on a structure can be well predicted; but, seismic forces and thus structural response are not certain or easy to predict, requiring many presumptions to be made beforehand. Thus earthquake resistant design does not produce definite answers, but creates a guide for a better understanding of the earthquake response of the structure.

Anticipating an elastic structural response or no permanent damages to intense seismic activities is not feasible. Economy and structural safety will be achieved together, only if some minimal structural damage (plastic behavior) is allowed. Unfortunately, behaviors of irregular structures do not follow general rules or presumptions, thus plastic deformations in such structures may lead to extensive local damage that might result in partial or total collapse. Thus studies have been carried out for better understanding of earthquake response of irregular structures. This study focuses on one of the many irregularities, discontinuity in columns.

The vertical component of the seismic loads does not create significant internal forces on the structural elements, thus were neglected in the analysis. On the other hand, when vertical discontinuity is present at the structure, the vertical component of the seismic loads may result in increase of internal forces at the beams supporting discontinued columns. Thus extra care of vertical seismic component should be paid to compensate the required structural safety. Turkish seismic design code (DBYBHY -2007) does not permit most of the vertical discontinuities. Those that are not permitted include elimination of columns supported by cantilever beams or gusseted columns underneath; shear walls supported by columns or beams. The code permits only the case where a column rests on beam which is supported at both ends, all

internal force components induce by the combined effect of vertical loads and seismic loads shall be increased by 50% at all sections of the beam and at all sections of the other beams and columns adjoining to the beam in the earthquake direction considered.

In this study, a vertically irregular structure has been designed in accordance with DBYBHY (2007) and TS500 (2000), both linear and nonlinear time history analysis were carried out and internal forces and plastic deformations are investigated in the irregular zones. The irregular structure is a 26 storey office building with its irregularity emerges as columns are discontinued on the 16<sup>th</sup> storey.

Structural design and modeling was carried out by SAP2000 v15.1.0 and earthquake records regulated and spectral accelerations are obtained by SeismoSignal v4.3.0.

The study consists of five sections. The first section includes the preface which explains the subject, goals and the extent of the study.

The second section is consists of general rules and information about irregular structures and concepts and requirements of codes; DBYBHY, Eurocode8 and ASCE/SEI7.

Design and modeling of the case-structure has been done in detail in accordance with DBYBHY and TS500 in the third section. On the level that discontinuous columns are supported by the beams, the model is anticipated to have a limited ductile response of column beam connections with  $R=7$  (elastic structural behavioral factor); since the depth of the beam is high, for to the requirement that dictates that columns should be designed more rigid than beams,. This is achieved by modeling the structural system as high ductile shear walls with normal ductile frames. The condition that overturning moment created by seismic effects should be less than 2/3rds of the total moment capacity of shear wall-transverse beam system is also met for this presumption to be valid. Base shear force distribution of shears walls and transverse beam system is investigated, and the condition that base shear distribution ratio for shear walls should be 2/3rds of the total base shear force, was found not to be met in x direction. Thus the analysis was rechecked for  $R=6.9$ . Base shear forces calculated by modal analysis is compared to the equivalent earthquake load method and the due incrimination is done. Design of deep beams is done by ultimate design forces method and strut and tie method. Design of wall columns is thoroughly investigated. Reinforced concrete design of the columns and beams are done both by SAP 2000 and checked for some elements, convenient results are obtained.

The fourth section covers the linear and nonlinear time history analysis of the case-structure. The seismic recordings are obtained from PEER- strong ground motion data archive. These recordings are scaled according to the design acceleration spectrum given in Turkish Seismic code (DBYBHY) and 14 set of earthquake records are obtained. The structure was exposed to these earthquake records which are consisted of three dimensional motion-acceleration recordings and linear elastic time history analysis was carried out for 7 of these earthquakes in x direction, 7 of them in y direction making a sum of 14 linear elastic time history analysis. Internal stresses of critical sections, determined by the linear elastic time history analysis, are compared with the results obtained by the modal analysis considering only lateral impact of seismic effects. Thus it has been concluded that vertical component of earthquake motion does not play a significant role in the determination of internal forces of irregularity zones. For the nonlinear time history analysis of the case structure, plastic deformations are considered to concentrate in specific sections

(plastic hinges) while contribution of spiral reinforcement is not neglected. Seven different analysis have been carried out considering seismic impact in x direction and vertical component. Analysis showed that plastic hinges develop only at the columns supporting and supported by the deep beams. Since internal forces are related with the capacity of the element, a comparison analysis was not performed.

Results and conclusions are given in the fifth section. The main outcomes are summarized in the following.

When the comparisons between the average values of the linear time history analysis based on seismic forces in x direction ( $E_x + 0,3 E_y + E_v$ ) and of the modal analysis, are investigated

- There are no shear force or moment increments in the deep beam sections supporting discontinuous columns.
- There are no shear force, moment or maximum normal force increments in the columns sections supporting discontinuous columns and deep beams, but a 10-55% increase in minimum normal forces has been noted.

When the comparisons between the average values of the linear time history analysis based on seismic forces in y direction ( $E_y + 0,3 E_x + E_v$ ) and of the mode superposition method, are investigated

- There are no shear force or moment increments in the deep beam sections supporting discontinuous columns.
- There are no shear force, moment or maximum normal force increments in the columns sections supporting discontinuous columns and deep beams, but a 10-55% increase in minimum normal forces has been noted.

It has been concluded that since deep beams decrease the effective length of columns, relative lateral displacements in the x direction were limited. on the other hand relative lateral displacements in the y direction were not only did not decrease due to absence of deep beams and vertical discontinuity of columns but also increased by rigidity reduction in the upper floors.



# 1. GİRİŞ

## 1.1 Konu

Nüfusun büyük çoğunluğunun deprem riski yüksek bölgelerde yaşadığı ülkemizde, toplumun can güvenliğini sağlamak için deprem etkilerine karşı koyabilen yapılar tasarlamak ve inşa etmek yapı mühendisliğinin en önemli amacıdır. Uygulamada binaların esas şekli mimari istekler ve kısıtlamalar altında belirlenmektedir. Bunun sonucu olarak, her ne kadar düzenli binaların deprem etkileri altında daha iyi performans gösterdikleri bilinsede çeşitli düzensizlik veya düzensizlikler içeren yapılar inşa etmek durumunda kalınmaktadır. Yapıdaki düzensizlikler kütlelerin, rijitliklerin, dayanımların düzenli bir şekilde dağıtılamamasından, düşey elemanların süreksizliğinden veya yapının plandaki şeklinden ötürü düşey elemanlara deprem yükünün düzenli bir şekilde dağıtamamasından dolayı oluşabilir.

Yönetmeliklerde düzensiz binalar için ek koşullar ve sınırlamalar getirilerek oluşacak olumsuz bir davranışın önüne geçilmeye çalışılmaktadır. Bu ek koşul ve sınırlamalar, yapısal elemanların kütle, rijitlik ve dayanım dağılımlarının düzenlenmesine, daha fazla zorlanacak elemanlarda iç kuvvet değerlerinin arttırılmasına veya düzensiz binanın davranışının daha iyi anlaşılabilmesi için kullanılacak hesap yönteminin seçimine sınırlamalar getirmeye yöneliktir. Düzensiz binaların, binayı elastik sınırlar ötesinde zorlayacak deprem yükleri altındaki davranışının öngörülmesi zordur. Bu sebeple düzensiz binalarla ilgili bir çok çalışma yapılmış ve yapılmaktadır. Yapılan çalışmalar ve meydana gelen depremlerde hasar alan veya göçen düzensiz binalardan, düzensiz sistemlerde doğrusal olmayan davranışın düzensizlik bölgesinde yoğunlaştığı ve bu bölgedeki elemanların hasar alarak yapının göçmesine neden olduğu görülmüştür. Binalarda düzensizlik oluşturacak düzenlemelerden olabildiğince kaçınılmalıdır. Eğer kaçınılamıyor ise, düzensiz binaların istenen derecede performans sağlayabilmesi için davranışın iyi bilinip düzensizlikten dolayı meydana gelecek ek talebi karşılayacak yeter sünekliğin sağlanması önemlidir.

## 1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmada süreksiz kolonların bulunduğu 26 katlı, kullanım amacı konut ve ofis olan ve taşıyıcı sistemi bağ kirişli perde ve çerçevelerden oluşan örnek bir binanın DBYBHY(2007) ve TS500(2000)'e göre tasarımı yapılmıştır. Daha sonra tasarımı yapılan bu binanın zaman tanım alanında doğrusal ve doğrusal olmayan analizler ile davranışı incelenmiştir.

Kolonların kirişlere mesnetlenmesi ile oluşan düzensizlik DBYBHY(2007)'de B3 tipi düzensizlik olarak adlandırılmıştır. Bu tip düzensizliğin bulunması durumunda, süreksiz kolonların mesnetlendiği kirişin tüm kesitlerinde ve bu kirişin bağlandığı düğüm noktalarına birleşen kolon ve kirişlerin tüm kesitlerinde, düşey yükler ve depremin ortak etkisinde oluşan tüm iç kuvvet değerlerinin %50 oranında arttırılması koşulu getirilmiştir.



**Şekil 1.1** : Süreksiz kolonların bulunduğu örnek bir bina.

Tasarım aşamasında yapıda düşey depremin etkileri göz önüne alınmamaktadır. Ancak kirişe mesnetlenen kolon bulunan bir binada düşey deprem etkileri söz konusu kirişte ve çevresindeki elemanlardaki iç kuvvetlerde bir artış meydana getirebilir. Bu nedenle, tasarımı yapılan düşey süreksizlik içeren binada depremin düşey bileşeninde hesaba katıldığı doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizler yapılmıştır. Düşey depreminde hesaba katıldığı zaman tanım alanında doğrusal elastik analizlerden elde edilen kritik bölgelerdeki elemanların iç kuvvetleri düşey depremin hesaba katılmadığı mod birleştirme analizinden elde edilen iç kuvvet değerleri ile karşılaştırılmıştır. Doğrusal olmayan analizlerde elde edilen iç kuvvet değerleri elemanın kapasitesi ile ilişkili olduğundan iç kuvvetlerde bir karşılaştırma yapılmamış plastik mafsal oluşumları, binadaki taban kesme kuvveti ve deplasman değişimleri incelenmiştir.

## **2. YAPISAL DÜZENSİZLİKLER**

Binalarda mimari gereksinimlerinden dolayı kütlelerin, rijitliklerin ve dayanımların düzenli bir şekilde dağıtılamaması veya binanın şekli nedeni ile düzensizlikler oluşabilir. Bu tip binalarda deprem yüklemeleri altında, binanın bazı bölümleri daha çok zorlanabilir ve tasarım esnasında bu durum göz önüne alınmamış ise, bina hasar alabilir veya göçebilir. Genellikle düzensizlikler yönetmeliklerde planda ve düşeyde olmak üzere iki sınıfa ayrılmıştır. Düzensiz yapıların davranışının anlaşılması güç olduğundan yönetmeliklerde, kullanılacak hesap yönteminde kısıtlamalara gidilmiştir. Ayrıca bazı durumlarda, düzensizlik oluşturan elemanlar ve bu elemanlara komşu olan elemanlarda oluşabilecek ek zorlamalardan dolayı ampirik kurallar verilmiştir. Bu ampirik kurallar, taşıyıcı elemanların rijitliğini, dayanımını ve tasarıma esas olacak iç kuvvetlerini arttırmaya yöneliktir. Bu konu hakkında yapılmış çalışmalara göre, çoğu durumda bu ek koşulların gerekenden fazla tutucu olduğu söylenebilir. Aşağıda çeşitli yönetmeliklerdeki düzensizlik tanımları ve düzensizlikten ötürü ön görülen ek koşullar açıklanmıştır.

### **2.1 Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY2007)**

Ülkemizde yürürlükte olan DBYBHY(2007)'de yapısal düzensizlikler bölüm 2.3'de açıklanmış, planda ve düşey doğrultuda olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Deprem yüklemesi altındaki olumsuz davranışlarından ötürü düzensiz yapıların tasarım ve yapımından kaçınılması gerektiği belirtilmiştir.

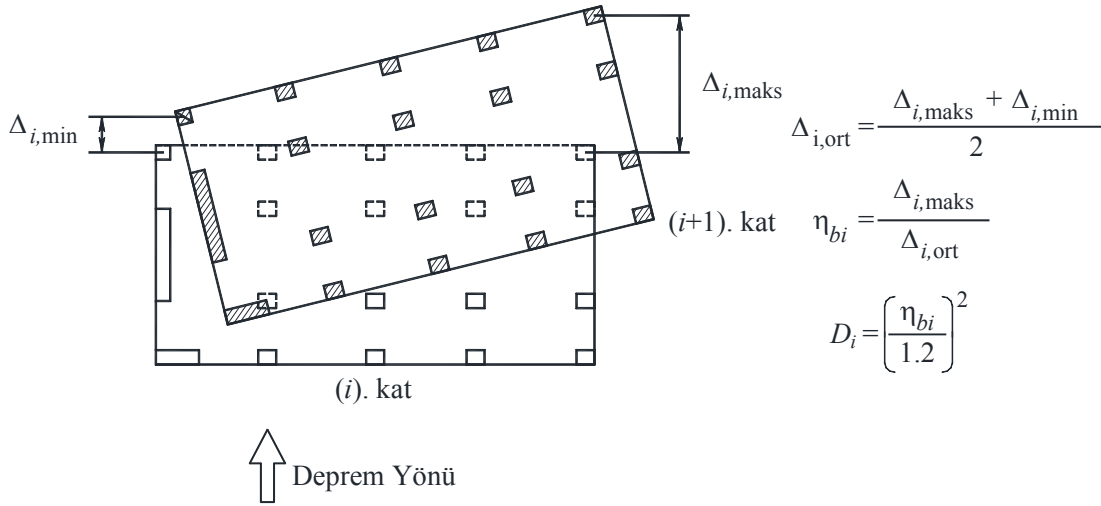
#### **2.1.1 Planda düzensizlikler**

##### **A1- Burulma düzensizliği**

Bu düzensizliğin bulunduğu taşıyıcı sistemlerde deprem etkileri altında ötelemelere ek olarak düşey eksen etrafında burulmalar ortaya çıkar ve bunun sonucu olarak taşıyıcı sistem elemanlarında düzenli olmayan ek yerdeğiştirmeler ve iç kuvvetler oluşur.

Deprem yönetmeliğinde, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir katta en büyük görelî kat ötelemesinin o katta aynı doğrultudaki ortalama görelî ötelemeye oranını ifade eden Burulma Düzensizliği Katsayısı  $\eta_{bi}$ 'nin 1.2'den büyük olması durumunda taşıyıcı sistemde burulma düzensizliğinin bulunduğu belirtilmektedir. Burulma düzensizliği katsayısının hesaplanmasında kullanılan görelî kat ötelemelerinin hesabı  $\pm\%5$  ek dışmerkezlilik etkileri de gözönüne alınarak yapılmalıdır.

Ortalama görelî öteleme, döşemelerin kendi düzlemleri içinde rijit diyafraam olarak çalışmaları durumunda en büyük ve en küçük görelî kat ötelemelerinin ortalaması olarak alınabilmektedir.



**Şekil 2.1** : Burulma düzensizliği (A1).

A1 türü burulma düzensizliğinin bulunması durumunda,  $1.2 < \eta_{bi} \leq 2.0$  olmak koşulu ile katta bulunan  $\%5$  ek dış merkezlik her iki deprem doğrultusu için  $D_i$  katsayısı ile çarpılarak büyütülmelidir.

$$D_i = \left( \frac{\eta_{bi}}{1.2} \right)^2 \quad (2.1)$$

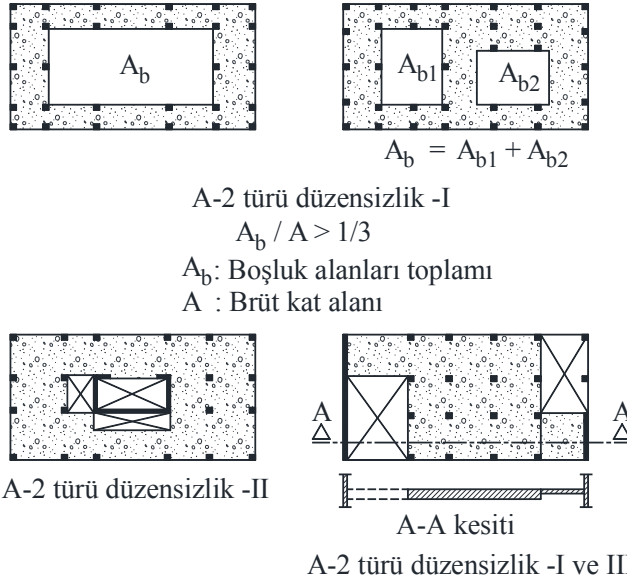
Burulma Düzensizliği Katsayısı  $\eta_{bi}$ 'nin 2.0'den büyük olması durumunda burulmalı titreşim modlarının etkisini doğrudan gözönüne alınabilmesi amacıyla mod birleştirme yöntemi veya zaman tanım alanında hesap yapılması zorunlu olmaktadır. Her ne kadar bu yöntemlerle hesap yapılabilsede, bu düzensizliği azaltacak yönde taşıyıcı sistemin yeniden düzenlenmesi daha uygun bir yol olacaktır.



## A2- Döşeme Süreksizlikleri

Herhangi bir kattaki döşemede;

- I. Merdiven ve asansör boşlukları dahil, boşluk alanları toplamının kat brüt alanının 1/3'ünden fazla olması durumu,
- II. Deprem yüklerinin düşey taşıyıcı sistem elemanlarına güvenle aktarılabilmesini güçleştiren yerel döşeme boşluklarının bulunması durumu,
- III. Döşemenin düzlem içi rijitlik ve dayanımında ani azalmaların olması durumunda ilgili binada döşeme süreksizliği düzensizliği bulunduğu kabul edilmektedir.

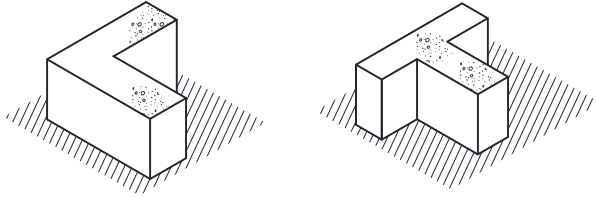
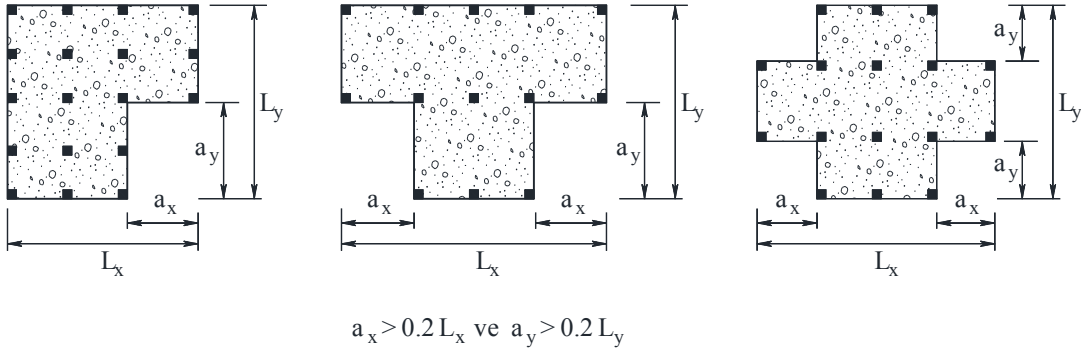


**Şekil 2.2** : Döşeme süreksizlikleri (A2).

Bu düzensizliğin bulunduğu binalarda, birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde, kat döşemelerinin kendi düzlemleri içinde deprem kuvvetlerini düşey taşıyıcı sistem elemanları arasında güvenle aktarabildiği hesapla doğrulanmalıdır.

A3-Planda çıkıntılarının bulunması:

Planda her iki doğrultudaki çıkıntılarının bu doğrultudaki yapı boyutunun %20'sinden fazla olması durumunda planda çıkıntılarının bulunması düzensizliğinin varlığı kabul edilecektir. Bu düzensizliğin bulunduğu binalarda da A2 türü düzensizliğe benzer olarak, birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde, kat döşemelerinin kendi düzlemleri içinde deprem kuvvetlerini düşey taşıyıcı sistem elemanları arasında güvenle aktarabildiği hesapla doğrulanmalıdır.



**Şekil 2.3 : Planda çıkıntılarının bulunması (A3).**

A2 döşeme süreksizlikleri ve A3 planda çıkıntılarının bulunması düzensizlikleri kütlelerin daha yoğun olarak bulunduğu kat döşemelerinde yoğunlaşan deprem yüklerinin taşıyıcı sistemin düşey elemanlarına sağlıklı şekilde aktarılmasını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu nedenle yönetmelik yük aktarımının sağlıklı olarak gerçekleştiğinin doğrulanmasını şart koşmaktadır.

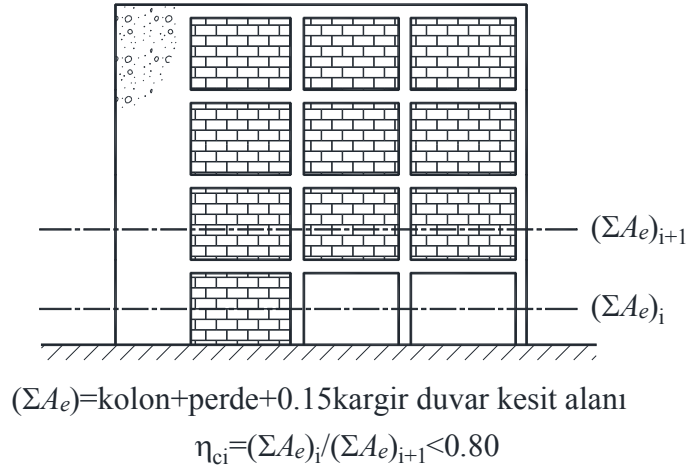
### 2.1.2 Düşey doğrultuda düzensizlikler

#### B1-Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği (Zayıf Kat)

Taşıyıcı sistemin herhangi bir kattaki yatay yük taşıma kapasitesinin (dayanımının) bir üstteki kata göre ani olarak azaltılmasına ve böylece zayıf kat adı verilen oluşmasına karşı gelmektedir.

Betonarme binalarda, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi birinde, herhangi bir kattaki etkili kesme alanının, bir üst kattaki etkili kesme alanına oranı olarak tanımlanan Dayanım Düzensizliği Katsayısı  $\eta_{ci}$ 'nin 0.80'den küçük olması durumunda zayıf kat düzensizliğinin bulunduğu kabul edilmelidir.

$$\eta_{ci} = \frac{(\sum A_e)_i}{(\sum A_e)_{i+1}} < 0.80 \quad (2.2)$$



**Şekil 2.4 : Zayıf kat düzensizliği (B1)**

Herhangi bir katta gözönüne alınan deprem doğrultusundaki etkili kesme alanı, kolon enkesiti etkin gövde alanları, gözönüne alınan deprem doğrultusuna paralel doğrultuda perde olarak çalışan taşıyıcı sistem elemanlarının enkesit alanları ve yine deprem doğrultusuna paralel kargir dolgu duvar alanlarının (kapı ve pencere boşlukları hariç) toplamının %15'inin toplamından oluşmaktadır.

$$\Sigma A_e = \Sigma A_w + \Sigma A_g + \Sigma A_k \quad (2.3)$$

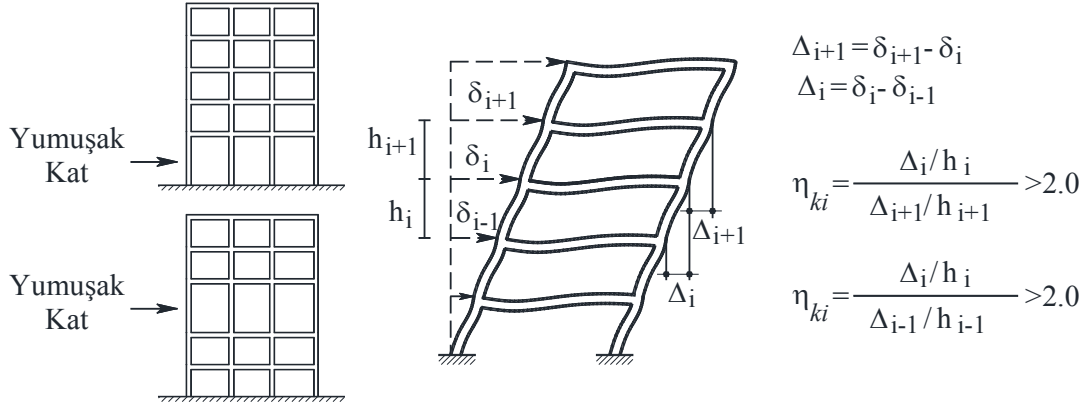
B1 türü zayıf kat düzensizliğinin bulunduğu binalarda, gözönüne alınan i'inci kattaki Dolgu duvarı alanlarının toplamı bir üst kattakine göre fazla ise,  $\eta_{ci}$ 'nin hesabında dolgu duvarları gözönüne alınmamalıdır.

$0.60 \leq \eta_{ci} < 0.80$  aralığında taşıyıcı sistem davranış katsayısı  $R$ ,  $1.25 \eta_{ci}$  değeri ile çarpılarak her iki deprem doğrultusunda da binanın tümüne uygulanmalıdır.

$\eta_{ci} < 0.60$  ise zayıf katın dayanımı ve rijitliği arttırılarak deprem hesabı tekrarlanmalıdır.

B2–Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat), kat yatay rijitliklerinin aşağıya veya yukarıya doğru ani olarak azaltılmasına ve yumuşak kat adı verilen durumun oluşmasına karşı gelmektedir.

Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir i'inci kattaki %5 ek dışmerkezlik etkileri de gözönüne alınarak hesaplanan ortalama görelî kat ötelemesinin bir üst veya bir alt kattaki ortalama görelî kat ötelemesine oranı olarak tanımlanan Rijitlik Düzensizliği Katsayısı  $\eta_{ki}$ 'nin 2.0'den fazla olması durumunda yumuşak kat düzensizliğinin bulunduğu kabul edilmelidir.



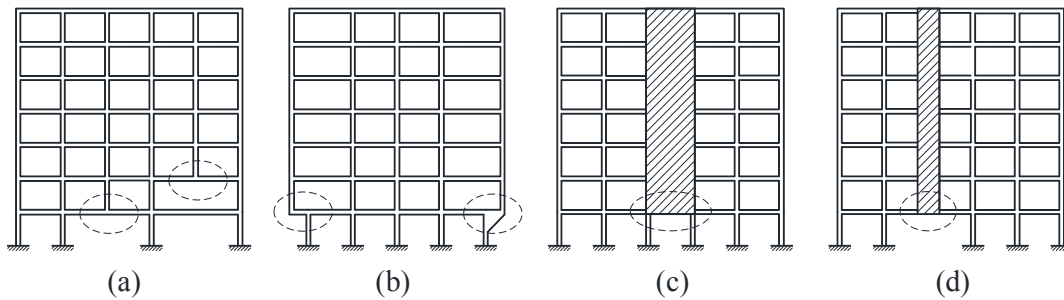
**Şekil 2.5 :** Yumuşak kat düzensizliği (B2).

### B3-Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği:

Yatay yük taşıyan kolon, perde gibi elemanların alt katlarda devam etmemesi durumunda “Düşey Elemanlarının Süreksizliği” düzensizliğinin bulunduğu kabul edilecektir. Bu tür düzensizliğin bulunduğu binalarda kolonun iki ucundan mesnetli bir kirişe oturması durumunda, kirişin bütün kesitlerinde ve ayrıca gözönüne alınan deprem doğrultusunda bu kirişin bağlandığı düğüm noktalarına birleşen diğer kiriş ve kolonların bütün kesitlerinde, düşey yükler ve depremin ortak etkisinden oluşan tüm iç kuvvet değerleri %50 oranında arttırılmalıdır.

Kolonların binanın herhangi bir katında konsol kirişlerin veya alttaki kolonlarda oluşturulan guselerin üstüne veya ucuna oturtulmasına (şekil 2.5a), üst katlardaki perdenin altta kolonlara (şekil 2.5b) ve perdelerin binanın herhangi bir katında, kendi düzlemleri içinde kirişlerin üstüne açıklık ortasında oturtulmasına (şekil 2.5c) hiçbir zaman izin verilmemektedir.

Yukarıda verilen B3 türü düzensizliğin bulunduğu binalara ilişkin koşullar bütün deprem bölgelerinde uygulanmalıdır.



**Şekil 2.6 :** Düşey elemanların süreksizliği ile oluşan düzensizlik (B3).

## 2.2 ASCE/SEI 7(2005)

Bu yönetmelikte de düzensiz yapıların dinamik davranışlarından ötürü, eşdeğer deprem yükü yönteminin kullanılmasının uygun sonuçlar vermeyeceği ve dinamik analiz modelinde yapının davranışını belirtecek yeter düzeyde serbestlik derecesi bulunması gerektiği belirtilmektedir.

**Çizelge 2.1 : ASCE/SEI7' ye göre düşeyde düzensiz olan yapılar.**

| Düzensizlik  | Tanım   | Ek koşul   |
|--|---|--|
| 1a- Rijitlik-yumuşak kat düzensizliği                            | Bir katın yatay rijitliğinin üstteki katın %70 inden veya üstteki üç katın ortalamasının %80 inden az olması durumu.                              |  |
| 1b- Rijitlik-ileri derece yumuşak kat düzensizliği               | Bir katın yatay rijitliğinin üstteki katın %60'ından veya üstteki üç katın ortalamasının %70 inden az olması durumu.                              | Bu tip yapıların ileri dereceli deprem bölgelerinde yapılması yasaklanmıştır.  |
| 2- Ağırlık (kütle) düzensizliği                                  | Herhangi bir katın etkin kütlelerinin komşu katınınin %150 sinden fazla olması durumu.  |  |
| 3- Düşey geometri düzensizliği                                   | Herhangi bir katta sismik kuvvet taşıyan sistemin yatay boyutunun komşu katınınin %130 undan fazla olması durumu.                                 |  |
| 4- Düzlem içinde düşey elemanların sürekli olmaması düzensizliği | Yatay yük taşıyan elemanların düzlem içinde boyundan daha fazla ötelenmesi veya bu elemanların rijitliğinin alttaki kata göre azaltılması durumu. | Eğer deprem yükü taşıyan elemanların tasarımı, arttırılmış yüklere göre yapılmadıysa deprem yüklemesinden gelen tasarım kuvvetleri %25 oranında arttırılacaktır. Süreksiz elemanların kontrolü tasarım yüklerine göre yapılacaktır. Süreksiz elemanlarla, mesnetlik eden elemanların bağlantıları yük aktarımına yeterli olarak tasarlanacaktır. |
| 5a- Dayanım-zayıf kat düzensizliği                               | Herhangi bir katın yanal dayanımının üstteki katınınin %80 inden az olması durumu.  | Bu tip yapıların ileri dereceli deprem bölgelerinde yapılması yasaklanmıştır.  |
| 5b- Dayanım-ileri derecede zayıf kat düzensizliği                | Herhangi bir katın yanal dayanımının üstteki katınınin %65 inden az olması durumu.  | Dayanım-zayıf kat düzensizliğine ek olarak, bu tip yapılar iki kattan veya 9 m yükseklikten fazla olmamalıdır.   |
| Tüm düşeye düzensizlik durumları için geçerli ek koşullar;       | Eşdeğer deprem yükü verilen bir kaç durum haricinde kullanılamaz.   |  |

**Çizelge 2.2 : ASCE/SEI7' ye göre planda düzensiz olan yapılar.**

| Düzensizlik  | Tanım   | Ek koşul   |
|--|---|--|
| 1a-Burulma düzensizliği                                    | Ek dışmerkezlik göz önüne alınarak hesaplanan en büyük kat ötelemesi değerinin, ortalama kat ötelemesi değerinin 1.2 katından fazla olması durumu. Verilen koşullar sadece düzlemi içinde rijit veya yarı rijit döşemelere sahip binalara uygulanabilir.  | Ek dışmerkezlik ,<br>$A_x = (\delta_{\max} / 1.2\delta_{ort})^2$<br>oranında arttırılacaktır. Göz önüne alınan katın üst ve altın noktasında tüm kenar boyunca oluşan en büyük öteleme farkı verilen belirli sınırları geçmeyecektir.                                    |
| 1b-İleri seviyede burulma düzensizliği                     | Ek dışmerkezlik göz önüne alınarak hesaplanan en büyük kat ötelemesi değerinin, ortalama kat ötelemesi değerinin 1.4 katından fazla olması durumu. Verilen koşullar sadece düzlemi içerisinde rijit veya yarı rijit döşemelere sahip binalara uygulanabilir.  | Burulma düzensizliği bulunan yapıların ek koşullarına ilaveten bu tip yapıların ileri dereceli deprem bölgelerinde yapılması yasaklanmıştır.   |
| 2-Köşede girinti bulanması düzensizliği                    | Girintili köşedeki, çıkıntı yapan kısmın uzunluğunun tüm kenar uzunluğunun %15'inden fazla olması durumu.   | Döşemelerin ek serbestlik dereceleri hesaba katılacaktır.  |
| 3-Döşeme süreksizliği düzensizliği                         | Döşemelerde %50'den fazla boşluk olması durumu veya komşu kat döşemeleri arasında %50'den fazla rijitlik değişimi bulunması durumu.   |  |
| 4- Düzlem dışı çıkıntı düzensizliği                        | Yatay yük taşıyan elemanların yörüngesinde süreksizlik olması durumu.   | Süreksiz elemanların kontrolü tasarım yüklerine göre yapılacaktır. Süreksiz elemanlarla, mesnetlik eden elemanların bağlantıları yük aktarımına yeterli olarak tasarlanacaktır.  |
| 5-Paralel olmayan sistem düzensizliği                      | Yatay yük taşıyan elemanların, ana ortogonal eksenlere göre paralel veya simetrik olmaması durumu.  | Eşdeğer deprem yükü veya mod birleştirme yöntemi ile hesap yapılması durumunda, ana yönde kuvvetin %100 ü dik doğrultuda %30 u yapıya etkitilecektir. Zaman tanım alanında hesap yapılması durumunda, kaydın birbirine dik iki bileşeni aynı anda yapıya etkitilecektir. |
| Tüm planda düzensizlik durumları için geçerli ek koşullar; | Eğer deprem yükü taşıyan elemanların tasarımı, arttırılmış yüklere göre yapılmadıysa deprem yüklemesinden gelen tasarım kuvvetleri %25 oranında arttırılacaktır. Eşdeğer deprem yükü verilen bir kaç durum haricinde kullanılamaz. Yapının matematiksel modeli dönme serbestliğini de içerecek şekilde 3 boyutlu olarak kurulacaktır. |  |

## 2.3 Eurocode 8 (2008)

Bu yönetmelikte, sismik tasarım amacıyla yapılar planda ve/veya düşeyde düzensiz ve düzenli olarak sınıflandırmıştır. Bu sınıflandırmanın yapı modelinin seçiminde, analiz yönteminin seçiminde ve tasarım spektrumunun belirlenmesinde kullanılan davranış faktörünün ( $q$ ) belirlenmesi (düşeyde düzensiz yapılara etkiyen deprem kuvvetini arttırmaya yönelik) üzerinde etkileri vardır.

**Çizelge 2.3 :** EC8 yapısal düzensizliğin sismik analiz ve tasarımdaki sonuçları.

| Düzensizlik |          | Müsaade edilen basitleştirme |                         | Davranış faktörü       |
|-------------|----------|------------------------------|-------------------------|------------------------|
| Yatay       | Düşey    | Model                        | Doğrusal-elastik Analiz | (doğrusal analiz için) |
| Düzenli     | Düzenli  | Düzlem                       | Eşdeğer deprem          | Referans değer         |
| Düzenli     | Düzensiz | Düzlem                       | Mod birleştirme         | Azaltılmış değer       |
| Düzensiz    | Düzenli  | Üç boyutlu                   | Eşdeğer deprem          | Referans değer         |
| Düzensiz    | Düzensiz | Üç boyutlu                   | Mod birleştirme         | Azaltılmış değer       |

### 2.3.1 Yatayda düzenlilik kriterleri

Yapının yatayda düzenli olarak sınıflandırılması için, aşağıdaki paragraflarda verilen koşulların hepsini sağlamalıdır.

(1) Yatay rijitlik ve kütle dağılımı bakımından, yapı birbirine dik iki eksene göre yaklaşık olarak simetrik olmalıdır.

(2) Plan şekli düzgün olacaktır. Başka bir deyişle, Her kat çok kenarlı konveks bir çizgiyle sınırlandırılacaktır. Eğer planda geri çekmeler (girintili köşe veya kenar girintisi) mevcutsa, bu geri çekmelerin yatayda kat rijitliğini etkilememesi kaydıyla, yatay düzenliliğin hala sağlandığı kabul edilebilir. Katın dış hatları arasında kalan alan ve katı saran konveks çok kenarlı çizgi arasında kalan alan kat alanının %5 ini aşamaz.

(3) Döşemelerin düzlem içindeki rijitliği düşey yapı elemanların yatay rijitliğine kıyasla oldukça fazladır. Bunun için döşemelerin şekil değişikliğinin, düşey elemanlar arasında kuvvet dağılımına etkisi çok azdır. Bu bakımdan, L, C, H, I ve X şeklindeki planlar dikkatle incelenmelidir. Rijit diyafram koşulunu sağlamak için, özellikle yan kısımların rijitliği ana parçayla karşılaştırılabilir olmalıdır. Bu paragraftaki uygulama binanın ayrıntılı davranışı için dikkate alınmalıdır.

(4) Binanın plandaki narinliği  $\lambda=L_{\max}/L_{\min}$  4'ten büyük olmayacaktır. Burada  $L_{\max}$  ve  $L_{\min}$  sırasıyla binanın birbirine dik iki eksen doğrultusunda da ölçülen en büyük ve en küçük plan boyutudur.

(5) Her seviye için x ve y yönünde, yapısal dış merkezlik  $e_o$  ve burulma yarıçapı, aşağıda örnek olarak y yönlü analiz için ifade edilen iki koşuluda sağlamalıdır.

$$e_{ox} \leq 0,30 \cdot r_x \quad (2.4)$$

$$r_x \leq l_s \quad (2.5)$$

Burada,

$e_{ox}$  : x doğrultusu boyunca ölçülmüş, rijitlik merkezi ile kütle merkezi arasındaki dikkate alınan analiz yönüne dik mesafe.

$r_x$  : y doğrultusunda burulma rijitliğinin yatay rijitliğe oranının karekökü ("burulma yarıçapı"); ve

$l_s$  : Döşeme ağırlığının plandaki atalet yarıçapı ( planda döşeme kütlelerinin, kütle merkezine göre polar atalet momenti değerinin, döşeme kütlesi değerine oranının kare kökü)

Rijitlik merkezi ve burulma yarıçapı  $r$  tanımları (7) den (9) a kadar olan alt maddelerde belirtilmiştir.

(6) Tek katlı binalarda rijitlik merkezi, tüm ana sismik elemanların yatay rijitlik merkezi olarak tanımlanmıştır. Burulma yarıçapı  $r$ , genel burulma rijitliğinin yatay rijitlik merkezine oranının karekökü olarak tanımlanmıştır. Bir doğrultuda ki genel yanal rijitlik tüm ana sismik elemanların bu yöndeki rijitliği olarak dikkate alınacaktır.

(7) Çok katlı binalarda rijitlik merkezi ve burulma yarıçapı yalnızca yaklaşık olarak tanımlanmaktadır. Yatay yapısal düzenliliği sınıflandırmak için ve yaklaşık burulma analizini yapmak için basitleştirilmiş tanım eğer aşağıdaki iki koşul sağlanırsa mümkündür.

a) Çekirdekler, perdeler veya çerçeveler gibi yatay yüke dirençli tüm sistemler kesintisiz olarak temelden çatıya kadar devam ediyorsa;

b) Özel sistemlerin düşey yükler altında deforme olmuş şekilleri çok farklı değilse. Çerçeve sistemler ve perdeli sistemler olması halinde bu koşulun sağlandığı düşünülebilir. Genel olarak perde ve çerçevelerden oluşan sistemler için bu koşul sağlanmaz.

NOT Ulusal ekler, belgelere atıf yapılarak sağlanan çok katlı yapılar için rijitlik tanımı ve burulma yarıçapı tanımları içerebilir. Bu tanımlar paragraf (7) deki (a) ve (b) maddelerini sağlayıp sağlamayabilir.



(8) Çerçevelerde ve eğilmeye karşı gelen narin perdelerden oluşan sistemlerde tüm katlardaki rijitlik merkezinin yeri ve burulma yarıçapı, düşey elemanların kesitinin atalet momentinden hesaplanabilir. Eğer eğilme deformasyonlarına ek olarak kayma deformasyonları da önem teşkil ediyorsa, eşdeğer atalet momenti kullanılarak hesaplanabilir.

### 2.3.2 Düşeyde düzenlilik kriterleri

Yapının düşeyde düzenli olarak sınıflandırılması için, aşağıdaki paragraflarda verilen koşulların hepsini sağlamalıdır.

(1) Çekirdekler, perdeler veya çerçeveler gibi yatay yüke dirençli tüm sistemler kesintisiz temelden çatıya kadar devam etmelidir. Şayet farklı yüksekliklerde geri çekmeler mevcutsa bu sistemler binanın ilgili katına kadar sürekli olmalıdır.

(2) Tüm yatay rijitlik ve özel katların kütleleri binanın en üst noktasına kadar ani değişiklikler yapılmadan sabit kalmalı veya dereceli olarak azaltılmalıdır.

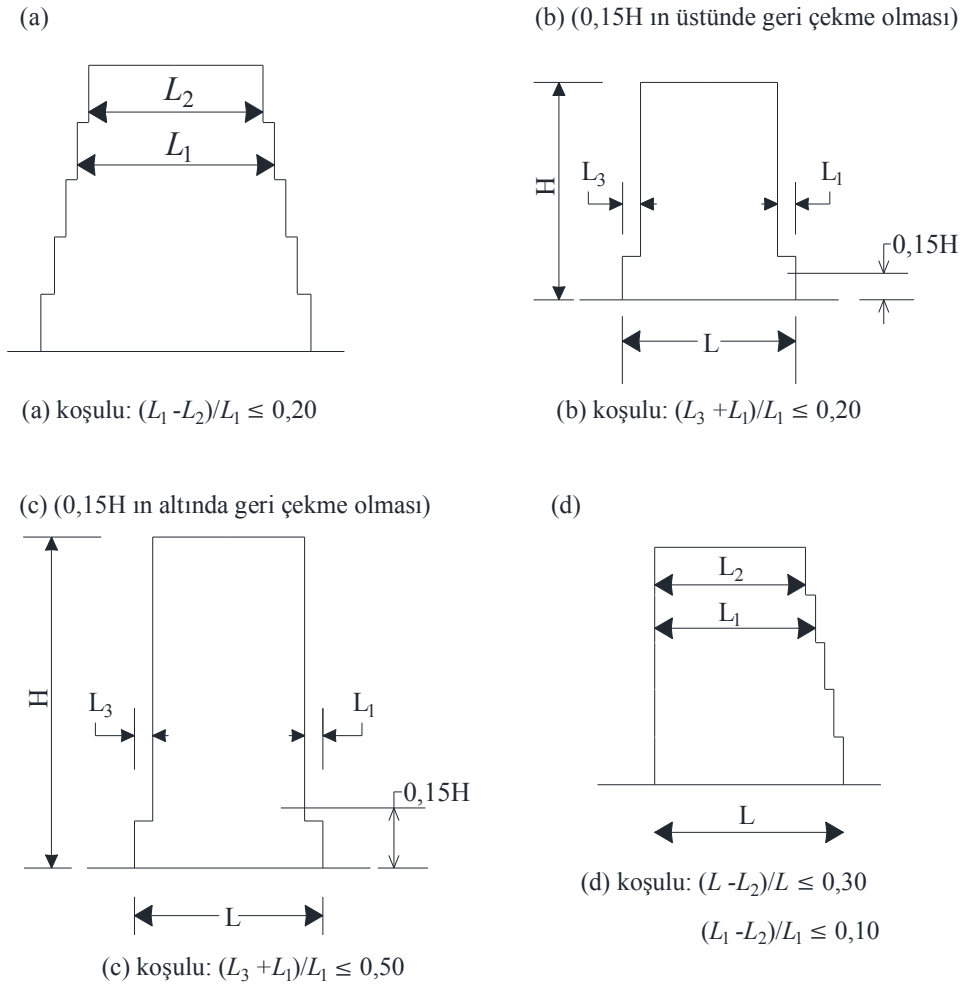
(3) Çerçeve binalarda gerçek kat rijitliğinin, hesap sonucu gerekli görülen kat rijitliğine oranı komşu katlar arasında orantısız olarak değişmemelidir. Bu bağlamda, dolgu duvarlı çerçevelerin özel durumları ayrı bir bölümde incelenmiştir.

(4) Geri çekmeler mevcutsa aşağıdaki ek koşullar uygulanmalıdır:

a) Dereceli geri çekme ile aksel simetriyi korumak için, her hangi bir katta yapılan geri çekmenin mesafesi alttaki katın geri çekme yapılan yöndeki uzunluğunun %20 den fazla olamaz. (bakınız Şekil 2.7.a ve Şekil 2.7.b);

b) Ana yapısal sistemin toplam yüksekliğinin %15 inin altında tek bir geri çekme yapılacaksa, yapılan geri çekme miktarı önceki kat uzunluğunun %50 sinden fazla olamaz. (bakınız Şekil 2.7.c). Bu durumda üst katların yatay sınırları içinde kalan taban bölgesi yapısı, tabanda genişletilme yapılmamış yapının tabanına gelecek olan kesme kuvvetinin en az %75 ine göre tasarlanmalıdır.

c) Eğer simetriyi bozan geri çekmeler mevcutsa, tüm katların her cephesindeki geri çekmenin toplam mesafesi bina taban uzunluğunun %30 undan fazla olamaz veya en üst katta yapılan geri çekme bir alt katın plan mesafesinin %10 undan fazla olamaz. (bakınız Şekil 2.7.d)



**Şekil 2.7 :** Bina geri çekmelerinde düzenlilik koşulları.

Çalışmanın konusu ile de ilgili olarak EC8(2008)'de DBYBHY(2007)'de tanımlanmayan deprem hareketinin düşey bileşeni de tanımlanmıştır. Aşağıdaki durumlarda kullanılması öngörülmüştür.

- Yatay veya yataya yakın elemanların açıklığı 20 m den fazla ise
- Yatay veya yataya yakın konsol bileşenler 5 m den uzun ise
- Yatay veya yataya yakın öngerilmeli elemanlar bulunur ise
- Kirişlerin kolonlara mesnetlik etmesi durumunda
- Taban izolatörlü yapılarda

### 3. B3 DÜZENSİZLİĞİ BULUNAN ÖRNEK BİR BİNANIN DBYBHY(2007) VE TS500(2000)'E GÖRE TASARIMI

#### 3.1 Genel Bina Bilgileri

Binanın ilk 16 katının planı şekil 3.1'de verildiği gibi, sonraki 10 katının planı şekil 3.2'de verildiği gibidir. Kat planları iki eksene göre de simetriktir. Bina diğer bilgileri aşağıda verilmiştir.

- Bina Bilgileri

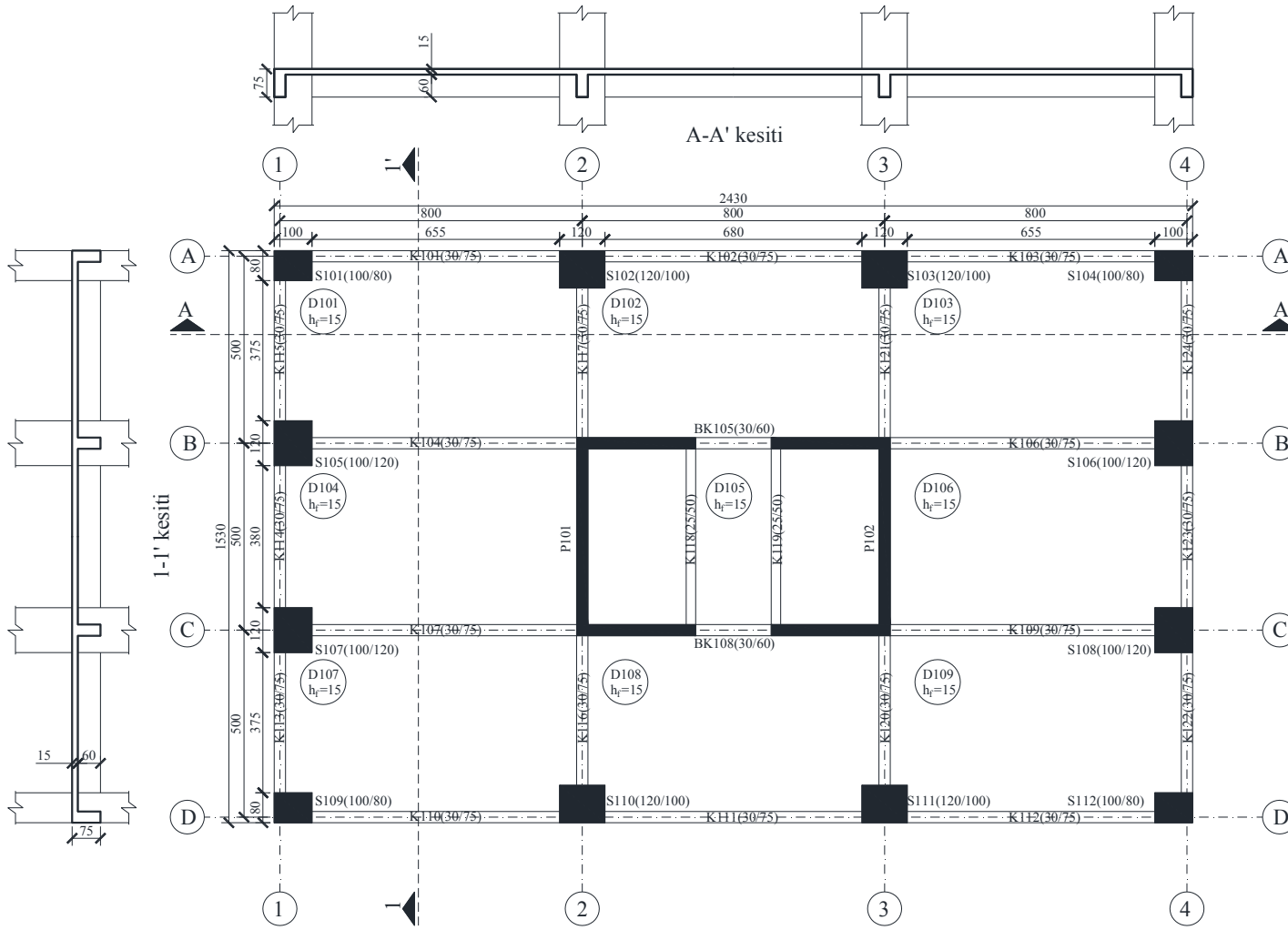
|                        |                        |
|------------------------|------------------------|
| Kat adedi              | : 26                   |
| Kat yüksekliği         | : 3m                   |
| Toplam bina yüksekliği | : 78m                  |
| Bina oturma alanı      | : 371.79m <sup>2</sup> |
| Kullanım amacı         | : Konut - işyeri       |

- Malzeme Bilgileri

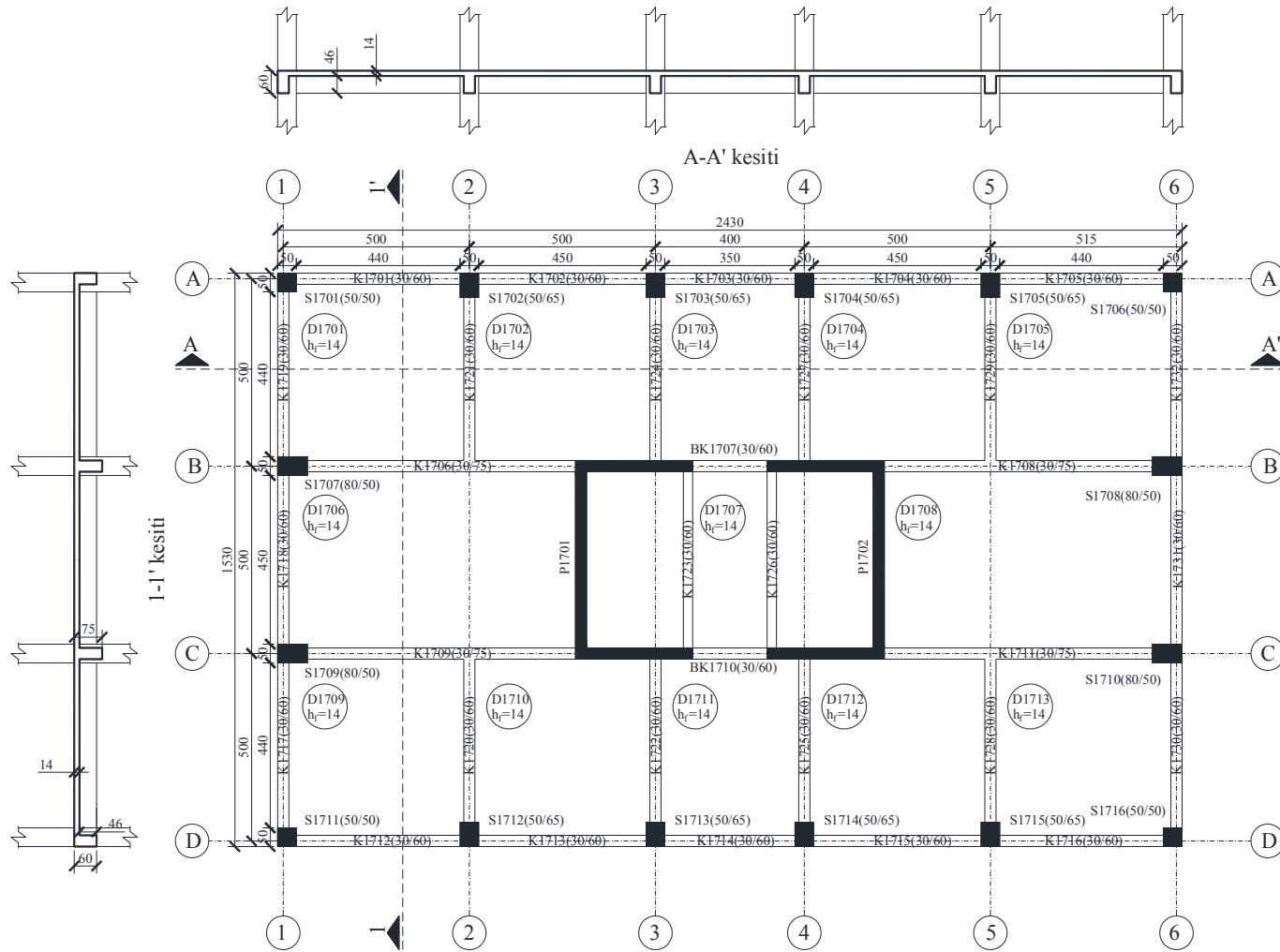
|   |                            |
|---|----------------------------|
| Beton   | : C40 ( $f_{ck}=40$ MPa)   |
| Donatı çeliği   | : S420 ( $f_{yk}=420$ MPa) |
| Beton elastisite modülü, ( $E_c$ )                          | : 34 GPa                   |
| Donatı çeliği elastisite modülü, ( $E_s$ )                  | : 200 GPa                  |
| Beton malzeme güvenlik katsayısı, ( $\gamma_{mc}$ )         | : 1.50                     |
| Donatı çeliği malzeme güvenlik katsayısı, ( $\gamma_{ms}$ ) | : 1.15                     |

- Deprem Parametreleri

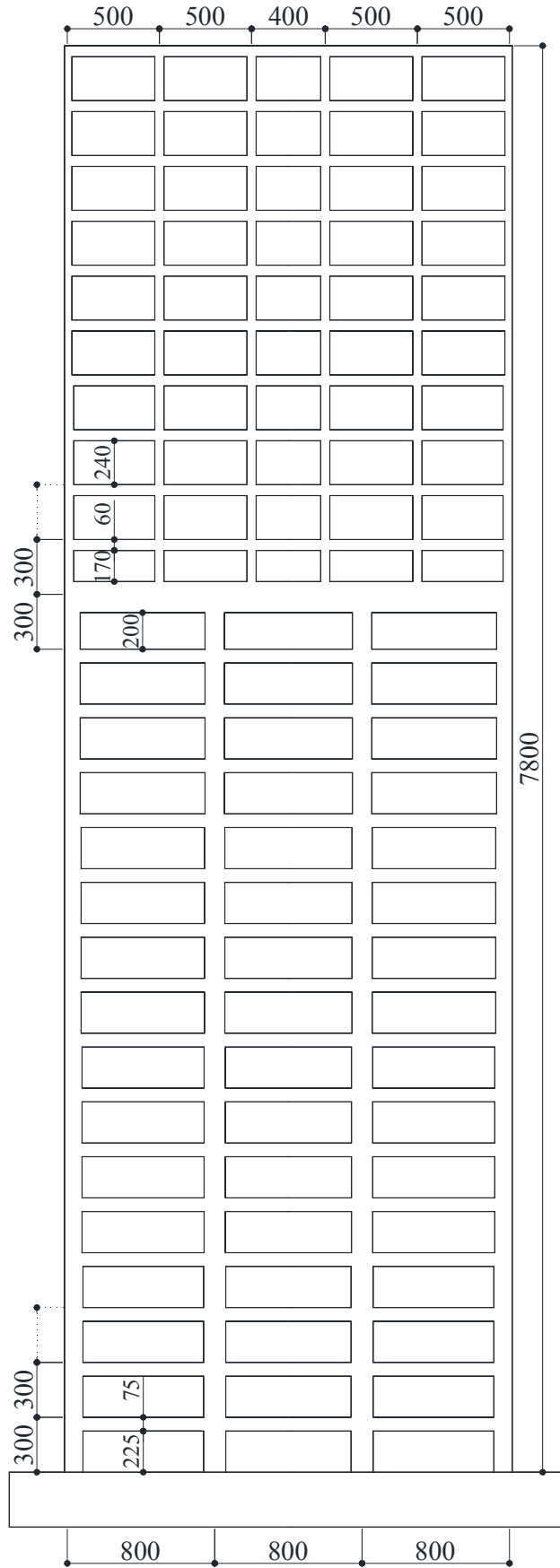
|                    |      |
|--------------------|------|
| Yerel zemin sınıfı | : Z2 |
| Deprem bölgesi     | : 1  |



Şekil 3.1 : 1.tip kat planı.



Şekil 3.2 : 2. tip kat planı.



Şekil 3.3 : Binanın A-A aksı görünüşü.

- Taşıyıcı sistem bilgisi

#### Döşemeler

Binadaki tüm döşemeler kirişli plak döşemedir. Bu tip döşemelerin davranışı uzun kenarının kısa kenarına oranına ve komşu açıklıklara bağlıdır. Eğer  $l_{uzun}/l_{kısa} < 2$  ise yükün iki doğrultuda da mesnetlere aktarıldığı düşünülebilir. Bu oran 2 den büyük ise yükün tamamına yakını kısa doğrultuda mesnetlere aktarılır. Döşeme kalınlığı ( $h_f$ ), tek doğrultuda çalışan döşemelerde denklem (3.1)'e uygun olarak belirlenmelidir. Döşeme kalınlığı bu değerden küçük seçilir ise sehim kontrolü yapılmalıdır. Çift doğrultuda çalışan döşemelerde ise döşeme kalınlığı denklem (3.2)'ye uygun olarak belirlenmelidir. Seçilen döşeme kalınlıkları çizelge (3.1)'de verilmiştir.

$$\begin{aligned}
 & l_{sn} / 25 \text{ (Basit mesnetli, tek açıklı döşemelerde)} \\
 h_f & \geq l_{sn} / 30 \text{ (Sürekli döşeme kenar açıklık)} \\
 & l_{sn} / 12 \text{ (Konsol döşemelerde)}
 \end{aligned} \tag{3.1}$$

$$h_f \geq \frac{l_{sn}}{15 + \frac{20}{m}} \times \left( 1 - \frac{\alpha_s}{4} \right) \text{ ve } h_f \geq 80 \text{ mm} \tag{3.2}$$

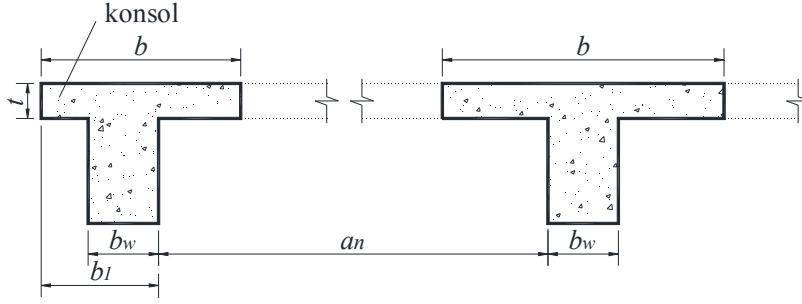
**Çizelge 3.1 : Döşeme kalınlıkları.**

| Döşeme adı | $l_{uzun}$ (cm) | $l_{kısa}$ (cm) | $m$  | $l_{sn}$ (cm) | $\alpha_s$ | $h_f$ (cm) | $h_{f,seçilen}$ (cm) |
|------------|-----------------|-----------------|------|---------------|------------|------------|----------------------|
| D101       | 800             | 500             | 1.60 | 470           | 0.5        | 14.95      | 15                   |
| D102       | 800             | 500             | 1.60 | 470           | 0.69       | 14.14      | 15                   |
| D103       | 800             | 500             | 1.60 | 470           | 0.5        | 14.95      | 15                   |
| D104       | 800             | 500             | 1.60 | 470           | 0.81       | 13.63      | 15                   |
| D105       | 500             | 230             | 2.20 | 200           | -          | 8.00       | 15                   |
| D106       | 800             | 500             | 1.60 | 470           | 0.81       | 13.63      | 15                   |
| D107       | 800             | 500             | 1.60 | 470           | 0.5        | 14.95      | 15                   |
| D108       | 800             | 500             | 1.60 | 470           | 0.69       | 14.14      | 15                   |
| D109       | 800             | 500             | 1.60 | 470           | 0.5        | 14.95      | 15                   |
| D1701      | 500             | 500             | 1.00 | 470           | 0.5        | 11.75      | 14                   |
| D1702      | 500             | 500             | 1.00 | 470           | 0.75       | 10.91      | 14                   |
| D1703      | 500             | 400             | 1.30 | 370           | 0.78       | 9.61       | 14                   |
| D1704      | 500             | 500             | 1.00 | 470           | 0.75       | 10.91      | 14                   |
| D1705      | 500             | 500             | 1.00 | 470           | 0.5        | 11.75      | 14                   |
| D1706      | 800             | 500             | 1.60 | 470           | 0.81       | 13.63      | 14                   |
| D1707      | 500             | 230             | 2.20 | 200           | -          | 8.00       | 14                   |
| D1708      | 800             | 500             | 1.60 | 470           | 0.81       | 13.63      | 14                   |
| D1709      | 500             | 500             | 1.00 | 470           | 0.5        | 11.75      | 14                   |
| D1710      | 500             | 500             | 1.00 | 470           | 0.75       | 10.91      | 14                   |
| D1711      | 500             | 400             | 1.30 | 370           | 0.78       | 9.61       | 14                   |
| D1712      | 500             | 500             | 1.00 | 470           | 0.75       | 10.91      | 14                   |
| D1713      | 500             | 500             | 1.00 | 470           | 0.5        | 11.75      | 14                   |

## Kirişler

Kiriş boyutları çizelge 3.2'de verilmiştir.

Kiriş etkili tabla genişlikleri



Şekil 3.4 : Kiriş tabla genişliği.

$$\text{Simetrik kesitlerde (T-kesiti), } b=b_w+0.2l_p \quad (3.3)$$

$$\text{Simetrik olmayan kesitlerde (L-kesiti vb), } b=b_1+0.1l_p \quad (3.4)$$

Kirişin iki moment sıfır noktası arasındaki uzaklık  $l_p$ , kesin hesap yapılamayan durumlarda aşağıdaki gibi belirlenebilir.

$$\begin{aligned} l_p &= 1.0l \text{ (tek açıklıklı, basit mesnetli kiriş)} \\ &= 0.8l \text{ (sürekli kiriş kenar açıklığı)} \\ &= 0.6l \text{ (sürekli kiriş iç açıklığı)} \\ &= 1.5l \text{ (konsol kiriş)} \end{aligned} \quad (3.5)$$

Burada,

$l$ : Kirişin hesap açıklığı.

Çizelge 3.2 : Kiriş tabla genişlikleri ve boyutları.

| kiriş no | kesit biçimi | $l$ cm | $l_p$         | $0.1 \cdot l_p$ cm | $6 \cdot h_f$ cm | $a_{n1}/2$ cm | $a_{n2}/2$ cm | $b_w$ cm | $b_1$ cm | $b_2$ cm | $b$ cm |
|----------|--------------|--------|---------------|--------------------|------------------|---------------|---------------|----------|----------|----------|--------|
| K101     | Γ            | 800    | $0.7 \cdot L$ | 56                 | 90               | 235           | -             | 30       | 56       | -        | 86     |
| K102     | Γ            | 800    | $0.6 \cdot L$ | 48                 | 90               | 235           | -             | 30       | 48       | -        | 78     |
| K104     | T            | 800    | $0.7 \cdot L$ | 56                 | 90               | 235           | 235           | 30       | 56       | 56       | 142    |
| K105     | T            | 200    | $0.7 \cdot L$ | 14                 | 90               | 235           | 235           | 30       | 14       | 14       | 58     |
| K114     | Γ            | 500    | $0.6 \cdot L$ | 30                 | 90               | -             | 770           | 30       | -        | 30       | 60     |
| K115     | Γ            | 500    | $0.7 \cdot L$ | 35                 | 90               | -             | 385           | 30       | -        | 35       | 65     |
| K118     | Γ            | 500    | $0.7 \cdot L$ | 35                 | 90               | -             | 200           | 30       | -        | 35       | 65     |
| K1701    | Γ            | 500    | $0.7 \cdot L$ | 35                 | 84               | 235           | -             | 30       | 35       | -        | 65     |
| K1702    | Γ            | 500    | $0.6 \cdot L$ | 30                 | 84               | 235           | -             | 30       | 30       | -        | 60     |
| K1703    | Γ            | 400    | $0.6 \cdot L$ | 24                 | 84               | 235           | -             | 30       | 24       | -        | 54     |
| K1706    | T            | 800    | $0.7 \cdot L$ | 56                 | 84               | 235           | 235           | 30       | 56       | 56       | 142    |



**Çizelge 3.2 (devam):** Kiriş tabla genişlikleri ve boyutları.

| kiriş no | kesit biçimi | $l$<br>cm | $l_p$         | $0.1 \cdot l_p$<br>cm | $6 \cdot h_f$<br>cm | $a_{n1}/2$<br>cm | $a_{n2}/2$<br>cm | $b_w$<br>cm | $b_f$<br>cm | $b_2$<br>cm | $b$<br>cm |
|----------|--------------|-----------|---------------|-----------------------|---------------------|------------------|------------------|-------------|-------------|-------------|-----------|
| K1707    | T            | 200       | $0.7 \cdot L$ | 14                    | 84                  | 235              | 235              | 30          | 14          | 14          | 58        |
| K1718    | Γ            | 500       | $0.7 \cdot L$ | 30                    | 84                  | -                | 770              | 30          | -           | 30          | 60        |
| K1719    | Γ            | 500       | $0.7 \cdot L$ | 35                    | 84                  | -                | 235              | 30          | -           | 35          | 65        |
| K1721    | T            | 500       | $0.7 \cdot L$ | 35                    | 84                  | 235              | 235              | 30          | 35          | 35          | 100       |
| K1723    | Γ            | 500       | $0.7 \cdot L$ | 35                    | 84                  | -                | 100              | 30          | -           | 35          | 65        |
| K1724    | T            | 500       | $0.7 \cdot L$ | 35                    | 84                  | 235              | 185              | 30          | 35          | 35          | 100       |

(Kat planları iki yönde de simetrik olduğu için gerekli kirişlerin bilgileri verilmiştir.)

## Kolonlar

1. tip ve 2. tip kat planlarındaki kolon boyutları sırası ile çizelge 3.3 ve çizelge 3.4'te verilmiştir.

**Çizelge 3.3 :** 1. tip kat planlarında yer alan kolonların boyutları.

| kolon adı | $a_x$<br>(cm) | $a_y$<br>(cm) | kolon adı | $a_x$<br>(cm) | $a_y$<br>(cm) | kolon adı | $a_x$<br>(cm) | $a_y$<br>(cm) |
|-----------|---------------|---------------|-----------|---------------|---------------|-----------|---------------|---------------|
| S101      | 100           | 80            | S102      | 120           | 100           | S103      | 100           | 120           |
| S201      | 100           | 80            | S202      | 120           | 100           | S203      | 100           | 120           |
| S301      | 100           | 80            | S302      | 120           | 100           | S303      | 100           | 120           |
| S401      | 100           | 80            | S402      | 120           | 100           | S403      | 100           | 120           |
| S501      | 95            | 75            | S502      | 115           | 95            | S503      | 95            | 115           |
| S601      | 95            | 75            | S602      | 115           | 95            | S603      | 95            | 115           |
| S701      | 95            | 75            | S702      | 115           | 95            | S703      | 95            | 115           |
| S801      | 95            | 75            | S802      | 115           | 95            | S803      | 95            | 115           |
| S901      | 90            | 70            | S902      | 110           | 90            | S903      | 90            | 110           |
| S1001     | 90            | 70            | S1002     | 110           | 90            | S1003     | 90            | 110           |
| S1101     | 90            | 70            | S1102     | 110           | 90            | S1103     | 90            | 110           |
| S1201     | 90            | 70            | S1202     | 110           | 90            | S1203     | 90            | 110           |
| S1301     | 85            | 65            | S1302     | 105           | 85            | S1303     | 85            | 105           |
| S1401     | 85            | 65            | S1402     | 105           | 85            | S1403     | 85            | 105           |
| S1501     | 85            | 65            | S1502     | 105           | 85            | S1503     | 85            | 105           |
| S1601     | 85            | 65            | S1602     | 105           | 85            | S1603     | 85            | 105           |

**Çizelge 3.4 :** 2. tip kat planlarında yer alan kolonların boyutları.

| kolon adı | $a_x$<br>(cm) | $a_y$<br>(cm) | kolon adı | $a_x$<br>(cm) | $a_y$<br>(cm) | kolon adı | $a_x$<br>(cm) | $a_y$<br>(cm) | kolon adı | $a_x$<br>(cm) | $a_y$<br>(cm) |
|-----------|---------------|---------------|-----------|---------------|---------------|-----------|---------------|---------------|-----------|---------------|---------------|
| S1701     | 50            | 50            | S1702     | 50            | 65            | S1703     | 50            | 65            | S1707     | 80            | 50            |
| S1801     | 50            | 50            | S1802     | 50            | 65            | S1803     | 50            | 65            | S1807     | 80            | 50            |
| S1901     | 50            | 50            | S1902     | 50            | 65            | S1903     | 50            | 65            | S1907     | 80            | 50            |
| S2001     | 50            | 50            | S2002     | 50            | 60            | S2003     | 50            | 60            | S2007     | 80            | 50            |
| S2101     | 40            | 40            | S2102     | 50            | 60            | S2103     | 50            | 60            | S2107     | 80            | 50            |
| S2201     | 40            | 40            | S2202     | 50            | 60            | S2203     | 50            | 60            | S2207     | 80            | 40            |
| S2301     | 40            | 40            | S2302     | 50            | 50            | S2303     | 50            | 50            | S2307     | 80            | 40            |
| S2401     | 40            | 40            | S2402     | 50            | 50            | S2403     | 50            | 50            | S2407     | 80            | 40            |
| S2501     | 40            | 40            | S2502     | 50            | 50            | S2503     | 50            | 50            | S2507     | 80            | 40            |
| S2601     | 40            | 40            | S2602     | 50            | 50            | S2603     | 50            | 50            | S2607     | 80            | 40            |

(Kat planları iki yönde de simetrik olduğu için gerekli kolonların bilgileri verilmiştir.)

- Yük analizi

Tüm döşemeler seramik karo kaplı olarak düşünülmüştür.

Betonarme plak ağırlığı :  $0.15 \times 25 = 3.75 \text{ kN/m}^2$  (1. tip)

Betonarme plak ağırlığı :  $0.14 \times 25 = 3.50 \text{ kN/m}^2$  (2. tip)

Seramik kaplama ağırlığı :  $0.8 \times 0.22 = 0.18 \text{ kN/m}^2$

Çimento harcı :  $0.015 \times 22 = 0.33 \text{ kN/m}^2$

Tesviye betonu ve şap :  $0.03 \times 22 = 0.66 \text{ kN/m}^2$

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

$\Sigma g_{\text{kaplama}} = 1.67 \text{ kN/m}^2$

$\Sigma g_1 = 3.75 + 1.67 = 5.42 \text{ kN/m}^2$

$\Sigma g_2 = 3.50 + 1.67 = 5.17 \text{ kN/m}^2$

Hareketli yük değerleri  $q = 2 + 1.5 = 3.5 \text{ kN/m}^2$  olarak alınmıştır. Planda duvar belirlenmediğinden hareketli yük  $1.5 \text{ kN/m}^2$  arttırılmıştır.

**Çizelge 3.5 : Kat ağırlıkları.**

| kat    | $g_i$ (kN) | $q_i$ (kN) | $w_i$ (kN) |
|--------|------------|------------|------------|
| 26     | 3391.57    | 1195.53    | 3750.23    |
| 25     | 3391.57    | 1195.53    | 3750.23    |
| 24     | 3391.57    | 1195.53    | 3750.23    |
| 23     | 3391.57    | 1195.53    | 3750.23    |
| 22     | 3464.49    | 1195.53    | 3823.15    |
| 21     | 3464.49    | 1195.53    | 3823.15    |
| 20     | 3464.49    | 1195.53    | 3823.15    |
| 19     | 3475.42    | 1195.53    | 3834.08    |
| 18     | 3475.42    | 1195.53    | 3834.08    |
| 17     | 3475.42    | 1195.53    | 3834.08    |
| 16     | 4706.71    | 1195.53    | 5065.37    |
| 15     | 3858.53    | 1195.53    | 4217.19    |
| 14     | 3858.53    | 1195.53    | 4217.19    |
| 13     | 3858.53    | 1195.53    | 4217.19    |
| 12     | 3933.73    | 1195.53    | 4292.39    |
| 11     | 3933.73    | 1195.53    | 4292.39    |
| 10     | 3933.73    | 1195.53    | 4292.39    |
| 9      | 3933.73    | 1195.53    | 4292.39    |
| 8      | 4008.27    | 1195.53    | 4366.93    |
| 7      | 4008.27    | 1195.53    | 4366.93    |
| 6      | 4008.27    | 1195.53    | 4366.93    |
| 5      | 4008.27    | 1195.53    | 4366.93    |
| 4      | 4088.18    | 1195.53    | 4446.84    |
| 3      | 4088.18    | 1195.53    | 4446.84    |
| 2      | 4088.18    | 1195.53    | 4446.84    |
| 1      | 4088.18    | 1195.53    | 4446.84    |
| toplam |            |            | 108114.1   |

DBYBHY(2007) tablo 2.7'ye göre hareketli yük katılım katsayısı ( $n$ ), 0.3 alınmıştır.

$$W = \sum_{i=1}^N w_i \quad w_i = g_i + nq_i \quad (3.6)$$

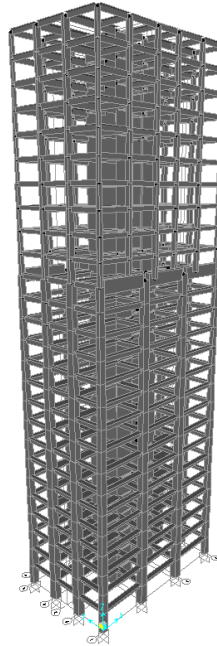
## 3.2 Deprem Hesabı

### 3.2.1 Hesap yönteminin belirlenmesi

Bina yüksekliğinin 40 m den fazla olmasından dolayı binanın hesabına esas olacak deprem yükleri mod birleştirme yöntemi ile belirlenmiştir.

### 3.2.2 Mod birleştirme yöntemi ile analiz

Binada düşey yükler ve Mod Birleştirme Yöntemi ile yapılan dinamik analiz sonuçlarının ortak etkisi altında taşıyıcı sistem elemanlarda oluşacak olan iç kuvvetler ve yer değiştirmeleri belirlemek amacıyla yapısal sistemin üç boyutlu modeli SAP2000 programında kurulmuştur. Modelde tüm taşıyıcı elemanlar çubuk (*frame*) eleman olarak tanımlanmıştır. Kirişler tablalı olarak girilip, döşeme yükleri üçgen ve trapez yayılı yük şeklinde kirişlere etkilmiştir. U şeklindeki perdeler de çubuk eleman olarak tanımlanmış ve düğüm noktalarına rijit çubuklarla bağlanmıştır. Her katta döşemelerin kendi düzlemleri içinde rijit diyafram olarak çalıştığı kabul edilmiştir.



Şekil 3.5 : Binanın SAP2000 modeli.

### 3.2.3 İvme spektrumu

Elastik deprem yüklerinin hesaplanmasına esas olan deprem bölgesi ve zemin sınıfı bilgileri *Genel Bina Bilgileri* başlığı altında verilmiştir. Tasarımı yapılan bina 1. derece deprem bölgesinde bulunduğundan dolayı DBYBHY(2007) tablo 2.3 doğrultusunda, etkin yer ivmesi katsayısı ( $A_0$ ), 0.4 olarak alınmıştır. Kullanım amacı konut ve işyeri olduğu için bina önem katsayısı ( $I$ ), 1.0 olarak alınmıştır. Yerel zemin sınıfı Z2 olduğu için spektrum karakteristik periyotları  $T_A$  ve  $T_B$  sırasıyla, 0.15 sn ve 0.40 sn olarak alınmıştır. Son olarak, bina süneklik düzeyi normal çerçeve ve süneklik düzeyi yüksek perdelerin bir arada kullanıldığı süneklik düzeyi karma bir sistem olarak belirlenmiştir. DBYBHY(2007)'de karma taşıyıcı sistemler için, sünek perdelerin taban kesme kuvvetinin tüm binanın taban kesme kuvvetine oranı olarak " $\alpha_s$ " parametresi tanımlanmıştır. Bu parametre doğrultusunda taşıyıcı sistem davranış katsayısı belirlenmektedir. Başlangıçta  $\alpha_s \geq 2/3$  olduğu kabul edilmiş ve her iki yönde de taşıyıcı sistem davranış katsayısı ( $R$ ), 7 alınmıştır.

$$\begin{aligned} \alpha_s &\geq 0.4 \text{ koşulu her deprem doğrultusunda sağlanmalıdır.} \\ 0.4 \leq \alpha_s < 2/3 \text{ ise } R &= R_{NC} + 1.5\alpha_s(R_{YP} - R_{NC}) \\ \alpha_s &\geq 2/3 \text{ ise } R = R_{YP} \end{aligned} \quad (3.7)$$

Burada,

$\alpha_s$  : Süneklik düzeyi yüksek perdelerin tabanında elde edilen kesme kuvvetleri toplamının, binanın tümü için tabanda meydana gelen toplam kesme kuvvetine oranı

$R$  : Taşıyıcı sistem davranış katsayısı

$R_{NC}$  : Deprem yüklerinin tamamının süneklik düzeyi normal çerçeveler tarafından taşındığı durum için tanımlanan taşıyıcı sistem davranış katsayısı

$R_{YP}$  : Deprem yüklerinin tamamının süneklik düzeyi yüksek perdeler tarafından taşındığı durum için tanımlanan taşıyıcı sistem davranış katsayısı

$R=7$  alınarak yapılan mod birleştirme analizinden bulunan bina toplam taban kesme kuvveti değerleri ve bağ kirişli perde sisteminin taban kesme kuvveti değerleri aşağıda verilmiştir.

$$V_{t,x} = 4363.32 \text{ kN}$$

$$V_{p,x} = 2828.70 \text{ kN}$$

$$\alpha_s = \frac{2828.70}{4363.32} = 0.648 < 2/3$$

$$R = 4 + 1.5 \times 0.648 \times (7 - 4) = 6.92$$

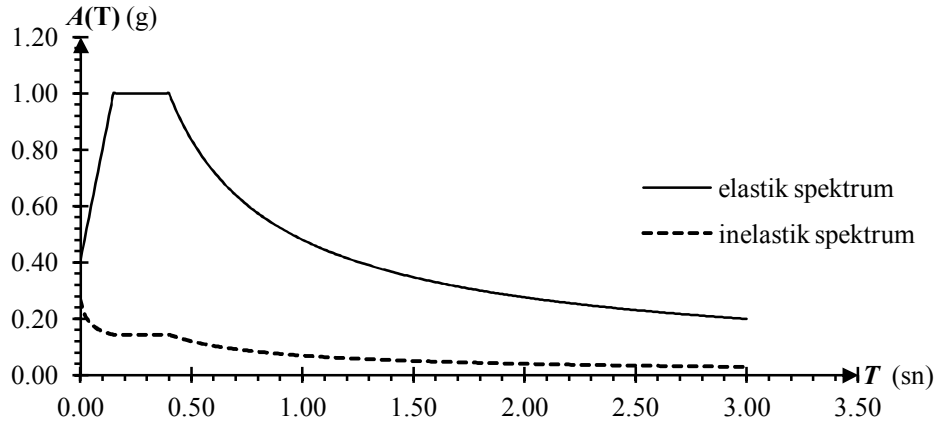
$$V_{t,y} = 4345.70 \text{ kN}$$

$$V_{p,y} = 2986.48 \text{ kN}$$

$$\alpha_s = \frac{2986.48}{4345.70} = 0.687 > 2/3$$

$$R = 7$$

Yapılan kontrolden sonra  $R$  x yönünde 6.9, y yönünde ise 7 alınarak hesap tekrarlanmıştır.



Şekil 3.6 : Elastik ve inelastik ivme spektrumları.

### 3.2.4 Göz önüne alınacak dinamik serbestlik dereceleri

Binada döşemeler yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı için her katta modal deprem yükleri, ek dış merkezlik etkisinin hesaba katılması amacı ile deprem doğrultusuna dik doğrultudaki kat boyutunun  $\pm$  %5'i kadar kat kütle merkezinden kaydırılmış noktalara ve kat kütle merkezine uygulanmıştır.

### 3.2.5 Hesaba katılacak yeterli titreşim modu sayısı

DBYBHY(2007) 2.8.3.1'de birbirine dik iki deprem doğrultusunda da, her bir mod için hesaplanan etkin kütlelerin toplamı toplam binanın kütlelerinin %90'ından az olmaması gerektiği belirtilmiştir. 14. modda gerekli koşulun sağlandığı çizelge 3.6'da gösterilmiştir. Analizin programla yapılmasından dolayı mod sayısının fazla alınması ek bir zorluk getirmeyeceğinden 78 adet mod hesaba katılmıştır.

**Çizelge 3.6 : Etkin kütle katılım oranları.**

| Mod | $M_{xn}^*$ (%) | $M_{yn}^*$ (%) | $\Sigma M_{xn}^*$ (%) | $\Sigma M_{yn}^*$ (%) |
|-----|----------------|----------------|-----------------------|-----------------------|
| 1   | 0.00           | 65.85          | 0.00                  | 65.85                 |
| 2   | 73.29          | 0.00           | 73.29                 | 65.85                 |
| 3   | 0.00           | 0.00           | 73.29                 | 65.85                 |
| 4   | 0.00           | 0.00           | 73.29                 | 65.85                 |
| 5   | 12.34          | 0.00           | 85.63                 | 65.85                 |
| 6   | 0.00           | 17.66          | 85.63                 | 83.51                 |
| 7   | 0.00           | 0.00           | 85.63                 | 83.51                 |
| 8   | 4.92           | 0.00           | 90.55                 | 83.51                 |
| 9   | 0.00           | 6.41           | 90.55                 | 89.92                 |
| 10  | 0.00           | 0.00           | 90.55                 | 89.92                 |
| 11  | 2.38           | 0.00           | 92.93                 | 89.92                 |
| 12  | 0.00           | 0.00           | 92.93                 | 89.92                 |
| 13  | 0.00           | 0.00           | 92.93                 | 89.92                 |
| 14  | 0.00           | 2.96           | 92.93                 | 92.89                 |

### 3.2.6 Mod katkılarının birleştirilmesi

Toplam modal tepkinin en yüksek değerini kesin olarak elde etmek mümkün değildir. Çünkü her bir moda ait en yüksek değer farklı zamanlarda oluşur. Eğer bu değerler direk toplanarak dikkate alınırsa gerçek değerlerden çok yüksek değerler kullanılmış olur. Uygun bir şekilde modların değerlerini birleştirmek için iki yöntemden söz edilebilir. Bunlardan ilki karelerin toplamının karekökü kuralı "*the square root of sum of squares (SRSS) rule*" diğeri ise tam karesel birleştirme kuralı "*the complete quadric combination (CQC) rule*" dir. E.Rosenblueth tarafından geliştirilmiş olan karelerin toplamının karekökü kuralı, doğal frekansları iyi ayrılmış binalarda kullanılabilir.

$$r_0 \cong \left( \sum_{n=1}^N r_{no}^2 \right)^{1/2} \quad (3.8)$$

Eğer, simetrik olmayan binalarda olduğu gibi doğal frekans aralıkları yakın olan binalarda tam karesel birleştirme yöntemi kullanılabilir.

$$r_0 \cong \left( \sum_{i=1}^N \sum_{n=1}^N \rho_{in} r_{io} r_{no} \right)^{1/2} \quad (3.9)$$

$$\rho_{in} = \frac{8\xi^2 (1 + \beta_{in}) \beta_{in}^{3/2}}{(1 - \beta_{in}^2)^2 + 4\xi^2 \beta_{in} (1 + \beta_{in})^2} \quad (3.10)$$

Burada,

$r_o$  : Elde edilmek istenen en büyük herhangi bir değer

$r_{no}$  : n. moda ait en büyük herhangi bir değer

$\beta_{in}$  :  $\omega_i / \omega_n$  serbest titreşim frekanslarının oranı

$\xi$  : Sönüm oranı.

DBYBHY(2007)'de de mod katkılarının birleştirilmesi için yukarıda bahsedilen iki kural önerilmiştir ve SRSS kuralının uygulanabilmesi için ardaşık periyotların oranının 0.8 değerinden küçük olması koşulu verilmiştir. CQC kuralı uygulanacak ise sönüm oranı %5 olarak belirtilmiştir.

Mod katkılarının birleştirilmesinde binanın ardaşık periyotlarının farkları 0.80 değerinden fazla olduğu için DBYBHY(2007) 2.8.4.2'de belirtilen CQC kuralı kullanılmıştır.

**Çizelge 3.7 :** İlk 12 modun periyot, frekans ve açısal frekans değerleri.

| Mod | $T$ (sn) | $f$ (çevrim/sn) | $\omega$ (rad/sn) |
|-----|----------|-----------------|-------------------|
| 1   | 1.57     | 0.64            | 3.99              |
| 2   | 1.50     | 0.67            | 4.19              |
| 3   | 1.38     | 0.73            | 4.56              |
| 4   | 0.53     | 1.89            | 11.88             |
| 5   | 0.49     | 2.06            | 12.92             |
| 6   | 0.47     | 2.13            | 13.39             |
| 7   | 0.29     | 3.42            | 21.47             |
| 8   | 0.26     | 3.87            | 24.31             |
| 9   | 0.22     | 4.65            | 29.19             |
| 10  | 0.20     | 5.03            | 31.63             |
| 11  | 0.16     | 6.12            | 38.43             |
| 12  | 0.16     | 6.40            | 40.23             |

### 3.2.7 Hesaplanan büyüklüklere ilgili alt sınır değerler

Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi'nin aksine Mod Birleştirme Yöntemi'nde binaya etkiyen toplam deprem yükünün hesabında ve bu yüklerin dağıtılmasında binanın ileri modları da hesaba katılır. Bu durum yöntemi çekici hale getirirde aslında bir önceki başlıkta bahsedildiği gibi Mod Birleştirme Yöntemi'nin kullanılabilmesi için mod katkılarının birleştirilmesindeki gibi bazı ek kabuller yapılması gerekir. Bunun sonucu olarak DBYBHY(2007), Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi'nde daha az kabul yapıldığından dolayı sonuçların bu yöntemle göre karşılaştırılması gerekirse iç kuvvet ve yerdeğiştirme büyüklüklerinin arttırılması koşulunu koymuştur. Mod Birleştirme Yöntemi ile elde edilen bina toplam deprem yükü  $V_{TB}$  değerinin, Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi'nden elde edilen bina toplam deprem yükü  $V_t$  değerine oranının  $\beta$  değerinden küçük olması durumunda ( $V_{TB} < \beta V_t$ ), Mod Birleştirme Yöntemi'ne göre bulunan tüm iç kuvvet ve yer değiştirme büyüklükleri denklem (3.11)'e göre büyütülecektir.

$$B_D = \frac{\beta V_t}{V_{tB}} B_B \quad (3.11)$$

DBYBHY(2007) tablo 2.1'de tanımlanan A1, B2 veya B3 türü düzensizliklerinin en az birinin bulunması durumunda  $\beta=0.90$ , bu düzensizliklerden hiçbirinin bulunmaması durumunda  $\beta=0.80$  alınacaktır.

Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'ne göre toplam taban kesme kuvveti (3.12)'ye göre hesaplanabilir.

$$V_t = \frac{WA(T)}{R_a(T)} \geq 0.10 A_0 IW \quad (3.12)$$

$$A(T) = A_0 IS(T) \quad (3.13)$$

$$S(T) = 1 + 1.5 \frac{T}{T_A} \quad (0 \leq T \leq T_A)$$

$$S(T) = 2.5 \quad (T_A < T \leq T_A) \quad (3.14)$$

$$S(T) = 2.5 \left( \frac{T_B}{T} \right)^{0.8} \quad (T_B < T)$$

$$R_a(T) = 1.5 + (R - 1.5) \frac{T}{T_A} \quad (0 \leq T \leq T_A) \quad (3.15)$$

$$R_a(T) = R \quad (T_A < T)$$

Burada,

$V_t$  : Taban kesme kuvveti

$W$  : Binanın ağırlığı

$R_a(T)$  : Deprem yükü azaltma katsayısı

$A(T)$  : Etkin yer ivmesi katsayısı

$A_0$  : Spektral ivme katsayısı

$I$  : Bina önem katsayısı

$S(T)$  : Spektrum katsayısı

$T$  : Bina doğal titreşim periyodu

$T_A, T_B$  : Spektrum karakteristik periyodları

Mod birleştirme yönteminden elde edilen taban kesme kuvveti değerleri ile eşdeğer deprem yükü yönteminden elde edilen taban kesme kuvveti değerleri aşağıda karşılaştırılmıştır.



- x doğrultusu

$V_{tB,x} = 4426.46$  kN (mod katkılarının birleştirilmesi ile elde edilen taban kesme kuvveti)

$$T_2 = 1.50 \text{ sn}$$

$$S(T = 1.50) = 2.5 \left( \frac{0.40}{1.50} \right)^{0.8} = 0.868 \quad (0.40 < 1.50)$$

$$A(T = 1.50) = 0.40 \times 1 \times 0.868 = 0.347$$

$$R_{a,x}(T = 1.50) = 6.9 \quad (0.15 < 1.50)$$

$$V_{t,x} = \frac{108114.13 \times 0.347}{6.9} = 5442.62 \text{ kN}$$

$$B_D = \frac{\beta V_t}{V_{tB}} B_B = \frac{0.90 \times 5442.62}{4426.62} B_D = 1.11 B_D$$

x doğrultusunda deprem yüklemesinden elde edilen tüm değerler %11 arttırılacaktır.

- y doğrultusu

$$V_{tB,y} = 4345.70 \text{ kN}$$

$$T_1 = 1.57 \text{ sn}$$

$$S(T = 1.57) = 2.5 \left( \frac{0.40}{1.57} \right)^{0.8} = 0.837 \quad (0.40 < 1.57)$$

$$A(T = 1.57) = 0.40 \times 1 \times 0.837 = 0.335$$

$$R_{a,y}(T = 1.57) = 7 \quad (0.15 < 1.57)$$

$$V_{t,y} = \frac{108114.13 \times 0.335}{7} = 5174.03 \text{ kN}$$

$$B_D = \frac{\beta V_t}{V_{tB}} B_B = \frac{0.90 \times 5174.03}{4345.70} B_B = 1.07 B_B$$

y doğrultusunda deprem yüklemesinden elde edilen tüm değerler %7 arttırılacaktır.

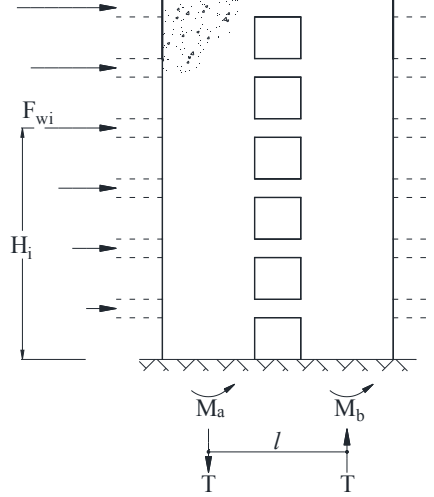
DBYBHY(2007) 3.6.8.2'ye göre, göz önüne alınan deprem doğrultusunda, herhangi bir bağ kirişli perde sistemini oluşturan perde parçalarında deprem yüklerinden oluşan taban momentlerinin toplamı, bağ kirişli perde sisteminde deprem yüklerinden oluşan toplam devrilme momentinin 2/3'ünden fazla olmayacaktır. Bu koşulun sağlanamaması durumunda, bağ kirişli perdeyi oluşturan perde parçalarının her biri boşluksuz perde olarak sayılarak taşıyıcı sistem katsayısı "R" değiştirilecektir.

$$\begin{aligned} M_a + M_b &\leq 2/3 \sum w_i H_i \\ M_a + M_b &\leq 2Tl \end{aligned} \quad (3.16)$$

Burada,

$F_{wi}$  : i. katta bağ kirişli perde sistemine etkiyen deprem yükü.

$l$  : Perdelerin ağırlık merkezi arasındaki uzaklık.



Şekil 3.7 : Bağ kirişli perde sistemi.

$$M_a + M_b = 23979.70 \text{ kNm} \quad T = 5320.68 \text{ kN} \quad l = 6.368 \text{ m}$$

$$23979.70 < 2 \times 5320.68 \times 6.368 = 67764.18 \text{ kNm}$$

$$23979.70 / (23979.70 + 67764.18) = 0.26$$

Deprem yükünün %26'lük kısmı taban momenti, geri kalanı ise aksenal kuvvet olarak taşınmaktadır.

### 3.2.8 Göreli kat ötelemelerinin kontrolü

Her bir deprem doğrultusu için, binanın i'inci katındaki kolon ve perdelerdeki etkin göreli kat ötelemeleri belirlenmiş ve kat içindeki en büyük değer kat yüksekliğine oranının, DBYHBHY(2007) 2.10.1.3'de verilen 0.02 üst sınırından küçük olduğu çizelge (3.8) ve (3.9)'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.8 : x doğrultusundaki kat öteleme değerleri.

| Kat | $h_i$<br>(m) | $d_{i-\max}$<br>(m) | $\Delta_{i-\max}$<br>(m) | $\delta_{i-\max} = R \Delta_{i-\max}$<br>(m) | $\delta_{i-\max} / h_i$ |
|-----|--------------|---------------------|--------------------------|--|-------------------------|
| 26  | 3            | 0.04748             | 0.00118                  | 0.00816                                      | 0.00272                 |
| 25  | 3            | 0.04629             | 0.00128                  | 0.00883                                      | 0.00294                 |
| 24  | 3            | 0.04501             | 0.00138                  | 0.00954                                      | 0.00318                 |
| 23  | 3            | 0.04363             | 0.00149                  | 0.01029                                      | 0.00343                 |
| 22  | 3            | 0.04214             | 0.00159                  | 0.01095                                      | 0.00365                 |
| 21  | 3            | 0.04055             | 0.00167                  | 0.01152                                      | 0.00384                 |
| 20  | 3            | 0.03888             | 0.00174                  | 0.01198                                      | 0.00399                 |

**Çizelge 3.8 (devam):** x doğrultusundaki kat öteleme değerleri.

| Kat | $h_i$<br>(m) | $d_{i-max}$<br>(m) | $\Delta_{i-max}$<br>(m) | $\delta_{i-max}=R \Delta_{i-max}$<br>(m) | $\delta_{i-max}/ h_i$ |
|-----|--------------|--------------------|-------------------------|--|-----------------------|
| 19  | 3            | 0.03715            | 0.00179                 | 0.01232                                  | 0.00411               |
| 18  | 3            | 0.03536            | 0.00181                 | 0.01252                                  | 0.00417               |
| 17  | 3            | 0.03355            | 0.00176                 | 0.01215                                  | 0.00405               |
| 16  | 3            | 0.03179            | 0.00162                 | 0.01115                                  | 0.00372               |
| 15  | 3            | 0.03017            | 0.00192                 | 0.01328                                  | 0.00443               |
| 14  | 3            | 0.02825            | 0.00203                 | 0.01403                                  | 0.00468               |
| 13  | 3            | 0.02621            | 0.00213                 | 0.01469                                  | 0.00490               |
| 12  | 3            | 0.02408            | 0.00219                 | 0.01513                                  | 0.00504               |
| 11  | 3            | 0.02189            | 0.00225                 | 0.01553                                  | 0.00518               |
| 10  | 3            | 0.01964            | 0.00230                 | 0.01584                                  | 0.00528               |
| 9   | 3            | 0.01735            | 0.00233                 | 0.01605                                  | 0.00535               |
| 8   | 3            | 0.01502            | 0.00233                 | 0.01608                                  | 0.00536               |
| 7   | 3            | 0.01269            | 0.00232                 | 0.01603                                  | 0.00534               |
| 6   | 3            | 0.01037            | 0.00229                 | 0.01577                                  | 0.00526               |
| 5   | 3            | 0.00808            | 0.00220                 | 0.01517                                  | 0.00506               |
| 4   | 3            | 0.00588            | 0.00204                 | 0.01408                                  | 0.00469               |
| 3   | 3            | 0.00384            | 0.00179                 | 0.01234                                  | 0.00411               |
| 2   | 3            | 0.00205            | 0.00138                 | 0.00950                                  | 0.00317               |
| 1   | 3            | 0.00068            | 0.00068                 | 0.00466                                  | 0.00155               |

**Çizelge 3.9 :** y doğrultusundaki kat öteleme değerleri.

| Kat | $h_i$<br>(m) | $d_{i-max}$<br>(m) | $\Delta_{i-max}$<br>(m) | $\delta_{i-max}=R \Delta_{i-max}$<br>(m) | $\delta_{i-max}/ h_i$ |
|-----|--------------|--------------------|-------------------------|--|-----------------------|
| 26  | 3            | 0.05561            | 0.00231                 | 0.01615                                  | 0.00538               |
| 25  | 3            | 0.05330            | 0.00239                 | 0.01675                                  | 0.00558               |
| 24  | 3            | 0.05091            | 0.00246                 | 0.01723                                  | 0.00574               |
| 23  | 3            | 0.04845            | 0.00253                 | 0.01770                                  | 0.00590               |
| 22  | 3            | 0.04592            | 0.00257                 | 0.01799                                  | 0.00600               |
| 21  | 3            | 0.04335            | 0.00259                 | 0.01813                                  | 0.00604               |
| 20  | 3            | 0.04076            | 0.00259                 | 0.01816                                  | 0.00605               |
| 19  | 3            | 0.03816            | 0.00259                 | 0.01814                                  | 0.00605               |
| 18  | 3            | 0.03557            | 0.00257                 | 0.01797                                  | 0.00599               |
| 17  | 3            | 0.03301            | 0.00249                 | 0.01741                                  | 0.00580               |
| 16  | 3            | 0.03052            | 0.00226                 | 0.01584                                  | 0.00528               |
| 15  | 3            | 0.02826            | 0.00232                 | 0.01624                                  | 0.00541               |
| 14  | 3            | 0.02594            | 0.00231                 | 0.01616                                  | 0.00539               |
| 13  | 3            | 0.02363            | 0.00229                 | 0.01606                                  | 0.00535               |
| 12  | 3            | 0.02133            | 0.00227                 | 0.01586                                  | 0.00529               |
| 11  | 3            | 0.01907            | 0.00225                 | 0.01572                                  | 0.00524               |
| 10  | 3            | 0.01682            | 0.00221                 | 0.01550                                  | 0.00517               |
| 9   | 3            | 0.01461            | 0.00218                 | 0.01523                                  | 0.00508               |
| 8   | 3            | 0.01244            | 0.00211                 | 0.01475                                  | 0.00492               |
| 7   | 3            | 0.01033            | 0.00204                 | 0.01425                                  | 0.00475               |
| 6   | 3            | 0.00829            | 0.00193                 | 0.01352                                  | 0.00451               |
| 5   | 3            | 0.00636            | 0.00179                 | 0.01256                                  | 0.00419               |
| 4   | 3            | 0.00457            | 0.00160                 | 0.01122                                  | 0.00374               |
| 3   | 3            | 0.00296            | 0.00137                 | 0.00958                                  | 0.00319               |
| 2   | 3            | 0.00160            | 0.00105                 | 0.00734                                  | 0.00245               |
| 1   | 3            | 0.00055            | 0.00055                 | 0.00384                                  | 0.00128               |

### 3.2.9 İkinci mertebe etkilerinin kontrolü

Her bir deprem yönü için hesaplanan *İkinci Mertebe Gösterge Değeri*,  $\theta_i$ 'nin denklem (3.17) ile verilen koşula göre kontrolü çizelge (3.10) ve (3.11)'e verilmiştir. Yapılan kontroller sonucunda sınır değer olan 0.12'nin bütün deprem yönleri için hiç bir katta aşılmadığı görülmüştür.

$$\theta_i = (\Delta_i)_{ort} \sum_{j=1}^N w_j / V_i h_i \leq 0.12 \quad (3.17)$$

**Çizelge 3.10** : x doğrultusunda  $\theta_i$  değerleri.

| Kat | $h_i$ (m) | $\Delta_{i-ort}$ (m) | $w_i$ (kN) | $\Sigma w_i$ (kN) | $F_{xi}$ (kN) | $V_i$ (kN) | $\theta_i$ |
|-----|-----------|----------------------|------------|-------------------|---------------|------------|------------|
| 26  | 3         | 0.00112              | 3750.23    | 3750.23           | 473.94        | 473.94     | 0.00295    |
| 25  | 3         | 0.00120              | 3750.23    | 7500.45           | 441.26        | 915.20     | 0.00327    |
| 24  | 3         | 0.00128              | 3750.23    | 11250.68          | 368.31        | 1283.51    | 0.00375    |
| 23  | 3         | 0.00138              | 3750.23    | 15000.90          | 317.18        | 1600.69    | 0.00430    |
| 22  | 3         | 0.00146              | 3823.15    | 18824.05          | 276.58        | 1877.27    | 0.00488    |
| 21  | 3         | 0.00154              | 3823.15    | 22647.20          | 239.94        | 2117.22    | 0.00548    |
| 20  | 3         | 0.00160              | 3823.15    | 26470.34          | 209.96        | 2327.18    | 0.00606    |
| 19  | 3         | 0.00164              | 3834.08    | 30304.42          | 186.79        | 2513.96    | 0.00661    |
| 18  | 3         | 0.00167              | 3834.08    | 34138.49          | 166.52        | 2680.48    | 0.00709    |
| 17  | 3         | 0.00164              | 3834.08    | 37972.57          | 150.35        | 2830.83    | 0.00732    |
| 16  | 3         | 0.00154              | 5065.37    | 43037.94          | 200.84        | 3031.67    | 0.00727    |
| 15  | 3         | 0.00182              | 4217.19    | 47255.12          | 166.39        | 3198.06    | 0.00895    |
| 14  | 3         | 0.00192              | 4217.19    | 51472.31          | 156.86        | 3354.91    | 0.00981    |
| 13  | 3         | 0.00201              | 4217.19    | 55689.49          | 151.58        | 3506.50    | 0.01063    |
| 12  | 3         | 0.00207              | 4292.39    | 59981.88          | 149.38        | 3655.88    | 0.01132    |
| 11  | 3         | 0.00213              | 4292.39    | 64274.27          | 146.03        | 3801.91    | 0.01197    |
| 10  | 3         | 0.00217              | 4292.39    | 68566.65          | 143.22        | 3945.13    | 0.01255    |
| 9   | 3         | 0.00220              | 4292.39    | 72859.04          | 142.49        | 4087.61    | 0.01304    |
| 8   | 3         | 0.00220              | 4366.93    | 77225.96          | 141.71        | 4229.32    | 0.01339    |
| 7   | 3         | 0.00219              | 4366.93    | 81592.89          | 140.14        | 4369.46    | 0.01364    |
| 6   | 3         | 0.00215              | 4366.93    | 85959.82          | 135.63        | 4505.09    | 0.01369    |
| 5   | 3         | 0.00207              | 4366.93    | 90326.74          | 124.00        | 4629.09    | 0.01346    |
| 4   | 3         | 0.00192              | 4446.84    | 94773.58          | 106.97        | 4736.06    | 0.01278    |
| 3   | 3         | 0.00168              | 4446.84    | 99220.41          | 88.36         | 4824.43    | 0.01149    |
| 2   | 3         | 0.00128              | 4446.84    | 103667.25         | 62.58         | 4887.01    | 0.00908    |
| 1   | 3         | 0.00063              | 4446.84    | 108114.09         | 26.29         | 4913.30    | 0.00459    |

**Çizelge 3.11** : y doğrultusunda  $\theta_i$  değerleri.

| Kat | $h_i$ (m) | $\Delta_{i-ort}$ (m) | $w_i$ (kN) | $\Sigma w_i$ (kN) | $F_{yi}$ (kN) | $V_i$ (kN) | $\theta_i$ |
|-----|-----------|----------------------|------------|-------------------|---------------|------------|------------|
| 26  | 3         | 0.00213              | 3750.23    | 3750.23           | 525.36        | 525.36     | 0.00508    |
| 25  | 3         | 0.00217              | 3750.23    | 7500.45           | 470.64        | 996.00     | 0.00545    |
| 24  | 3         | 0.00220              | 3750.23    | 11250.68          | 367.24        | 1363.23    | 0.00605    |
| 23  | 3         | 0.00223              | 3750.23    | 15000.90          | 290.56        | 1653.79    | 0.00674    |
| 22  | 3         | 0.00225              | 3823.15    | 18824.05          | 235.77        | 1889.57    | 0.00746    |
| 21  | 3         | 0.00226              | 3823.15    | 22647.20          | 191.85        | 2081.42    | 0.00819    |
| 20  | 3         | 0.00226              | 3823.15    | 26470.34          | 154.93        | 2236.35    | 0.00891    |

**Çizelge 3.11 (devam):** y doğrultusunda  $\theta_i$  değerleri.

| Kat | $h_i$ (m) | $\Delta_{i-ort}$ (m) | $w_i$ (kN) | $\Sigma w_i$ (kN) | $F_{yi}$ (kN) | $V_i$ (kN) | $\theta_i$ |
|-----|-----------|----------------------|------------|-------------------|---------------|------------|------------|
| 19  | 3         | 0.00225              | 3834.08    | 30304.42          | 127.47        | 2363.81    | 0.00961    |
| 18  | 3         | 0.00223              | 3834.08    | 34138.49          | 108.71        | 2472.52    | 0.01024    |
| 17  | 3         | 0.00220              | 3834.08    | 37972.57          | 95.93         | 2568.45    | 0.01082    |
| 16  | 3         | 0.00208              | 5065.37    | 43037.94          | 132.23        | 2700.68    | 0.01104    |
| 15  | 3         | 0.00207              | 4217.19    | 47255.12          | 119.49        | 2820.16    | 0.01158    |
| 14  | 3         | 0.00204              | 4217.19    | 51472.31          | 124.81        | 2944.97    | 0.01191    |
| 13  | 3         | 0.00202              | 4217.19    | 55689.49          | 130.37        | 3075.35    | 0.01219    |
| 12  | 3         | 0.00199              | 4292.39    | 59981.88          | 138.94        | 3214.29    | 0.01235    |
| 11  | 3         | 0.00196              | 4292.39    | 64274.27          | 149.41        | 3363.70    | 0.01246    |
| 10  | 3         | 0.00192              | 4292.39    | 68566.65          | 156.77        | 3520.47    | 0.01246    |
| 9   | 3         | 0.00187              | 4292.39    | 72859.04          | 160.93        | 3681.40    | 0.01234    |
| 8   | 3         | 0.00180              | 4366.93    | 77225.96          | 165.01        | 3846.41    | 0.01206    |
| 7   | 3         | 0.00172              | 4366.93    | 81592.89          | 166.30        | 4012.71    | 0.01169    |
| 6   | 3         | 0.00162              | 4366.93    | 85959.82          | 158.15        | 4170.86    | 0.01113    |
| 5   | 3         | 0.00149              | 4366.93    | 90326.74          | 141.82        | 4312.68    | 0.01037    |
| 4   | 3         | 0.00131              | 4446.84    | 94773.58          | 124.04        | 4436.72    | 0.00932    |
| 3   | 3         | 0.00110              | 4446.84    | 99220.41          | 104.59        | 4541.31    | 0.00798    |
| 2   | 3         | 0.00082              | 4446.84    | 103667.25         | 75.01         | 4616.32    | 0.00615    |
| 1   | 3         | 0.00043              | 4446.84    | 108114.09         | 33.49         | 4649.81    | 0.00332    |

### 3.3 Betonarme Hesabı

#### 3.3.1 Tasarımda kullanılan yük durumları ve kombinasyonları

Tasarımda ek dış merkezliğin de hesaba katıldığı toplam 64 adet depremlilik yük kombinasyonu ve yalnız düşey yüklerin hesaba katıldığı yük kombinasyonu kullanılmıştır. Kullanılan yük kombinasyonları çizelge 3.12'de verilmiştir.

**Çizelge 3.12 :** Tasarımda kullanılan yük kombinasyonları.

| Kombinasyonlar | G   | Q   | $E_x$     | $E_y$     | $e_x$     | $e_y$     |
|----------------|-----|-----|-----------|-----------|-----------|-----------|
| DUSEY          | 1.4 | 1.6 | -         | -         | -         | -         |
| DSX1           | 1.0 | 1.0 | $\pm 1$   | $\pm 0.3$ | $\pm \%5$ | $\pm \%5$ |
| DSX2           | 0.9 | -   | $\pm 1$   | $\pm 0.3$ | $\pm \%5$ | $\pm \%5$ |
| DSY1           | 1.0 | 1.0 | $\pm 0.3$ | $\pm 1$   | $\pm \%5$ | $\pm \%5$ |
| DSY2           | 0.9 | -   | $\pm 0.3$ | $\pm 1$   | $\pm \%5$ | $\pm \%5$ |

#### 3.3.2 Yüksek kirişin tasarımı

TS500' e göre net açıklığı, toplam yüksekliğinin 2.5 katından küçük olan sürekli kirişler ve 1.5 katından küçük olan basit kirişler yüksek kiriş olarak tanımlanmıştır. Bu tür kirişlerin tasarımının doğrusal olmayan birim şekil değiştirme dağılımı ve yanal burkulma göz önüne alınarak yapılması gerekmektedir. Hesabı yapılacak kiriş

yönetmeliğe göre yüksek kiriş tanımına girmemesine rağmen ACI318 dökümanının 10.7 bölümünde, kiriş mesnetinden itibaren kiriş yüksekliğinin 2 katı mesafeden fazla uzağında bir tekil yük bulunması durumunda bu kiriş yüksek kiriş olarak tanımlanmaktadır.

Yüksek kirişin betonarme hesabı, taşıma gücü hesap yöntemine ve çubuk model yöntemine göre yapılmıştır.

Kolonun iki ucundan mesnetli bir kirişe oturması durumunda, kirişin bütün kesitlerinde ve ayrıca göz önüne alınan deprem doğrultusunda bu kirişin bağlandığı düğüm noktalarına birleşen diğer kiriş ve kolonların bütün kesitlerinde, düşey yükler ve depremin ortak etkisinden oluşan tüm iç kuvvet değerleri %50 oranında arttırılacaktır (DBHBHY, 2007). Söz konusu kirişte B3 düzensizliği olduğu için kesit tesirleri DBYBHY(2007)'nin doğrultusunda %50 arttırılmıştır.

### **3.3.2.1 Taşıma gücü yöntemine göre betonarme hesap**

Eğilme etkisi altında ki düzlem kesitlerin şekil değiştirdikten sonra da düzlem kaldığı kabul edilir. Bu kabulün sonucu olarak, betonda ve çelikte oluşacak olan şekil değiştirmeler tarafsız eksenden olan uzaklıkla orantılı olur. Ayrıca betonun çekme dayanımı ihmal edilir. Betonun çekme dayanımının az olması sebebi ile çekme bölgesinin dış liflerinde kolayca dayanımına ulaşacaktır. Tarafsız eksene yakın bölgede bulunan beton çekme gerilmesinin hem çok az, hem de moment kolunun çok kısa olmasından dolayı ihmal edilmesinin hesap üzerinde etkisi yok denecek kadar azdır.

Kesme kuvveti altındaki davranış, Mörsch ve Ritter tarafından geliştirilen kafes benzeşimi ile açıklanabilir. Kesite etkiyen kesme kuvveti genelde dik olarak yerleştirilen etriyeler ve betonun katkısıyla taşınır. Eğer kesite etkiyen kesme kuvvetinin tamamı beton tarafından taşınabiliyorsa bile kesitte  $f_{ctd} / f_{yd}$  oranına bağlı olarak (3.18)'de tanımlanan minimum donatının bulunması zorunludur. Minimum donatı oranının  $f_{ctd} / f_{yd}$  oranına bağlı olmasının nedeni betonun çatlaması durumunda kesitteki kesme kuvvetinin donatı tarafından taşınmasını sağlayabilmektir. Tasarım kesme kuvveti değerinin (3.19)'dan büyük olması halinde asal basınç gerilmelerinin gövde betonunu ezmemesi için kesit boyutları arttırılmalıdır.

$$\frac{A_v}{s} \geq 0.8 \frac{f_{ctd}}{f_{ywd}} b_w \quad (3.18)$$

$$\frac{A_{sh}}{s_h} \geq 0.8 \frac{f_{ctd}}{f_{yd}} b_w$$

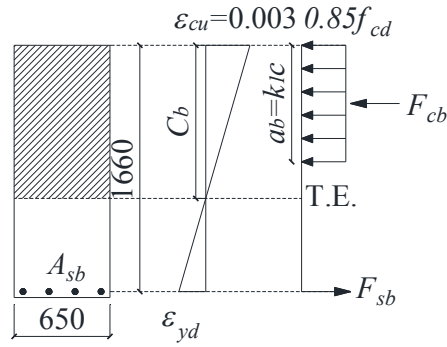
$$(l_n / d) < 2 \text{ ise, } V_d \leq 0.20 f_{cd} b_w d$$

$$2 \leq (l_n / d) \leq 5 \text{ ise, } V_d = 0.017 f_{cd} b_w d (10 + l_n / d) \quad (3.19)$$

### Eğilme donatısı hesabı

Çizelge 3.13 : Arttırılmış moment değerleri.

|                 | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    |
|-----------------|------|------|------|------|------|
| $M_d [-]$ (kNm) | 2178 | -    | 5342 | 137  | 137  |
| $M_d [+]$ (kNm) | 713  | 3051 | -    | 1668 | 1572 |



Şekil 3.8 : Dengeli durum için şekil değiştirme ve gerilmeler.

Dengeli şekil değiştirme durumu için donatı oranı:

$$\varepsilon_{yd} = f_{yd} / E_s = 365 / 2000 = 0.001825$$

$$\frac{c_b}{d} = \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} + \varepsilon_{yd}} = \frac{3}{3 + 1.825} = 0.622$$

$$c_b = 0.622 \times 1660 = 1032.52 \text{ mm}$$

$$a_b = 0.76 c_b = 0.76 \times 1032.52 = 784.72 \text{ mm}$$

$$F_{cb} = 0.85 \times \frac{40}{1.5} \times 650 \times 784.72 \times 10^{-3} = 11561.47 \text{ kN}$$

$$A_{sb} = F_{cb} / f_{yd} = 11561.47 \times 10^3 / 365 = 31675.26 \text{ mm}^2$$

$$\rho_b = \frac{31675.26}{1660 \times 650} = 0.0294$$

$$0.85 \rho_b = 0.85 \times 0.0294 = 0.025$$

$$\rho_{\max} = 0.02$$

$$\rho_{\min} = 0.8 \frac{f_{ctd}}{f_{yd}} = 0.8 \frac{1.47}{365} = 0.0032$$

1 kesiti için donatı hesabı:

$$K = \frac{b_w d^2}{M_d} = \frac{0.65 \times 1.66^2}{2178.19} = 82.2 \times 10^{-5}$$

C40,S420 ve  $K=82.2 \times 10^{-5}$  için,

$$k_s = 2.85 \quad k_x = 0.112 \quad j = 0.960 \quad \varepsilon_c = 1.26\% \quad \varepsilon_s = 10\%$$

$$x = k_x d = 0.112 \times 1660 = 185.92 \text{ mm} \quad z = jd = 0.960 \times 1660 = 1593.60 \text{ mm}$$

$$A_s = \frac{k_s M_d}{d} = \frac{2.85 \times 2178.19}{1.66} \cong 3740 \text{ mm}^2$$

$$\rho = \frac{3752}{650 \times 1660} = 3.47 \times 10^{-3} \begin{cases} > \rho_{\min} = 0.00322 \\ < \rho_{\max} = 0.02 \end{cases}$$

$$A_{s,\text{gerekli}} = 3740 \text{ mm}^2$$

seçilen:  $4\phi 28 + 4\phi 20$  ( $3720 \text{ mm}^2$ )

TS500(2000)'e göre kiriş gövde yüksekliği 600 mm den büyük olması durumunda **(3.20)**'den belirlenen miktardan az olmamak koşulu ile iki yüze eşit olarak en fazla 300 mm aralıkla çapı 10 mm den az olmayan gövde donatıları konulmalıdır. DBYBHY(2007)'ye göre konulacak gövde donatısının çapı 12 mm den, aralıkları 300 mm den ve miktarı sol veya sağ mesnet kesitlerinde üst ve alt donatı oranının toplamının %30 undan az olamaz.

$$A_{sl} = 0.001 b_w d \quad \text{(3.20)}$$

$$A_{sl} = 0.001 \times 650 \times 1660 = 1079 \text{ mm}^2 \quad (\text{TS500})$$

$$\text{kenar açıklık sol mesnet üst donatısı} \quad : \quad 4\phi 28 + 4\phi 20 \quad (3719.64 \text{ mm}^2)$$

$$\text{kenar açıklık sol mesnet alt donatısı} \quad : \quad 4\phi 28 + 4\phi 20 \quad (3719.64 \text{ mm}^2)$$

$$\text{kenar açıklık sol mesnet toplam donatı} \quad : \quad 7439.28 \text{ mm}^2$$

$$\text{kenar açıklık sağ mesnet üst donatısı} \quad : \quad 14\phi 28 + 4\phi 20 \quad (9877.16 \text{ mm}^2)$$

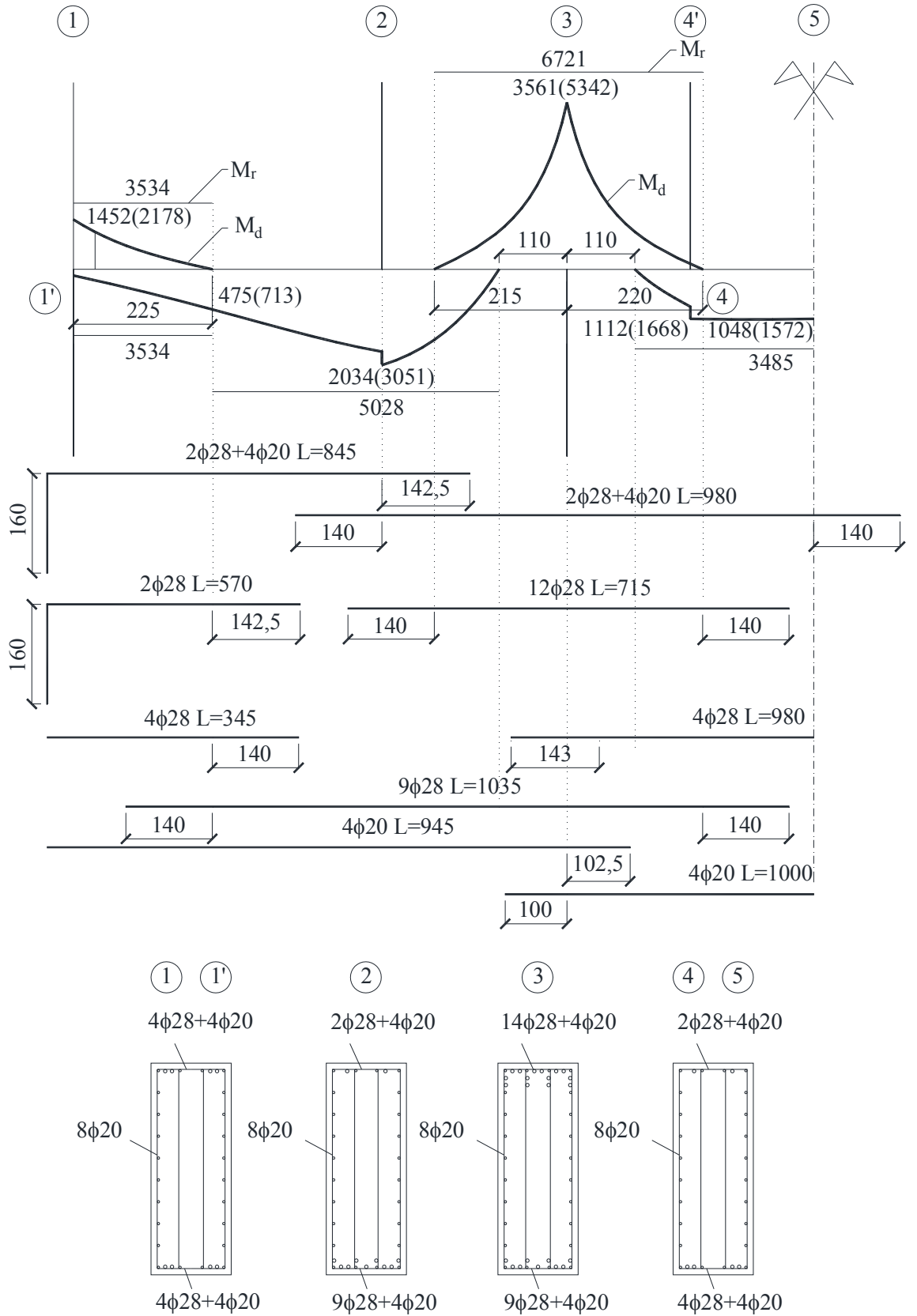
$$\text{kenar açıklık sağ mesnet alt donatısı} \quad : \quad 9\phi 28 + 4\phi 20 \quad (6798.41 \text{ mm}^2)$$

$$\text{kenar açıklık sağ mesnet toplam donatı} \quad : \quad 16675.57 \text{ mm}^2$$

$$A_{sl} = 0.3 \times 16675.57 = 5002.67 \text{ mm}^2 \quad (\text{DBYBHY})$$

seçilen :  $16\phi 20$  ( $5027 \text{ mm}^2$ )  $s=17.5 \text{ cm}$





Şekil 3.9 : Yüksek kiriş boyuna donatılar

**Çizelge 3.14 :** Yüksek kirişte taşıma gücü hesap yöntemine göre eğilme donatısı hesabı.

| kesit | b(mm) | d(mm) | M(kNm) | $K(10^{-5})$ | ks   | kx    | j     | $\epsilon_c(\%)$ | $\epsilon_s(\%)$ | x(mm)  | z(mm)   | $A_{s,gerekli}(mm^2)$ | seçilen                  | $A_{s,seçilen}(mm^2)$ | $\rho$<br>( $10^{-3}$ ) | $\rho_{min}$<br>( $10^{-3}$ ) | kontrol |
|-------|-------|-------|--------|--------------|------|-------|-------|------------------|------------------|--------|---------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------------|---------|
| 1     | 650   | 1660  | 2178   | 82.2         | 2.85 | 0.112 | 0.960 | 1.26             | 10               | 185.92 | 1593.60 | 3740                  | 4 $\phi$ 28+4 $\phi$ 20  | 3720                  | 3.45                    | 3.22                          | uygun   |
| 1'    | 650   | 1660  | 713    | 251.1        | 2.80 | 0.057 | 0.980 | 0.66             | 10               | 94.62  | 1626.80 | 1203                  | 4 $\phi$ 28+4 $\phi$ 20  | 3720                  | 3.45                    | 3.22                          | uygun   |
| 2     | 650   | 1660  | 3051   | 58.6         | 2.88 | 0.135 | 0.951 | 1.57             | 10               | 224.10 | 1578.66 | 5304                  | 9 $\phi$ 28+4 $\phi$ 20  | 6799                  | 6.3                     | 3.22                          | uygun   |
| 3     | 650   | 1660  | 5342   | 33.5         | 2.96 | 0.194 | 0.925 | 2.40             | 10               | 322.04 | 1535.50 | 9525                  | 14 $\phi$ 28+4 $\phi$ 20 | 9877                  | 9.15                    | 3.22                          | uygun   |
| 4     | 650   | 1660  | 1668   | 107.4        | 2.84 | 0.096 | 0.966 | 1.07             | 10               | 159.36 | 1603.56 | 2854                  | 4 $\phi$ 28+4 $\phi$ 20  | 3720                  | 3.45                    | 3.22                          | uygun   |
| 5     | 650   | 1660  | 1572   | 113.9        | 2.83 | 0.093 | 0.967 | 1.03             | 10               | 154.38 | 1605.22 | 2681                  | 4 $\phi$ 28+4 $\phi$ 20  | 3720                  | 3.45                    | 3.22                          | uygun   |

Kiriş iki ucundaki mesnet üst donatılarının büyük olanının en az 1/4'ü tüm kiriş boyunca sürekli olarak devam ettirilecektir (DBYBHY, 2007).

$A'_{s,max}=9877 \text{ mm}^2$  olduğuna göre en az  $2469 \text{ mm}^2$  miktardaki donatının açıklık üst kesitinde bulunması gereklidir. 2 $\phi$ 28+4 $\phi$ 20 ( $2488 \text{ mm}^2$ ) miktarda donatı tüm kesit boyunca yerleştirilmiştir.

**Çizelge 3.15 :** Yüksek kirişte seçilen donatılara göre taşıma gücü momentleri ( $M_r$ ).

| kesit | seçilen donatı          | $A_s'(mm^2)$ | seçilen donatı           | $A_s(mm^2)$ | $f_{ck}$ | $f_{yk}$ | d<br>(mm) | d'<br>(mm) | $b_w$<br>(mm) | $M_r$<br>(kNm) |
|-------|-------------------------|--------------|--------------------------|-------------|----------|----------|-----------|------------|---------------|----------------|
| 1     | 4 $\phi$ 28+4 $\phi$ 20 | 3720         | 4 $\phi$ 28+4 $\phi$ 20  | 3720        | 40       | 420      | 1660      | 40         | 650           | 3534           |
| 2     | 2 $\phi$ 28+4 $\phi$ 20 | 2488         | 9 $\phi$ 28+4 $\phi$ 20  | 6799        | 40       | 420      | 1660      | 40         | 650           | 5028           |
| 3     | 9 $\phi$ 28+4 $\phi$ 20 | 6799         | 14 $\phi$ 28+4 $\phi$ 20 | 9877        | 40       | 420      | 1660      | 40         | 650           | 6721           |
| 4     | 2 $\phi$ 28+4 $\phi$ 20 | 2488         | 4 $\phi$ 28+4 $\phi$ 20  | 3720        | 40       | 420      | 1660      | 40         | 650           | 3485           |

$A_s'$  : Basınç donatısı alanı

$A_s$  : Çekme donatısı alanı

$M_r$  :  $f_{ck}$  ve  $f_{yk}$  kullanılarak hesaplanan taşıma gücü hesap momenti

### Kesme donatısı hesabı

Tasarım kesme kuvveti, düzgün yayılı yük taşıyan kirişlerde, mesnet yüzünden  $0.15l_n$  kadar, tekil yüklü kirişlerde ise,  $0.5a$  kadar uzaklıkta hesaplanır, ancak hiçbir zaman bu uzaklık kiriş faydalı yüksekliğini geçemez. Burada, "a" tekil yükün mesnetten uzaklığıdır (TS500).

Çizelge 3.16 : Kesme kuvveti değerleri.

|                                     | 1        | 2       | 3       | 4       | 5        | 6        | 7       |
|-------------------------------------|----------|---------|---------|---------|----------|----------|---------|
| $V_G$                               | -409.66  | -254.57 | 908.47  | 978.23  | -1160.54 | -1110.08 | -81.27  |
| $V_Q$                               | -157.93  | -130.02 | 383.13  | 393.39  | -412.86  | -406.40  | -16.98  |
| $V_{1.4G+1.6Q}$                     | -826.21  | -565.63 | 1884.87 | 1998.95 | -2285.33 | -2204.35 | -140.95 |
| $V_{\pm Ex \pm 0.3Ey}$              | 251.25   | 251.25  | 248.72  | 248.72  | 464.40   | 464.40   | 149.74  |
| $V_{\pm Ey \pm 0.3Ex}$              | 141.48   | 141.48  | 309.19  | 309.19  | 662.42   | 662.42   | 46.00   |
| $M_{p1}$                            | 4746.00  | -       | -       | 7033.00 | 7033.00  | -        | -       |
| $M_{p2}$                            | 4746.00  | -       | -       | 8630.00 | 8630.00  | -        | -       |
| $l_n$                               | 7.05     | -       | -       | 7.05    | 6.95     | -        | -       |
| $\max(M_{p1} + M_{p2})/l_n$         | 1897.30  | -       | -       | 1897.30 | 2253.67  | -        | -       |
| $V_{G+Q \pm (M_{p1} + M_{p2})/l_n}$ | -2464.89 | -       | -       | 3268.92 | -3827.57 | -        | -       |
| $1.5V_{G+Q \pm Ex \pm 0.3Ey}$       | -1228.26 | -953.76 | 2310.48 | 2430.51 | -3056.70 | -2971.32 | -371.99 |
| $1.5V_{G+Q \pm Ey \pm 0.3Ex}$       | -1063.61 | -789.12 | 2401.19 | 2521.22 | -3353.73 | -3268.35 | -216.38 |
| $V_d$                               | -2464.89 | -953.76 | 2401.19 | 3268.92 | -3827.57 | -2971.32 | -371.99 |

$M_{p1}$  : kirişin ucunda kolon yüzünde  $f_{ck}$ ,  $f_{yk}$  ve çeliğin pekleşmesi gözönüne alınarak hesaplanan pozitif moment kapasitesi.

$M_{p2}$  : kirişin ucunda kolon yüzünde  $f_{ck}$ ,  $f_{yk}$  ve çeliğin pekleşmesi gözönüne alınarak hesaplanan negatif moment kapasitesi.

$M_p$  moment kapasitesi değerleri XTRACT programı ile hesaplanmıştır.

$$V_{cr} = 0.65 \times f_{ctd} \times b_w \times d = 0.65 \times 1.45 \times 650 \times 1650 \times 10^{-3} = 1010.83 \text{ kN}$$

$$V_c = 0.8 \times V_{cr} = 0.8 \times 1010.83 \text{ kN} = 808.67 \text{ kN}$$

$$V_{r,\max} = 0.22 \times f_{ctd} \times b_w \times d = 0.22 \times \frac{40}{1.5} \times 650 \times 1650 \times 10^{-3} = 6292 \text{ kN}$$

$$\rho_{w,\min} = 0.3 \frac{f_{ctd}}{f_{yd}} = 0.3 \frac{1.45}{365} = 1.192 \times 10^{-3}$$

1 kesiti için hesap:

$$V_d = 2464.89 \text{ kN} < 6292 \text{ kN}$$

$$V_{ws} = 2464.89 - 808.67 = 1656.22 \text{ kN}$$

$$s = \frac{n \times A_s \times d \times f_{ywd}}{V_{ws}} = \frac{4 \times 113 \times 1650 \times 365}{1656.22 \times 10^3} \cong 165 \text{ mm} \leq \begin{matrix} 1650/4 = 412.5 \text{ mm} \\ 150 \text{ mm} \\ 8\phi_l = 8 \times 20 = 160 \text{ mm} \end{matrix}$$

seçilen:  $\phi 12/150$

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{s \times b_w} = \frac{4 \times 113}{150 \times 650} = 4.64 \times 10^{-3} > \rho_{w,\min}$$

**Çizelge 3.17** : Yüksek kirişte kesme donatısı hesabı.

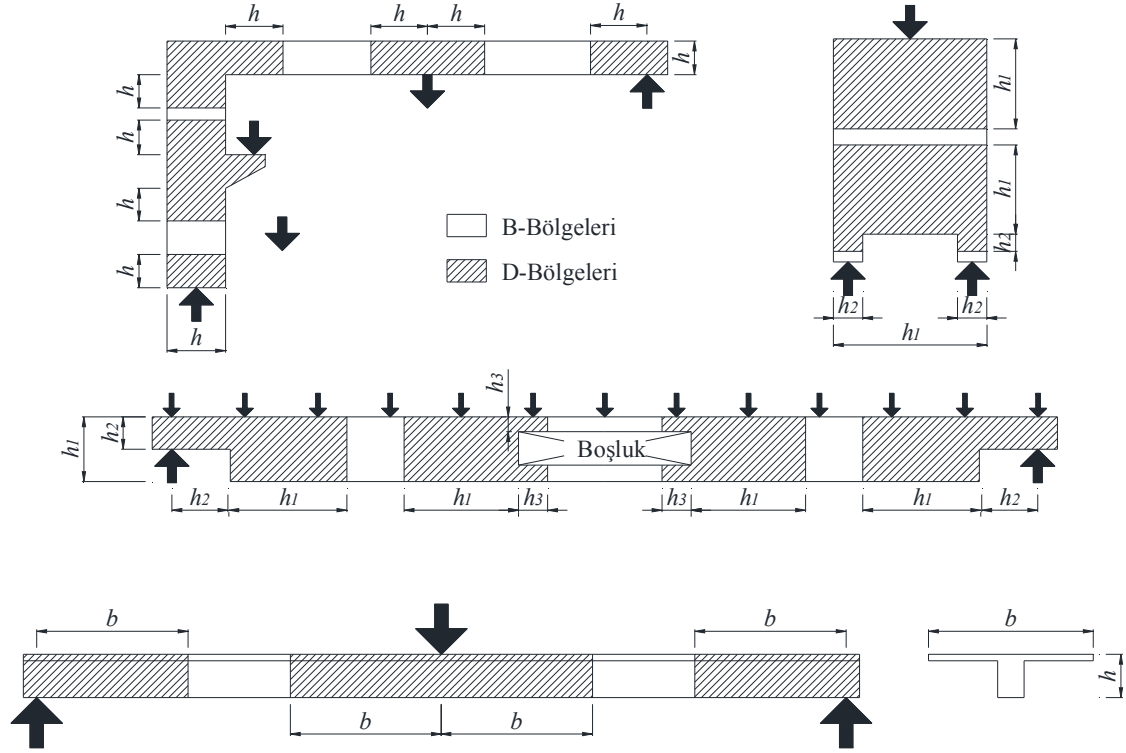
|   | $V_d$ (kN) | $V_{ws}$ (kN) | $s$ (mm) | $s_{\min}$ (mm) | seçilen       | $\rho_w$ ( $10^{-3}$ ) | kontrol |
|---|------------|---------------|----------|-----------------|---------------|------------------------|---------|
| 1 | 2464.89    | 1656.22       | 165.36   | 150             | $\phi 12/150$ | 4.64                   | uygun   |
| 2 | 953.76     | 145.09        | 1887.56  | 150             | $\phi 12/150$ | 4.64                   | uygun   |
| 3 | 2401.19    | 1592.52       | 171.97   | 150             | $\phi 12/150$ | 4.64                   | uygun   |
| 4 | 3268.92    | 2460.25       | 111.32   | 150             | $\phi 12/110$ | 6.32                   | uygun   |
| 5 | 3827.57    | 3018.90       | 90.72    | 150             | $\phi 12/90$  | 7.73                   | uygun   |
| 6 | 2971.32    | 2162.65       | 126.63   | 150             | $\phi 12/120$ | 5.79                   | uygun   |
| 7 | 371.99     | 371.99        | 736.22   | 150             | $\phi 12/150$ | 4.64                   | uygun   |

### 3.3.2.2 Çubuk model yöntemine göre betonarme hesap

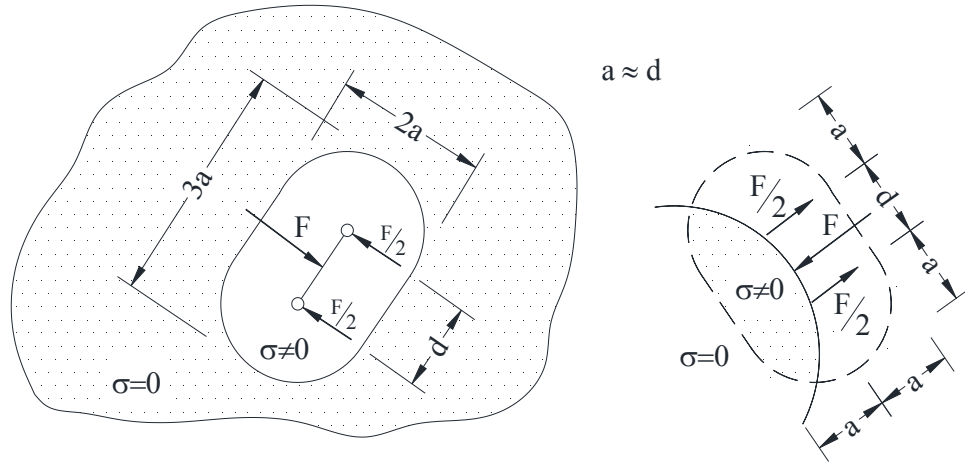
Alışılmış yaklaşım olan, eğilmeden önce düzlem olan kesitlerin eğildikten sonra düzlem kalması prensibine yani Bernoulli-Navier Hipotezine alternatif olarak, çubuk model yöntemi süreksizlik bölgelerinde (D-Bölgeleri, *Disturbed/Discontinuity-Regions*) etkili olarak uygulanabilir. Süreksizlik bölgeleri, inceltilmiş uçlu kirişler, tekil yük uygulanan bölgeler, öngermeli betonarme kirişlerde kablo kuvvetinin uygulandığı bölgeler, çerçeve köşeleri, yüksek kirişler gibi örneklenebilir. Bernoulli-Navier Hipotezinin geçerli olduğu bölgeler B-Bölgeleri (*Beam/Bernoulli-Regions*) olarak adlandırılacaktır. Bir taşıyıcı eleman B ve D bölgelerinden veya sadece D bölgelerinden oluşabilir. D bölgesinin sınırları lineer elastik malzeme davranışı kabulü ile Saint-Venant prensibi ile belirlenebilir. Bu prensibe göre D bölgesinin genişliği elemanın küçük boyutu kadar alınabilir.

Kesme açıklığının küçük olması durumunda dış yük, eğilme etkisinden ziyade kemerlenme etkisi ile mesnetlere aktarılır. Bu tip elemanlarda kesme etkisi daha baskındır. Genelde göçme eğilmeden değil, gövde betonunun kesmeden dolayı

ezilmesinden meydana gelir. Ayrıca kemerlenme etkisinden dolayı, kayma direnci kiriş teorisine göre hesaplanandan daha fazladır.

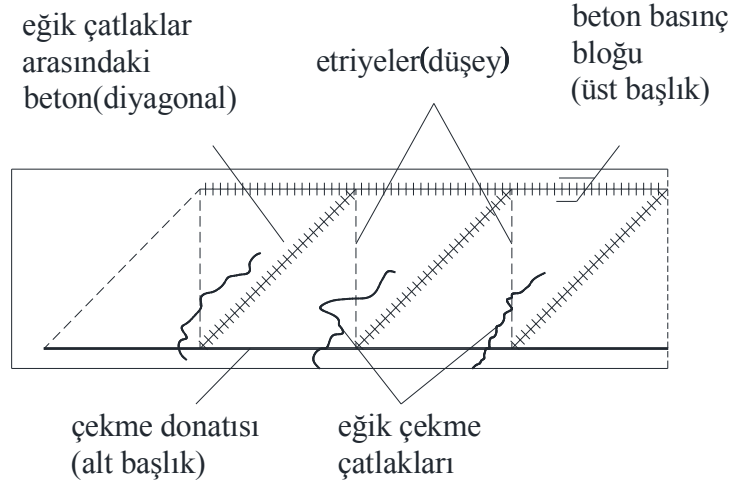


Şekil 3.10 : Betonarme elemanlarda B ve D bölgeleri.



Şekil 3.11 : St. Venant prensibi.

Ritter-Mörsch kafes benzeşimine göre, kayma donatılı betonarme bir kiriş izostatik düğüm noktalarından mafsallı olarak birleşen çubuklardan oluşan bir kafes sistem gibi davranır. Çekme donatısı alt başlık olarak düşünülürse, basınç bloğu bu hayali kafes sistemin üst başlığı olarak düşünülebilir. Ayrıca kirişin gövde kısmındaki düşey etriyeler düşey çekme çubukları gibi çalışırken eğik çekme çatlakları arasında kalan beton da basınç çubukları gibi çalışmaktadır.



**Şekil 3.12 :** Kafes benzeşimi.

Çubuk model ile hesapta betonarme bir sistemi hesaplamak, donatmak konstrüktif olarak teşkil etmek demek, taşıyıcı sistemi eleman boyutları, donatı düzeni, malzeme, yükleme ve mesnetlenme şekli göz önüne alınarak uygun bir çubuk sistemle idealize etmek, çubuk sistemin çubuk kuvvetleri ve düğüm noktalarındaki zorları bulmak ve bu sistemin tüm zorlara karşı güvenlik koşullarını sağladığını göstermektir (Altan ve Taşkın, 2006).

AASHTO LRFD, ACI 318-08, CEB-FIB MC 90, DIN 1045-1 gibi bir çok yönetmelikte çubuk model ile hesaplama ilgili bölüm olmasına karşın yönetmeliklerimizde bununla ilgili bir bölüm bulunmamaktadır. Bu yüzden hesap yaparken başka dökümanlara bakmak gerekir. Yapılan örnek hesapta ACI 318-08 dökümanı esas alınmıştır.

### **Çubuk model yöntemi için ACI318-08 Yönetmeliği'nin koşulları**

ACI yönetmeliğinin çubuk model yöntemi için gerektirdiği koşullar aşağıda açıklanmıştır.

Basınç çubuklarının ve birleşim bölgelerinin dayanımları:

Basınç çubuğunun veya birleşim bölgesinin mevcut dayanımı ( $\phi F_n$ ), talep edilen dayanımdan büyük yada eşit olmalıdır.

$$\phi F_n \geq F_u \quad (3.21)$$

ACI bölüm 9.3.2 de, çubuk model elemanları için  $\phi$  0.75 olarak belirtilmiştir.

Boyuna donatı içermeyen basınç çubuğunun nominal basınç dayanımı  $F_{ns}$  (3.22)'de olduğu şekilde alınır.

$$F_{ns} = f_{cu} A_c \quad (3.22)$$

Burada,

$A_c$  : Basınç çubuğunun bir ucundaki en kesit alanı

$f_{cu}$  : Basınç çubuğunun veya düğüm noktasının betonunun basınç dayanımı

Basınç çubuklarının basınç dayanımı,

$$f_{cu} = 0.85 \beta_s f'_c \quad (3.23)$$

Burada,

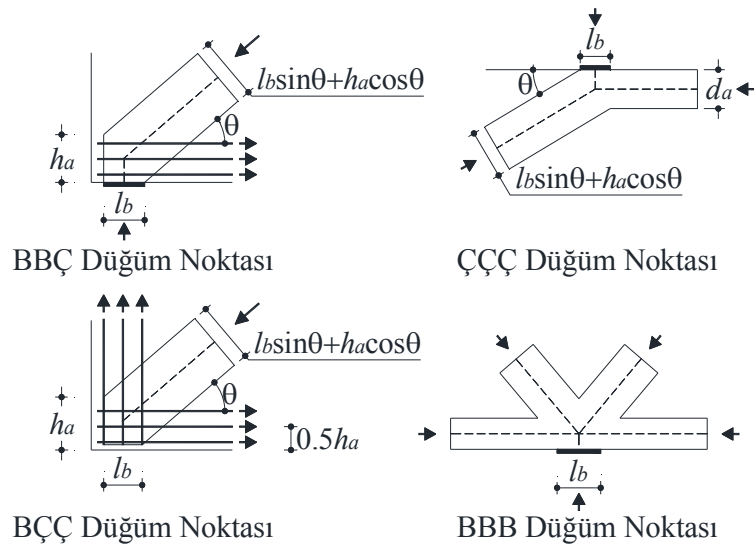
$\beta_s$  : Çatlama ve donatının betonun basınç dayanımına olan etkisini hesaba katmak için kullanılan bir değişkendir. ACI Ek Bölüm A.3.2.2'de farklı durumlar için tanımlanmıştır. 0.4 ile 0.75 arasında değişik değerler almaktadır. Mantık olarak kolon ve kirişlerde dikdörtgen basınç bloğu derinliğini tanımlamak için kullanılan  $k_1$ 'e benzerdir.

Birleşim bölgelerinin basınç dayanımı,

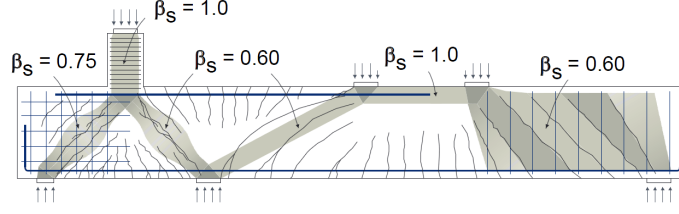
$$f_{cu} = 0.85 \beta_n f'_c \quad (3.24)$$

Burada,

$\beta_n$  : Çekme çubuklarının ankrajının düğüm noktasındaki betonun basınç dayanımına olan etkisini hesaba katmak için kullanılan bir değişkendir. ACI Ek Bölüm A.5.2 de farklı durumlar için tanımlanmıştır. 0.6 ile 1.0 aralığında düğüm noktasına bağlanan çekme çubuğu sayısına göre değişmektedir.



Şekil 3.13 : Birleşim bölgelerinin sınıflandırılması (Mitchell ve diğ. , 2004)



Şekil 3.14 :  $\beta_s$  değişkeninin değişimi.

Çizelge 3.18 : ACI318-08 gerilme limitleri

| Beton Gerilme Limitleri ( $f_{cu}$ ) |   |
|--------------------------------------|---|
|                                      | $f_{cu} = 0.85\beta_s f'_c$   |
|                                      | $\beta_s = 1.0$ Beton basınç bölgesindeki prizmatik basınç alanlarında  |
|                                      | $\beta_s = 0.40$ Beton çekme çubuklarında   |
|                                      | $\beta_s = 0.75$ iki yönde de çatlak kontrolü yapılan basınç çubuklarında   |
|                                      | $\beta_s = 0.60$ bir yönde çatlak kontrolü yapılan basınç çubuklarında  |
| Beton Basınç Çubukları :             | $\beta_s = 0.60$ Diğer durumlarda   |
|                                      | $f'_c$ : Karakteristik beton basınç dayanımı  |
|                                      | $\Sigma\rho_{vi}\chi\sin\gamma_i \geq 0.003$ olması durumunda donatı ile çatlak kontrolü yapıldığı kabul edilecektir. |
|                                      | Burada,   |
|                                      | $\rho_{vi}$ : Beton basınç çubuğunu kesen donatı oranı  |
|                                      | $\gamma_i$ : Donatının beton basınç çubuğu ile yaptığı açı  |
|                                      | $f_{cu} = 0.85\beta_n f'_c$   |
| Düğüm Noktaları :                    | $\beta_n = 1.0$ düğüm noktalarına sadece basınç çubuklarının birleşmesi durumunda                                     |
|                                      | $\beta_n = 0.8$ düğüm noktasında bir adet çekme çubuğu bulunması durumunda  |
|                                      | $\beta_n = 0.6$ düğüm noktasında bir adetten fazla çekme çubuğu bulunması durumunda                                   |
| Gerilme Azalma Faktörü :             | Tüm basınç çubukları, çekme çubukları ve düğüm noktalarında   |
|                                      | $\phi = 0.75$ alınır  |

Çekme çubuklarının dayanımı:

ACI 318 Ek A-4 de, çekme çubuklarının nominal dayanımı (3.25)'e göre belirlenir.

$$F_{nt} = A_{st}f_y + A_{ps}(f_{se} + \Delta f_p) \quad (3.25)$$

Burada,

$A_{st}$  : Öngerilmeli olmayan donatı çekme çubuğunun en kesit alanı

$f_y$  : Öngerilmeli olmayan donatı çekme çubuğunun akma dayanımı



$A_{ps}$  : Öngerilmeli donatı çekme çubuğunun en kesit alanı

$f_{sc}$  : Öngerilmeli donatı çekme çubuğunun akma dayanımı

$\Delta f_p$  : Öngerilme çubuklarına uygulanan germeden dolayı dayanım artışı

Basınç çubuklarının açısı,

Kafes modeli belirlemek için, diyagonal çubukların eğimini belirlemek gerekir. Schlaich ve Weischede'e göre, eğer  $l/d \geq 10$  için eğim yaklaşık  $68^\circ$  den,  $l/d = 2$  için yaklaşık  $55^\circ$  ye kadar değişik değerler alabilir. Bir çok araştırmacının ve şartnamenin eğim için önerdiği farklı sınırlar vardır. Örneğin, ACI'da bu sınırlar  $25^\circ$  ile  $65^\circ$  arasındayken Eurocode'da  $31^\circ$  ile  $59^\circ$  arasındadır. Literatürdeki bir çok örnekte eğim  $45^\circ$  olarak alınmıştır. Küçük açılar seçildiğinde basınç çubuklarının dayanımı azalacağından küçük açılar seçilmemesine dikkat edilmelidir. Alt sınır  $30^\circ$  olarak alınabilir.

### **Çubuk model yöntemi ile ilgili genel bilgiler**

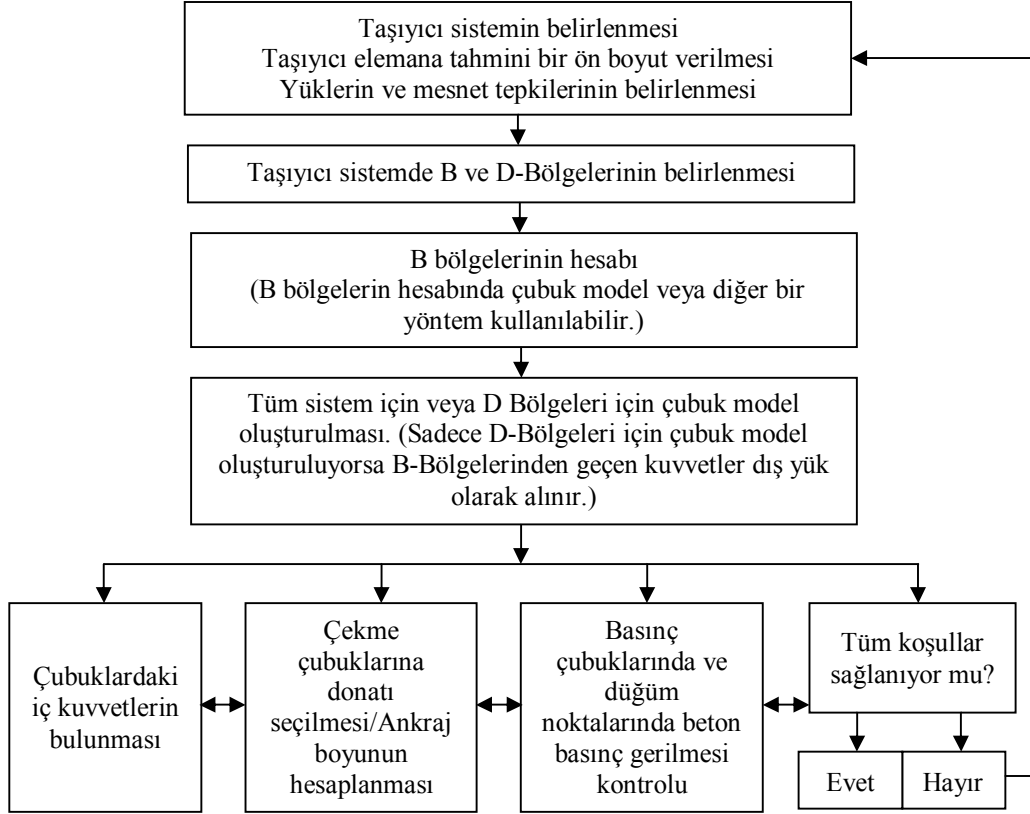
Çubuk model seçimi:

Tasarım yapmak için gerçekte oluşacak asal gerilme doğrultularına uygun kafes sistem seçimi yapmak önemlidir. Başka bir deyişle gerilmelerin en büyük olduğu noktalarda, tesir eden yüklerin artması sonucunda plastik davranışın gözleneceği açıktır. Bu sebeple gerilmelerin en fazla olduğu noktalarda çekme veya basınç çubuklarının asal gerilme doğrultularına yerleştirilip talep edilen dayanım sağlanır ise uygun bir çözüm elde edilir. Gerilmelerin daha az olduğu bölgelerde elemanlar asal gerilme doğrultularından saptırılabilir. Model, elastik analiz sonucu elde edilmiş gerilme yörüngeleri doğrultusunda, kuvvet izi yaklaşımından veya tecrübeye dayalı olarak oluşturulabilir. Birçok kaynakta kafes sistem teşkilinin mühendislikten çok bir sanat olduğu söylenmiştir. Farklı tasarımcıların bir birinden farklı ama uygun kafes sistemler seçebilecekleri söylenebilir. Gerilme yörüngeleri sonlu elemanlar yönetimi ile belirlenip buna uygun bir kafes sistem teşkil edilebilir.

Elemanda çatlaklar ve malzemede plastikleşme başladıktan sonra iç kuvvetler elastisite teorisi ile hesaplanan değerlerden fark eder. Bu durumda eleman yükü olabildiğince küçük kuvvet ve şekil değiştirmelerle taşımaya gayret eder. Seçilecek çubuk modeli de bu minimum şekildeğiştirme prensibine uygun olmalıdır. Taşıyıcı sistemin şekil değiştirmelerinin minimum olması için basınç çubuklarının kısaltmaları yanında çekme çubuklarının (donatı) uzamaları büyük olduğu için modelde

olabildiğince az sayıda boyu kısa çekme çubuğu bulunmasına dikkat edilmelidir (Altan ve Taşkın, 2006). Ayrıca kullanım limit durumlarında, çatlak genişliklerinin kontrolü için oluşabilecek çatlak doğrultularına dik doğrultularda çekme çubuğu bulundurulmalıdır.

Tasarım adımları:



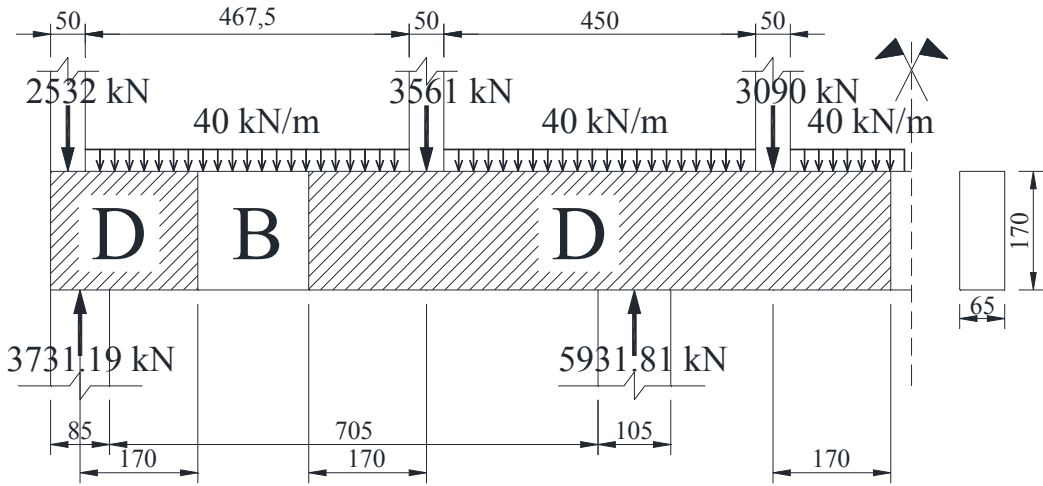
Şekil 3.15 : Çubuk model metodunda hesap adımları.

Çubuk model ile tasarımda yapılan kabuller:

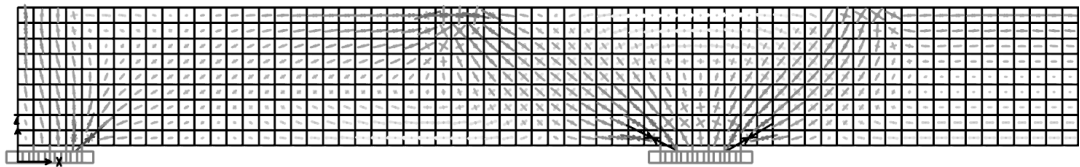
- Çekme çubukları basınç çubuklarından önce dayanımına ulaşır (süneklik için).
- Donatının gerekli kenetlenmesi sağlanmıştır.
- Çekme ve basınç çubuklarındaki kuvvetler ekseneldir.
- Betonun çekme dayanımı ihmal edilir.
- Dış yükler düğüm noktalarından etki eder.
- Ön germe kuvveti dış yük olarak alınır.
- Denge denklemleri sağlanmaktadır.

### Yüksek kirişin çubuk model yöntemine göre hesabı

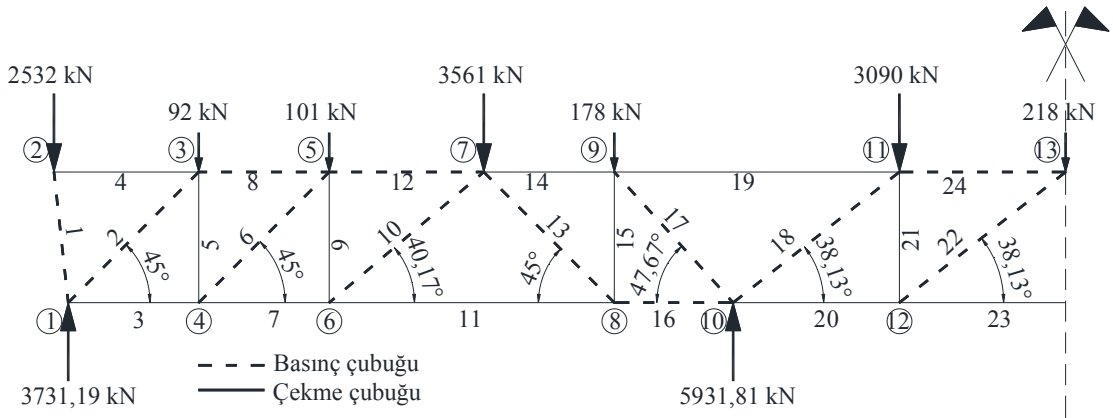
Kirişe verilen ön boyut, yükler, B ve D-Bölgelerinin belirlenmesi şekil 3.16'da gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere B-Bölgesinin az olmasından dolayı tüm sistem için tek bir kafes model oluşturulacaktır. Sonlu elemanlar yöntemi ile gerilme yörüngeleri belirlenmiştir ve buna uygun bir çubuk model geliştirilmiştir. Geliştirilen çubukmodel şekil 3.18'de gösterilmiştir.



Şekil 3.16 : Kiriş ön boyutları, yükleme durumu, B ve D-Bölgeleri.



Şekil 3.17 : Gerilme yörüngeleri.



Şekil 3.18 : Çubuk model.

Gerçekte kirişe mesnetlik yapan kolonlar kirişin uç dönmelerine ve yatay ötelenmelerine karşı direnç gösterecektir. Fakat bu davranışın aksine mesnetlerin kayıcı ve moment mafsallı olduğu kabulü yapılmıştır. Düğüm noktalarının denge denklemlerinden elde edilen çubuk kuvvetleri çizelge 3.19'da verilmiştir.

**Çizelge 3.19 : Çubuk elemanların aksenal kuvvetleri.**

| çubuk adı | Kuvvet (kN) | çubuk adı | Kuvvet (kN) |
|-----------|-------------|-----------|-------------|
| 1         | -2547.1     | 13        | -3959.43    |
| 2         | -1349.53    | 14        | 358.24      |
| 3         | 677.35      | 15        | 2799.74     |
| 4         | 276.91      | 16        | -358.24     |
| 5         | 862.26      | 17        | -4027.78    |
| 6         | -1219.42    | 18        | -5180.78    |
| 7         | 1539.62     | 19        | 3070.45     |
| 8         | -677.35     | 20        | 1004.71     |
| 9         | 761.26      | 21        | 109         |
| 10        | -1180.21    | 22        | -176.53     |
| 11        | 2441.49     | 23        | 1143.56     |
| 12        | -1539.62    | 24        | -1004.71    |

### Eğilme donatılarının hesabı

İlk olarak eğilme donatılarını temsil eden yatay çekme çubuklarına etkiyen kuvvetler doğrultusunda bu bölgeler donatılacaktır. Aşağıda verilen bağıntılar doğrultusunda bu işlem yapılır. Sonuçlar çizelge 3.20'de verilmiştir.

$$\phi F_n \geq F_u \quad (3.26)$$

$$F_n = \phi A_{st} f_y \quad (3.27)$$

$$A_{st} = \frac{F_u}{\phi f_y} \quad (3.28)$$

**Çizelge 3.20 : Yüksek kirişte çubuk model yöntemine göre eğilme donatısı hesabı.**

| çubuk adı | Kuvvet (kN) | As (mm <sup>2</sup> ) | seçilen    | A <sub>s,seçilen</sub> (mm <sup>2</sup> ) | ρ (10 <sup>-3</sup> ) | ρ <sub>min</sub> (10 <sup>-3</sup> ) | kontrol |
|-----------|-------------|-----------------------|------------|---|-----------------------|--------------------------------------|---------|
| 3         | 677.35      | 2150.32               | 4φ28+4φ20  | 3720                                      | 3.45                  | 3.22                                 | uygun   |
| 4         | 276.91      | 879.08                | 4φ28+4φ20  | 3720                                      | 3.45                  | 3.22                                 | uygun   |
| 7         | 1539.62     | 4887.68               | 6φ28+4φ20  | 4951                                      | 4.59                  | 3.22                                 | uygun   |
| 11        | 2441.49     | 7750.76               | 11φ28+4φ20 | 8030                                      | 7.44                  | 3.22                                 | uygun   |
| 14        | 358.24      | 1137.27               | 4φ28+4φ20  | 3720                                      | 3.45                  | 3.22                                 | uygun   |
| 19        | 3070.45     | 9747.46               | 14φ28+4φ20 | 9877                                      | 11.44                 | 3.22                                 | uygun   |
| 20        | 1004.71     | 3189.56               | 4φ28+4φ20  | 3720                                      | 3.45                  | 3.22                                 | uygun   |
| 23        | 1143.56     | 3630.35               | 4φ28+4φ20  | 3720                                      | 3.45                  | 3.22                                 | uygun   |

### Basınç çubuklarının ve düğüm noktalarının kontrolü

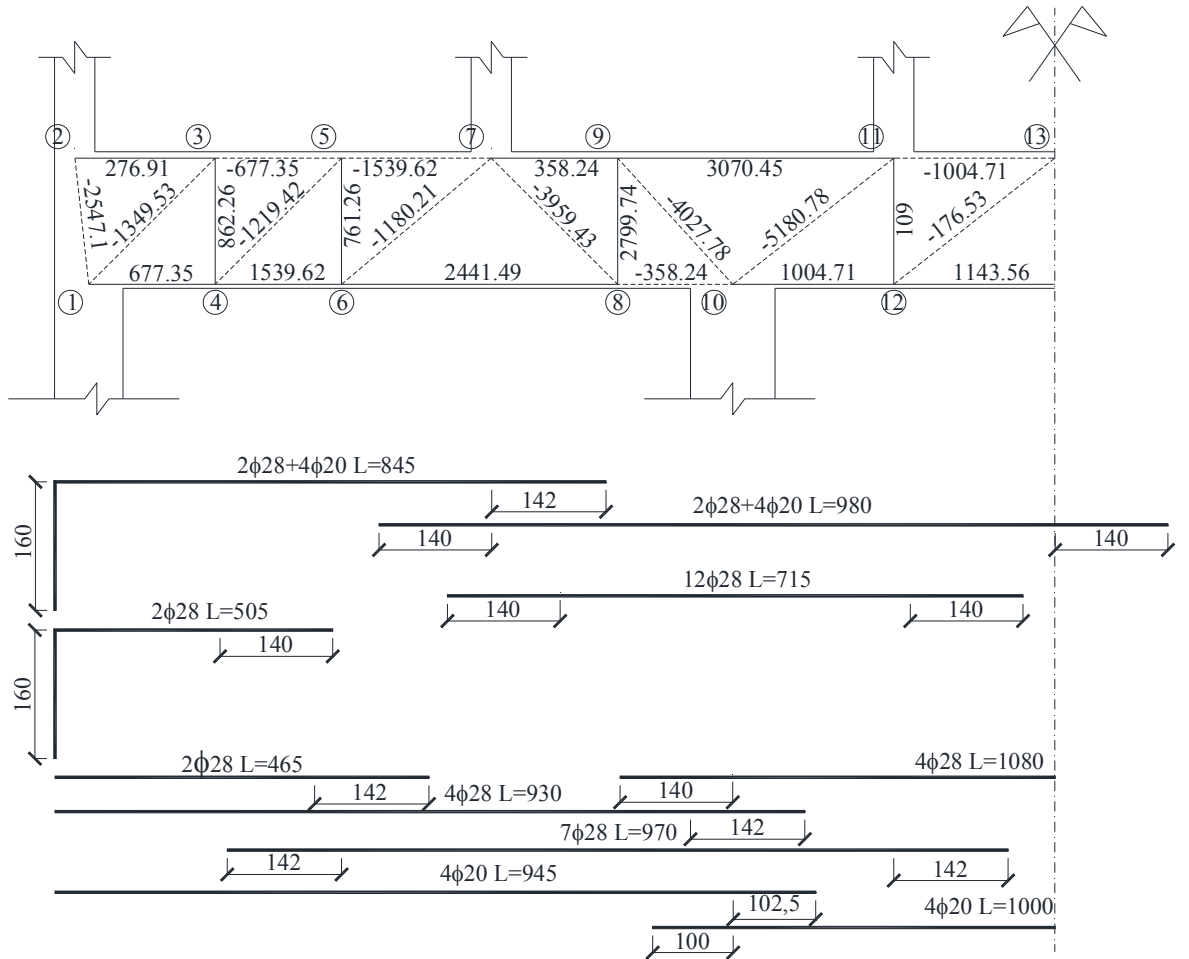
Basınç çubuklarının kontrolünde, belirlenen basınç kuvvetlerinin taşınabilmesi için fiktif basınç çubuklarının yeterli alanının olup olmadığı kontrol edilir. Basınç çubuğunun en kesitinin bir kenarı kiriş genişliği kadar olduğundan diğer kenarı

belirlenip elemanda yerleşim için gerekli alanın olup olmadığı araştırılarak bu kontrol yapılabilir. Burada dikkat edilecek husus, fiktif basınç çubuğunun konumuna uygun olarak bir  $\beta_s$  çarpanının belirlenmesidir. Basınç çubukları kontrol edilmiş ve sonuçlar çizelge 3.21'de verilmiştir.

$\phi F_{ns} \geq F_u$  olduğu hatırlanırsa,  $F_{ns} = f_{cu} b_w w$  ve  $f_{cu} = 0.85 \times \beta_s \times f'_c$  ise,

$$w_{gerekli} = \frac{F_u}{\phi f_{cu}} \quad (3.29)$$

Düğüm noktası kontrolünde ise düğüm noktasına birleşen basınç çubuklarının bu bölgede yeterli taşıma gücüne sahip olup olmadıkları ve bu bölgede birleşen çekme çubuklarının gerekli ankraj boyuna sahip olup olmadıkları araştırılır. Burada dikkat edilecek husus, düğüm noktasına birleşen çekme çubuklarının sayısına göre belirlenen  $\beta_n$  çarpanının uygun olarak belirlenmesidir.



Şekil 3.19 : Yüksek kiriş boyuna donatılar.

**Çizelge 3.21 : Basınç çubuklarının kontrolü.**

| çubuk adı | Kuvvet (kN) | $\beta_s$ | $f_{cu}=0.85\beta_s f'_c$ | $w_g$ (cm) | kontrol |
|-----------|-------------|-----------|---------------------------|------------|---------|
| 1         | -2547.1     | 0.75      | 25.5                      | 20.49      | uygun   |
| 2         | -1349.53    | 0.75      | 25.5                      | 10.86      | uygun   |
| 6         | -1219.42    | 0.75      | 25.5                      | 9.81       | uygun   |
| 8         | -677.35     | 1         | 34                        | 4.09       | uygun   |
| 10        | -1180.21    | 0.75      | 25.5                      | 9.49       | uygun   |
| 12        | -1539.62    | 1         | 34                        | 9.29       | uygun   |
| 13        | -3959.43    | 0.75      | 25.5                      | 31.85      | uygun   |
| 16        | -358.24     | 1         | 34                        | 2.16       | uygun   |
| 17        | -4027.78    | 0.75      | 25.5                      | 32.40      | uygun   |
| 18        | -5180.78    | 0.75      | 25.5                      | 41.68      | uygun   |
| 22        | -176.53     | 0.75      | 25.5                      | 1.42       | uygun   |
| 24        | -1004.71    | 1         | 34                        | 6.06       | uygun   |

**Çizelge 3.22 : Düğüm noktaları  $\beta_n$  çarpanları ve dayanımları.**

| düğüm noktası | $\beta_n$ | $f_{cu}=0.85\beta_n f'_c$ (MPa) |
|---------------|-----------|---------------------------------|
| 1             | 0.8       | 27.2                            |
| 2             | 0.8       | 27.2                            |
| 3             | 0.6       | 20.4                            |
| 4             | 0.6       | 20.4                            |
| 5             | 0.8       | 27.2                            |
| 6             | 0.6       | 20.4                            |
| 7             | 0.8       | 27.2                            |
| 8             | 0.6       | 20.4                            |
| 9             | 0.6       | 20.4                            |
| 10            | 0.8       | 27.2                            |
| 11            | 0.6       | 20.4                            |
| 12            | 0.6       | 20.4                            |
| 13            | 1         | 34                              |

Mesnetlerde kontrol ise mesnet tepkilerinin kolon en kesit alanına bölünüp bu bölgelerdeki  $f_{cu}$  değerleri ile kıyaslanarak yapılabilir.

$$\sigma_{c,1} = \frac{3731.19 \times 10^3}{850 \times 650} = 6.75 \text{ MPa} < 27.2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,2} = \frac{2532 \times 10^3}{500 \times 500} = 10.13 \text{ MPa} < 27.2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,7} = \frac{3561 \times 10^3}{500 \times 650} = 10.96 \text{ MPa} < 27.2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,10} = \frac{5931.81 \times 10^3}{1050 \times 850} = 6.65 \text{ MPa} < 27.2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,11} = \frac{3090 \times 10^3}{500 \times 650} = 9.51 \text{ MPa} < 20.4 \text{ MPa}$$

### Kesme donatısı hesabı

ACI 318 e göre izin verilen en büyük kesme kuvveti madde 11.7.3'te (3.30)'da olduğu gibi verilmiştir. Ayrıca kesme donatısının miktarı madde 11.7.4'te " $A_v \geq 0.0025b_w s$  ve  $s \leq d/5$  ve 30.5 cm den az olmalıdır." şeklinde verilmiştir.

$$V_n = 10\sqrt{f'_c} b_w d \quad (3.30)$$

Yukarıdaki denklemde  $f'_c$  psi cinsinden verilmiştir. (1 Mpa=145.0377 psi)

$$V_n = 0.83 \times \sqrt{40} \times 650 \times 1700 \times 10^{-3} = 5800 \text{ kN}$$

$$V_{\max} = \phi V_n = 0.75 \times 5800 = 4350 \text{ kN kesme kuvveti değerleri bu değerden küçüktür.}$$

Etriye çapı  $\phi 10$  ve kol adedi 4 seçilirse maksimum etriye aralığı aşağıdaki gibi belirlenir.

$$s_{\max} = \frac{4 \times 78.54}{0.0025 \times 650} = 193.38 \cong 190 \text{ mm}$$

5 numaralı düşey çekme çubuğu :

$$F_w = 862.26 \text{ kN Bu } z \times \cot \theta \text{ boyu için toplam kuvvettir. 1 m boy için :}$$

$$F'_{sw} = \frac{V_d}{z \times \cot \theta} = \frac{862.26}{1.57 \times \cot 45} = 549.21 \text{ kN}$$

$$a_{sw} = \frac{F'_{sw}}{\phi \times f'_y} = \frac{549.21 \times 10^3}{0.75 \times 420} = 1743.52 \text{ mm}^2 / \text{m}$$

$$a_{sw} = \frac{A_{sw}}{s} \text{ etriye } \phi 10 \text{ ve kol sayısı 4 olarak alınır ise } A_{sw} = 4 \times \frac{\pi \times 10^2}{4} = 314.16 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{314.16}{1743.52} = 0.18 \text{ m} = 180 \text{ mm} \leq 190 \text{ mm} \rightarrow \text{seçilen : } \phi 10/180$$

9 numaralı düşey çekme çubuğu :

$$F'_{sw} = \frac{761.26}{1.57 \times \cot 40.17} = 409.32 \text{ kN}$$

$$a_{sw} = \frac{409.32 \times 10^3}{0.75 \times 420} = 1299.43 \text{ mm}^2 / \text{m}$$

$$s = \frac{314.16}{1299.43} = 0.24 \text{ m} = 240 \text{ mm} \leq 190 \text{ mm} \rightarrow \text{seçilen : } \phi 10/190$$

15 numaralı düşey çekme çubuğu :

$$F'_{sw} = \frac{2799.74}{1.57 \times \cot 45 + 1.57 \times \cot 47.67} = 933.22 \text{ kN}$$

$$a_{sw} = \frac{933.22 \times 10^3}{0.75 \times 420} = 2962.6 \text{ mm}^2 / \text{m}$$

$$s = \frac{314.16}{2962.6} = 0.11 \text{ m} = 110 \text{ mm} \leq 190 \text{ mm} \rightarrow \text{seçilen : } \phi 10/100$$

21 numaralı düşey çekme çubuğu :

$$F'_{sw} = \frac{109}{1.57 \times \cot 38.13} = 85.56 \text{ kN}$$

$$a_{sw} = \frac{85.56 \times 10^3}{0.75 \times 420} = 271.62 \text{ mm}^2 / \text{m}$$

$$s = \frac{314.16}{271.62} = 1.16 \text{ m} = 1160 \text{ mm} \leq 190 \text{ mm} \rightarrow \text{seçilen} : \phi 10/190$$

Gövde donatısı miktarı ACI 318 madde 11.7.4'te " $A_{vh} \geq 0.0015b_w s_2$  ve  $s_2 d/5$  ve 30.5 cm den az olmalıdır." şeklinde verilmiştir. Gövde donatısı için iki yüze 200 mm ara ile  $\phi 16$  donatılar seçilir ise ;

$$\frac{2 \times \pi \times 16^2 / 4}{650 \times 200} = 0.003 > 0.0015 \text{ olduğu görülür.}$$

Son olarak basınç çubuklarının dayanımını etkileyen  $\beta_s$  çarpanının belirlenmesinde kullanılan yatay ve düşey donatı oranının belirlenmesi gerekir. Başta bu koşulun sağlandığı var sayımı ile  $\beta_s=0.75$  alınmıştır. Bu koşulun sağlanması için iki yöndeki donatıların toplamının (3.31)'i sağlanması gerekir.

$$\sum \frac{A_{si}}{b_s s_i} \sin \alpha_i \geq 0.003 \quad (3.31)$$

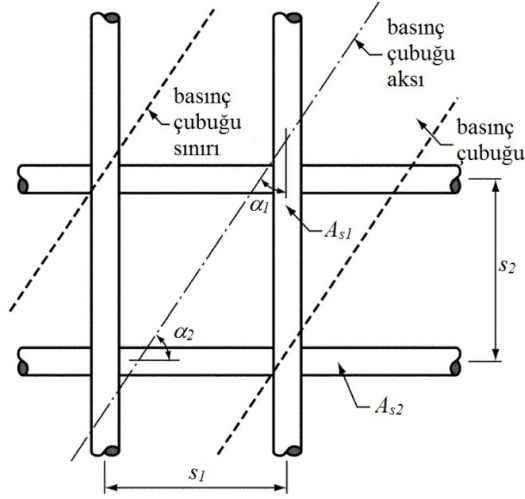
**Çizelge 3.23 : Basınç çubukları için düşey ve yatay donatı kontrolü**

| çubuk adı | Kuvvet (kN) | $\alpha_1$ (derece) | $\alpha_2$ (derece) | $A_{s1}$ (mm <sup>2</sup> ) | $A_{s2}$ (mm <sup>2</sup> ) | $s_1$ (mm) | $s_2$ (mm) | $b_s$ (mm) | $\Sigma(A_{si}/b_s s_i) \sin \alpha_i$ |
|-----------|-------------|---------------------|---------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------|------------|------------|--|
| 1         | -2547.1     | 83.76               | 6.24                | 402.12                      | 314.16                      | 200        | 180        | 650        | 0.0034                                 |
| 2         | -1349.53    | 45                  | 45                  | 402.12                      | 314.16                      | 200        | 180        | 650        | 0.0041                                 |
| 6         | -1219.42    | 45                  | 45                  | 402.12                      | 314.16                      | 200        | 180        | 650        | 0.0041                                 |
| 10        | -1180.21    | 40.17               | 49.8                | 402.12                      | 314.16                      | 200        | 190        | 650        | 0.0039                                 |
| 13        | -3959.43    | 45                  | 45                  | 402.12                      | 314.16                      | 200        | 100        | 650        | 0.0056                                 |
| 17        | -4027.78    | 47.67               | 42.3                | 402.12                      | 314.16                      | 200        | 100        | 650        | 0.0055                                 |
| 18        | -5180.78    | 38.13               | 51.9                | 402.12                      | 314.16                      | 200        | 190        | 650        | 0.0039                                 |
| 22        | -176.53     | 38.13               | 51.9                | 402.12                      | 314.16                      | 200        | 190        | 650        | 0.0039                                 |

Çizelge 3.23'ten görüleceği üzere  $\beta_s=0.75$  seçilmesi uygundur.

Taşıma gücü hesap yönteminden ve çubuk model yönteminden elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında, gerekli eğilme donatısı miktarları hemen hemen aynı bulunmuştur. Fakat çubuk model yönteminde kemerlenme davranışı etkisinin kirişin kayma direncini arttırması nedeni ile, gerekli kesme donatısı miktarı taşıma gücü hesap yönteminde daha fazla bulunmuştur.





Şekil 3.20 : Basınç çubuğunu kesen donatılar.

### 3.3.3 Perdenin Tasarımı

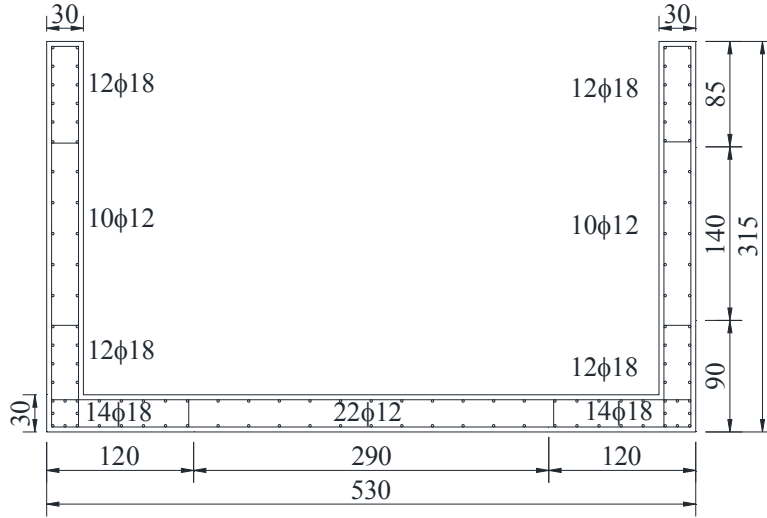
DBYBHY(2007) 3.6.2.1 doğrultusunda  $H_w/l_w > 2.0$  olan U şeklindeki perdenin planında aşağıda gösterildiği gibi perde uç bölgeleri oluşturulmuştur. Kritik perde yüksekliği  $2l_w = 10.60$  m değerini aşmamak üzere denklem (3.32)'deki koşullardan elverişsiz olanını sağlamalıdır. Kritik perde yüksekliği ( $H_{cr}$ ), kat seviyesinde olabilmesi için 12 m alınmıştır.

$$\begin{aligned} H_{cr} &= 12 \text{ m} \geq l_w = 5.30 \text{ m} \\ H_{cr} &= 12 \text{ m} \geq H_w/6 = 13 \text{ m} \end{aligned} \quad (3.32)$$

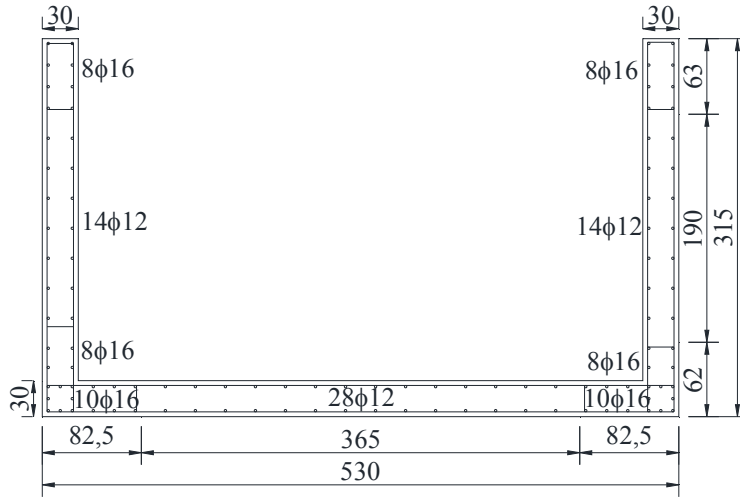
DBYBHY(2007) 3.6.2.3'e göre, dikdörtgen kesitli perdelerde, yukarıda tanımlanan kritik perde yüksekliği boyunca uç bölgelerinin her birinin plandaki uzunluğu, perdenin plandaki toplam uzunluğunun %20'sinden ve perde kalınlığının iki katından az olmayacaktır. Kritik perde yüksekliğinin üstünde kalan perde kesimi boyunca ise, perde uç bölgelerinin her birinin plandaki uzunluğu, perdenin plandaki toplam uzunluğunun %10'undan ve perde kalınlığından az olmayacaktır. U şeklindeki perdenin herbir kolu dikdörtgen perde gibi düşünülmüş ve iki doğrultuda da her bir uç, bu değerlerin üzerinde tutulmuştur.

#### 3.3.3.1 Boyuna donatıların belirlenmesi

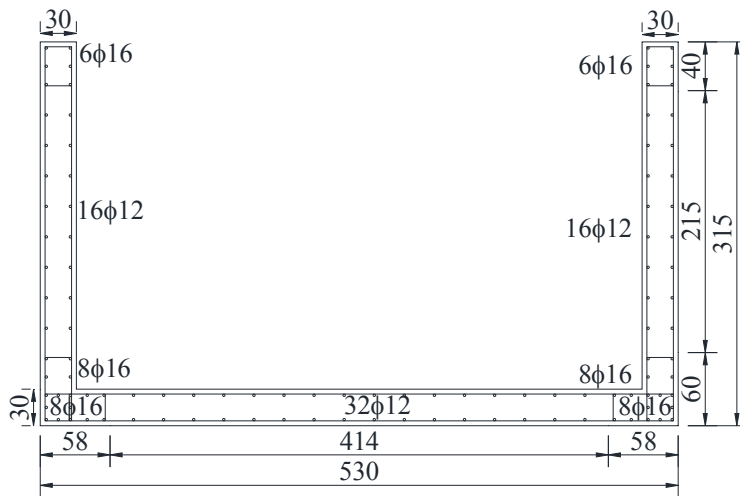
Gerekli boyuna donatı belirlenirken, çeşitli donatı oranları ve düzenleri denenmiş ve bunlardan uygun olanları deneme yanılma yöntemi ile belirlenmiştir. Toplam perde yüksekliği boyunca 3 farklı donatı düzeni kullanılmıştır. Kullanılan perde kesitleri şekil 3.21, 3.22 ve 3.23'te gösterilmiştir. Kritik perde yüksekliği boyunca 1. tip, bu yüksekliğin üzerindeki 9 kat boyunca 2. tip ve son 13 katta 3. tip perde kullanılmıştır.



Şekil 3.21 : 1. tip perde betonarme detayı.



Şekil 3.22 : 2. tip perde betonarme detayı.



Şekil 3.23 : 3. tip perde betonarme detayı.

DBYBHY(2007) 3.6.3'e göre perde gövde donatısı alanı, perde uç bölgeleri arasında kalan perde gövdesi brüt enkesit alanının 0.0025'inden az olamaz. Ayrıca gövdesinde donatı aralığı 250 mm'den fazla olamaz. 3 tip perdede de boyuna donatıların aralıkları 250 mm'dir.

1. tip perde için,

$$\rho_1 = \frac{22 \times 1.13}{290 \times 30} = 0.0029 \geq 0.0025 \quad \rho_2 = \frac{10 \times 1.13}{140 \times 30} = 0.0027 \geq 0.0025$$

2. tip perde için,

$$\rho_1 = \frac{28 \times 1.13}{365 \times 30} = 0.0029 \geq 0.0025 \quad \rho_2 = \frac{14 \times 1.13}{190 \times 30} = 0.0028 \geq 0.0025$$

3. tip perde için,

$$\rho_1 = \frac{32 \times 1.13}{414 \times 30} = 0.0029 \geq 0.0025 \quad \rho_2 = \frac{16 \times 1.13}{215 \times 30} = 0.0028 \geq 0.0025$$

DBYBHY(2007) 3.6.5'e göre perde uç bölgelerinin her birinde, düşey donatının toplam alanının perde brüt enkesit alanına oranı 0.001'den az olmayacaktır. Kritik perde yüksekliğince bu oran 0.002'ye çıkarılacaktır. Perde uç bölgelerinin her birinde düşey donatı miktarı 4 $\phi$ 14'ten az olmamalıdır.

1. tip perde için,

$$\rho_1 = \frac{14 \times 2.55}{530 \times 30} = 0.0023 \geq 0.002 \quad \rho_2 = \frac{12 \times 2.55}{315 \times 30} = 0.0032 \geq 0.002$$

2. tip perde için,

$$\rho_1 = \frac{10 \times 2.01}{530 \times 30} = 0.0013 \geq 0.001 \quad \rho_2 = \frac{8 \times 2.01}{315 \times 30} = 0.0017 \geq 0.001$$

3. tip perde için,

$$\rho_1 = \frac{8 \times 2.01}{530 \times 30} = 0.001 \geq 0.001 \quad \rho_2 = \frac{6 \times 2.01}{315 \times 30} = 0.0013 \geq 0.001$$

### 3.3.3.2 Enine donatıların belirlenmesi

Perdenin her iki yüzündeki enine gövde donatılarının toplam enkesit alanı, perde boyuna gövde donatılarında olduğu gibi perde uç bölgelerinin arasında kalan perde

gövdesi brüt enkesit alanının 0.0025'inden az olmayacaktır. Ayrıca enine donatı aralığı 250 mm'den fazla olmayacaktır. Bu doğrultuda perde gövdesinin her iki yüzüne de kritik perde yüksekliği boyunca A koluna  $\phi 14/200$ , B koluna  $\phi 14/150$  kritik perde yüksekliği üzerine ise iki kola da  $\phi 12/250$  yatay donatı yerleştirilecektir.

$$\frac{2 \times 1.54}{15 \times 30} = 0.0068 \geq 0.0025 \quad \frac{2 \times 1.54}{20 \times 30} = 0.0052 \geq 0.0025 \quad \frac{2 \times 1.13}{20 \times 30} = 0.0038 \geq 0.0025$$

Ayrıca DBYBHY(2007) 3.6.3.3'e göre, uç bölgeleri dışında, perde gövdelerinin her iki yüzündeki donatı ağları, perde yüzünde metrekaeye en az 4 adet özel deprem çirozu ile karşılıklı olarak bağlanmalıdır. Ancak kritik perde yüksekliği boyunca, uç bölgeleri dışındaki perde yüzünde metrekaeye en az 10 adet özel deprem çirozu kullanılmalıdır. Çirozların çapı en az yatay donatı çapı kadar olmalıdır.

DBYBHY(2007) 3.6.5.2'ye göre, perde uç bölgelerindeki düşey donatılar aşağıdaki koşullara uyularak, kolonlarda olduğu gibi etriyeler ve/veya çirozların oluşan enine donatılarla sarılacaktır.

(a) Uç bölgelerinde kullanılacak enine donatının çapı 8 mm'den az olmayacaktır. Etriye kollarının ve/veya çirozların arasındaki yatay uzaklık,  $a$ , etriye ve çiroz çapının 25 katından fazla olmayacaktır.

(b) Kritik perde yüksekliği boyunca perde uç bölgelerine, kolonların sarılma bölgeleri için denklem (3.33)'de belirlenen enine donatının en az  $2/3$ 'ü konulacaktır. Düşey doğrultuda etriye ve/veya çiroz aralığı perde kalınlığının yarısından ve 100 mm'den daha fazla, 50 mm'den daha az olmayacaktır. Bu donatılar, temelin içinde de en az perde kalınlığının iki katı kadar bir yükseklik boyunca devam ettirilecektir.

$$A_{sh} \geq 0.075 s b_k \frac{f_{ck}}{f_{ywk}} \quad (3.33)$$

(c) Kritik perde yüksekliğinin dışında kalan perde uç bölgelerinde düşey doğrultudaki etriye ve/veya çiroz aralığı, perde duvar kalınlığından ve 200 mm'den daha fazla olmayacaktır.

Bu koşullar doğrultusunda, uç bölgesinde enine donatı çapı 1. tip perdede 14mm 2. ve 3. tip perdelerde 12mm olarak seçilmiştir. Kullanılan etriye ve çirozların arasındaki uzaklık seçilen etriye ve çiroz çapının 25 katından az olması gerektiği için bu uzaklıklar 20cm civarında tutulmuştur ( $a \leq 25 \cdot 1.2 = 30\text{cm}$ ). Düşey doğrultuda etriye ve çiroz aralığı 100mm seçilmiştir ( $50\text{mm} \leq s \leq 100\text{mm}$ ).

1. tip perde için,

$$A_{sh,1} = 7 \times 154 = 1078 \text{ mm}^2 \geq \frac{2}{3} \times 0.075 \times 100 \times 1200 \times \frac{40}{420} \cong 571 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh,2} = 6 \times 154 = 924 \text{ mm}^2 \geq \frac{2}{3} \times 0.075 \times 100 \times 850 \times \frac{40}{420} \cong 405 \text{ mm}^2$$

2. tip perde için,

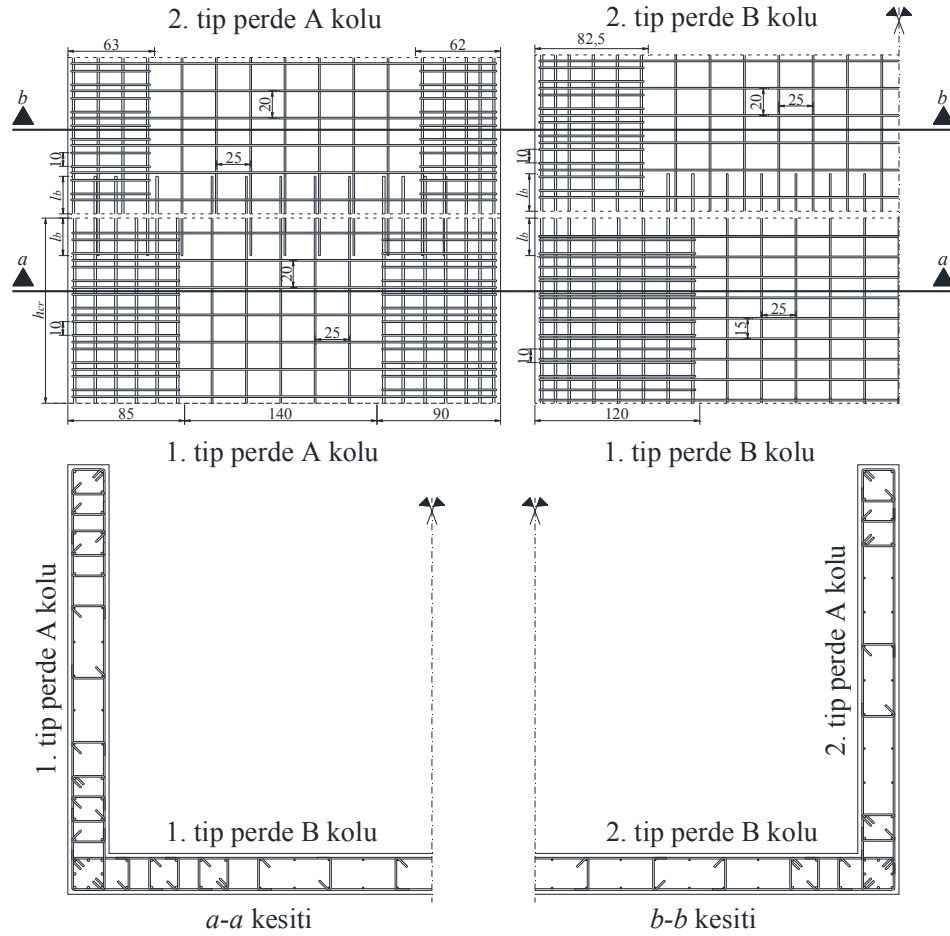
$$A_{sh,1} = 5 \times 113 = 565 \text{ mm}^2 \geq \frac{2}{3} \times 0.075 \times 100 \times 815 \times \frac{40}{420} \cong 388 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh,2} = 4 \times 113 = 452 \text{ mm}^2 \geq \frac{2}{3} \times 0.075 \times 100 \times 620 \times \frac{40}{420} \cong 295 \text{ mm}^2$$

3. tip perde için,

$$A_{sh,1} = 3 \times 113 = 339 \text{ mm}^2 \geq \frac{2}{3} \times 0.075 \times 100 \times 570 \times \frac{40}{420} \cong 271 \text{ mm}^2$$

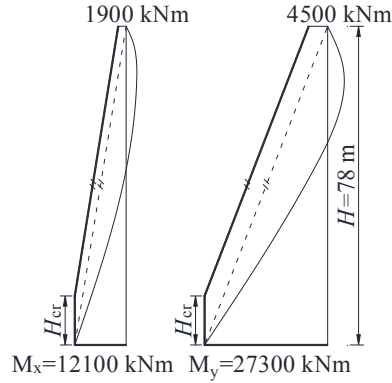
$$A_{sh,2} = 3 \times 113 = 339 \text{ mm}^2 \geq \frac{2}{3} \times 0.075 \times 100 \times 590 \times \frac{40}{420} \cong 281 \text{ mm}^2$$



Şekil 3.24 : 1. tip ve 2. tip perde boyuna ve enine donatı şemaları.

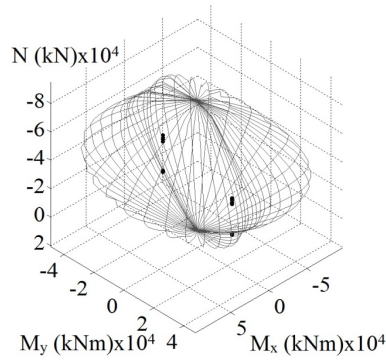
### 3.3.3.3 Eğilme güvenliğinin kontrolü

Tasarım eğilme momentleri DBYBHY(2007) 3.6.6'ya göre depremin her iki doğrultusu için hesaplanmıştır. Tasarıma esas eğilme momentleri diyagramları aşağıda gösterilmiştir.

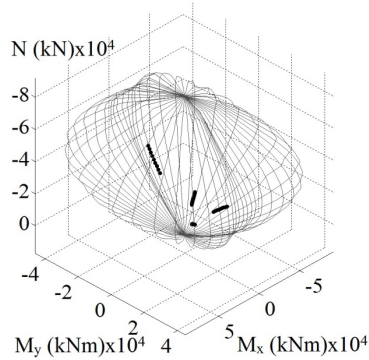


Şekil 3.25 : Perde X ve Y doğrultusu tasarım eğilme momentleri.

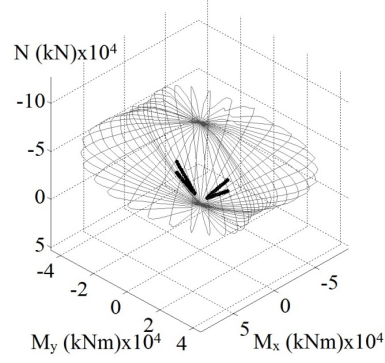
DBYBHY(2007) 2.7.5 denklem 2.12'ye göre hesaplanan perde iç kuvvetleri TS500'e göre çizilen Moment-Eksenel kuvvet karşılıklı etki diyagramlarında gösterilmiştir. Noktalarla gösterilen iç kuvvetlerin hepsinin diyagramın içerisinde kaldığı ve perde eğilme kapasitesinin yeterli olduğu şekil 3.26 3.27 ve 3.28'de gösterilmiştir.



Şekil 3.26 : 1. tip perde  $M_x$ - $M_y$ - $N$  etkileşim diyagramı .



Şekil 3.27 : 2. tip perde  $M_x$ - $M_y$ - $N$  etkileşim diyagramı.



Şekil 3.28 : 3. tip perde  $M_x$ - $M_y$ - $N$  etkileşim diyagramı.

### 3.3.3.4 Kesme güvenliğinin kontrolü

DBYBHY(2007) denklem (3.17)'ye göre perde kesitinin kesme dayanımı  $V_r$  (3.34)'e göre hesaplanır.

$$V_r = A_{ch} (0.65 f_{ctd} + \rho_{sh} f_{ywd}) \quad (3.34)$$

Burada,

$\rho_{sh}$ : Perde gövdesindeki enine donatı oranı

1.tip perde için

$$V_{rx} = 2 \times 3.15 \times 0.3 (0.65 \times 1450 + 0.0052 \times 365 \times 10^3) = 5368.6 \text{ kN}$$

$$V_{ry} = 5.3 \times 0.3 (0.65 \times 1450 + 0.0068 \times 365 \times 10^3) = 5445.0 \text{ kN}$$

2.tip perde için

$$V_{rx} = 2 \times 3.15 \times 0.3 (0.65 \times 1450 + 0.0038 \times 365 \times 10^3) = 4402.8 \text{ kN}$$

$$V_{ry} = 5.3 \times 0.3 (0.65 \times 1450 + 0.0038 \times 365 \times 10^3) = 3703.9 \text{ kN}$$

DBYBHY(2007) 3.6.6.3 denklem (3.16)'ya göre enine donatı hesabına esas alınacak tasarım kesme kuvveti  $V_e$  (3.35)'e göre hesaplanır.

$$V_e = \beta_v \frac{(M_p)_t}{(M_d)_t} V_d \quad (3.35)$$

Burada,

$\beta_v$  : Kesme kuvveti dinamik büyütme katsayısı "1.5" olarak alınmalıdır.

$(M_p)_t$  : Perdenin taban kesitinde  $f_{ck}$ ,  $f_{yk}$  ve çeliğin pekleşmesi gözönüne alınarak hesaplanan moment kapasitesidir. Daha kesin hesap yapılmadıkça  $(M_p)_t = 1.25(M_r)_t$  alınabilir.

$(M_r)_t$  : Perdenin taban kesitinde  $f_{cd}, f_{yd}$  kullanılarak hesaplanan momenttir.

$(M_d)_t$  : Perdenin taban kesitinde yük katsayıları ile çarpılmış düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında bulunan hesap momentidir

$V_d$  : Perdenin taban kesitinde yük katsayıları ile çarpılmış düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında bulunan hesap kesme kuvvetidir.

Ayrıca düşey yüklerle birlikte  $R_a=2$  alınarak hesaplanan kesme kuvvetinin  $V_e$ 'den küçük olması durumunda tasarım kesme kuvveti olarak  $R_a=2$  alınarak hesaplanan kesme kuvveti kullanılmalıdır.

y doğrultusu için:

$f_{ck}, f_{yk}$  ve çeliğin pekleşmesi gözönüne alınarak oluşturulan karşılıklı etki diyagramında  $N_{max}=36411$  kN için taban kesitinde moment kapasitesi  $(M_p)_t$ , 110635 kNm olarak bulunmuştur.

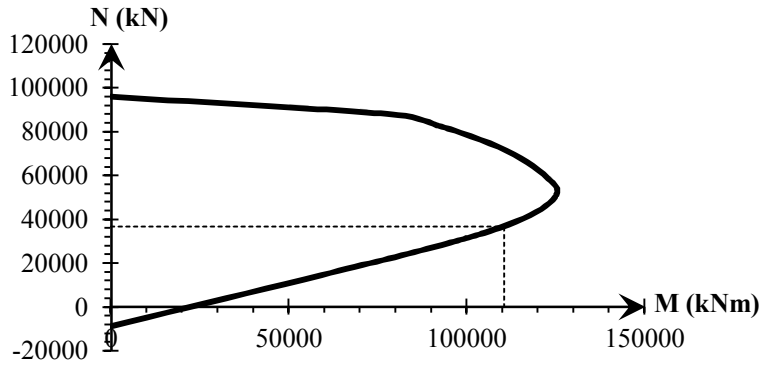
$$(M_d)_t = 27216.62 \text{ kNm}$$

$$V_{dy} = 1757.74 \text{ kN}$$

$$V_{ey} = 1.5 \frac{110635}{27216.62} 1757.74 = 10717.77 \text{ kN}$$

$$V = 5367.64 \text{ kN} \text{ (} R_a=2 \text{ alınarak hesaplanan kesme kuvveti)}$$

$V_{ey} > V$  olduğundan hesaplarda kullanılacak kesme kuvveti,  $V_{ey} = 5367.64 \text{ kN}$ 'dur.



**Şekil 3.29** : y doğrultusu için karşılıklı etki diyagramı.

DBYBHY(2007) 3.6.7.1 denklem (3.18)'e göre  $V_e$  denklem (3.36)'da verilen koşulları sağlamalıdır.

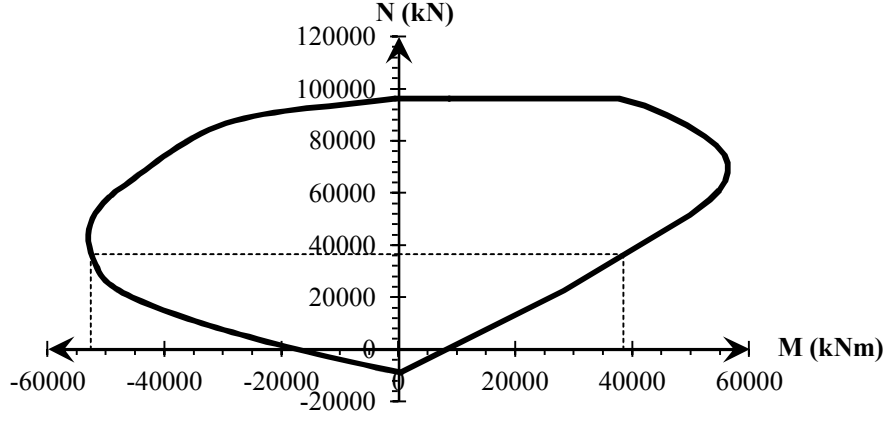
$$\begin{aligned} V_e &\leq V_r \\ V_e &\leq 0.22 A_{ch} f_{cd} \end{aligned} \quad (3.36)$$



$$V_{ey} = 5367.64 \text{ kN} < V_{ry} = 5445 \text{ kN}$$

$$V_{ey} = 5367.64 \text{ kN} < 0.22 \times (0.30 \times 5.30) \times \frac{40000}{1.5} = 9328 \text{ kN}$$

x doğrultusu için:



Şekil 3.30 : x doğrultusu için karşılıklı etki diyagramı.

$$(M_p)_t = 52543 \text{ kNm}$$

$$(M_d)_t = 12210.68 \text{ kNm}$$

$$V_{dx} = 1651.26 \text{ kN}$$

$$V_{ex} = 1.5 \frac{52543}{12210.68} 1651.26 = 10658.15 \text{ kN}$$

$$V = 4998.60 \text{ kN} \text{ ( } R_a=2 \text{ alınarak hesaplanan kesme kuvveti)}$$

$V_{ex} > V$  olduğundan hesaplarda kullanılacak kesme kuvveti,  $V_{ey}=4998.60 \text{ kN}$ 'dur.

$$V_{ex} = 4998.60 \text{ kN} < V_{rx} = 5368.60 \text{ kN}$$

$$V_{ex} = 4998.60 \text{ kN} < 0.22 \times (2 \times 0.30 \times 3.15) \times \frac{40000}{1.5} = 11088 \text{ kN}$$

Kesme sürtünmesi kontrolü

TS500 denklem (8.8)'e göre iki ayrı malzemenin birleştiği düzlemlerde veya ayrı zamanlarda dökülmüş iki beton yüzeyinin birleştiği düzlemlerde kesme sürtünmesi kontrolü yapılmalıdır. Kesme sürtünmesi kontrolü yapılacak düzlemde, önce bir çatlak olduğu varsayılır. Kesme sürtünmesi için (3.37)'de verilen koşul sağlanmalıdır.

$$V_r = A_{wf} f_{yd} \mu \quad (3.37)$$

Burada,

$A_{wf}$  : Birleşme düzlemine dik toplam donatı alanı

$\mu$  : Kesme sürtünme katsayısı çeşitli durumlar için aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

**Çizelge 3.24** : Değişik durumlar için kesme-sürtünme katsayısı.

|  |           |
|--|-----------|
| Bir döküm beton (monolitik)  | $\mu=1.4$ |
| Sertleşmiş beton ile yeni betonun birleştiği yüzeylerde pürüzlendirilmiş yüzey (pürüz $\geq 5$ mm) | $\mu=1.0$ |
| Pürüzlendirilmemiş yüzey   | $\mu=0.6$ |
| Çelik profil ve betonun birleştiği yüzeylerde  | $\mu=0.7$ |

$$A_{wf} = 4 \times (12\phi 18) + 2 \times (10\phi 12) + 2 \times (14\phi 18) + 22\phi 12 \cong 24090 \text{ mm}^2$$

$$V_r = 24090 \times 365 \times 1.0 \times 10^{-3} = 8792.85 \text{ kN}$$

$$V_{ex} = 5284.14 \text{ kN} \leq 8792.85 \text{ kN}$$

$$V_{ey} = 4998.60 \text{ kN} \leq 8792.85 \text{ kN}$$

Yukarıda her iki doğrultu içinde perdenin kesme kontrolü yapılmış ve (3.37)'de verilen koşulun sağlandığı görülmüştür.

### 3.3.4 Bağ Kirişlerinin Tasarımı

DBYBHY(2007) 3.6.8.4' e göre (3.38)'deki koşulların herhangi birinin sağlanması durumunda, bağ kirişlerinin kesme donatısı hesabı süneklik düzeyi yüksek kirişlerin kesme güvenliğinin sağlanmasına benzer şekilde kapasite tasarımı yaklaşımına göre yapılabilir.

$$l_n = 2 \text{ m} > 3h_k = 3 \times 0.6 = 1.8 \text{ m}$$

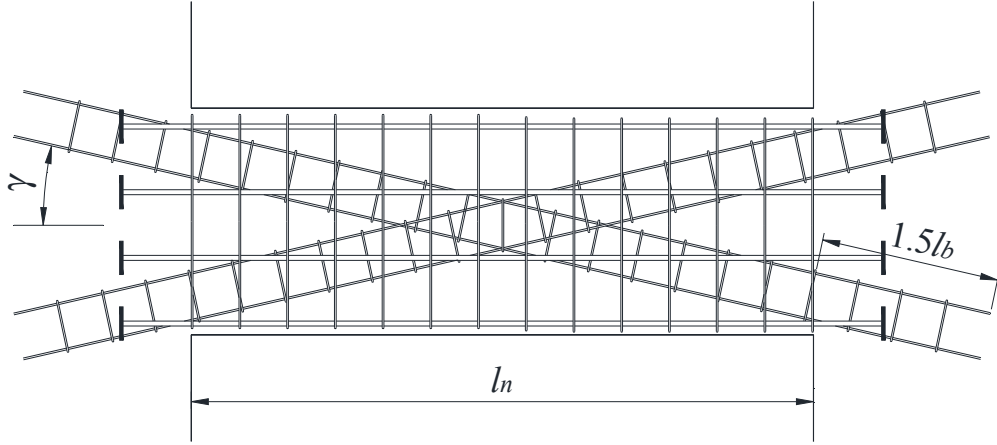
$$V_d = 330 \text{ kN} \leq 1.5b_w d f_{ctd} = 1.5 \times 0.30 \times 0.60 \times 1.45 \times 10^3 = 391.5 \text{ kN} \quad (3.38)$$

NOT: Burada  $V_d$  olarak düşey yük ve deprem yüklemesinden elde edilen ve yeniden dağılımı yapılan kesme kuvveti değeri alınmıştır.

Eğer bu iki koşul sağlanamıyor ise bağ kiriş yüksek kiriş olarak dikkate alınmalıdır. Bilindiği üzere yüksek kirişlerde kesme etkisi daha baskındır ve bu doğrultuda bağ kirişlere çapraz donatılar konmalıdır. Her bir çapraz donatı demetindeki toplam donatı alanı (3.39)'u sağlamalıdır.

$$A_{sd} = V_d / (2f_{yd} \sin \gamma) \quad (3.39)$$

Çapraz donatı demetlerinde en az dört adet donatı bulunmalıdır ve bu donatılar perde parçalarının içine doğru en az  $1.5\ell_b$  kadar uzatılmalıdır. Donatı demetleri özel deprem etriyeleri ile sarılmalı ve kullanılacak etriyelerin çapı 8 mm'den, aralığı ise çapraz donatı çapının 8 katından ve 100 mm'den daha fazla olmamalıdır. Çapraz donatılara ek olarak, bağ kirişine TS-500'de öngörülen minimum miktarda etriye ve yatay donatı konulmalıdır.



**Şekil 3.31** : Çapraz donatılı bağ kirişi donatı düzeni.

Tasarımı yapılacak olan bağ kirişleri DBYBHY(2007)'deki koşulları sağladığından, kesme donatısının hesabı kapasite tasarımı ilkesine göre yapılacaktır. Bağ kirişlerinin, kirişlerin ve kolonların tasarımı SAP2000 v15.1.0 programı ile TS500 ve DBYBHY(2007)'ye uygun olarak yapılmıştır. Bir adet kirişin ve bir adet kolonun tasarımı açık olarak yapıp program sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

### 3.3.5 Kirişlerin Tasarımı

Aşağıda örnek olarak K102 kirişinin tasarımı yapılmış ve SAP2000 ile karşılaştırılmıştır.

#### 3.3.5.1 Eğilme donatısı hesabı

$$M_d = 147.97 \text{ kNm}$$

$$F_c = 0.85f_{cd}b_w a = 0.85 \times (40/1.5) \times 780 \times a \times 10^{-3} = 17.68a$$

$$M_d = F_c(d - a/2) \rightarrow a = 11.72 \text{ mm}$$

$$F_c = 207.21 \text{ kN}$$

$$F_s = F_c$$

$$F_s = (f_{yk} / 1.15) \times A_s \rightarrow A_s = 567.36 \text{ mm}^2 \text{ (SAP2000 } 567.32 \text{ mm}^2)$$

$$0.8 \frac{f_{ctd}}{f_{yd}} = 0.8 \frac{0.35\sqrt{40} / 1.5}{420 / 1.15} = \rho_{\min} = 3.233 \times 10^{-3} \leq \rho = 2.627 \times 10^{-3} \leq \rho_{\max} = 0.02$$

$$A_s = 3.233 \times 10^{-3} \times 720 \times 300 = 698.33 \text{ mm}^2 \text{ (SAP2000 698.23 mm}^2\text{)}$$

$$M_d = -295.93 \text{ kNm}$$

$$F_c = 0.85 f_{cd} b_w a = 0.85 \times (40 / 1.5) \times 300 \times a \times 10^{-3} = 6.8a$$

$$M_d = F_c (d - a / 2) \rightarrow a = 63.22 \text{ mm}$$

$$F_c = 429.90 \text{ kN}$$

$$F_s = F_c$$

$$F_s = (f_{yk} / 1.15) \times A_s \rightarrow A_s = 1177.11 \text{ mm}^2 \text{ (SAP2000 1177.08 mm}^2\text{)}$$

$$\rho_{\min} = 0.0032 \leq \rho = 0.0041 \leq \rho_{\max} = 0.02$$

Concrete Design Data TS 500-2000

File

Units: N, mm, C

TS 500-2000 BEAM SECTION DESIGN Type: HIGH DUCTILE Units: N, mm, C (Flexural Details)

L=8000.000  
 Element : 531 D=750.000 B=300.000 bf=780.000  
 Station Loc : 600.000 ds=150.000 dct=30.000 dcb=30.000  
 Section ID : K102-K111 E=34000.000 fck=40.000 Lt.Wt. Fac.=1.000  
 Combo ID : DSX1 Fyk=420.000 Fywk=420.000

Gamma(Concrete): 1.500  
 Gamma(Steel) : 1.150  
 Gamma(Shear) : 1.250

FLEXURAL REINFORCEMENT FOR MOMENT, Md3

|                  | Required Rebar | +veMoment Rebar | -veMoment Rebar | Minimum Rebar |
|------------------|----------------|-----------------|-----------------|---------------|
| Top (+2 Axis)    | 1177.079       | 0.000           | 1177.079        | 698.231       |
| Bottom (-2 Axis) | 698.231        | 567.318         | 0.000           | 698.231       |

Design Moments, Md3

| Design +veMoment | Design -veMoment | Factored +veMoment | Factored -veMoment | Special +veMoment | Special -veMoment |
|------------------|------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------|
| 147966011        | -295932021       | 76707420.          | -295932021         | 147966011         | -295932021        |

Şekil 3.32 : SAP2000 kiriş eğilme donatısı hesabının özeti.

### 3.3.5.2 Kesme donatısı hesabı

$$F_c = F_s = 1.25 f_{yk} A_s = 1.25 \times 420 \times 698.23 \times 10^{-3} = 366.57 \text{ kN}$$

$$F_c = 0.85 f_{ck} b_w a = 0.85 \times 40 \times 780 \times a \times 10^{-3} \rightarrow a = 13.82 \text{ mm}$$

$$M_p = F_c \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_p = 366570 \times \left( 720 - \frac{13.82}{2} \right) \times 10^{-6} = 261.40 \text{ kNm (SAP2000 } M_{pos} = 261.397 \text{ kNm)}$$

$$F_c = F_s = 1.25 f_{yk} A_s = 1.25 \times 420 \times 1177.08 \times 10^{-3} = 617.97 \text{ kN}$$

$$F_c = 0.85 f_{ck} b_w a = 0.85 \times 40 \times 300 \times a \times 10^{-3} \rightarrow a = 60.59 \text{ mm}$$

$$M_p = 617970 \times \left( 720 - \frac{60.59}{2} \right) \times 10^{-6} = 426.22 \text{ kNm (SAP2000 } M_{neg} = 426.22 \text{ kNm)}$$

$$V_g = 77.14 \text{ kN (G+Q yüklemesi)}$$

$$V_e = 77.14 + \frac{261.40 + 426.22}{6.8} = 178.26 \text{ kN (SAP2000 } V_d = 178.26 \text{ kN)}$$

Concrete Design Data TS 500-2000

File Units: N, mm, C

TS 500-2000 BEAM SECTION DESIGN Type: HIGH DUCTILE Units: N, mm, C (Shear Details)

L=8000.000  
 Element : 531 D=750.000 B=300.000 bf=780.000  
 Station Loc : 600.000 ds=150.000 dct=30.000 dcb=30.000  
 Section ID : K102-K111 E=34000.000 fck=40.000 Lt.Wt. Fac.=1.000  
 Combo ID : DSX1 fyk=420.000 fyyk=420.000

Gamma(Concrete): 1.500  
 Gamma(Steel): 1.150  
 Gamma(Shear): 1.250

SHEAR/TORSION DESIGN FOR Ud2 and T

| Rebar | Rebar | Rebar | Design     | Design     | Design     | Design |
|-------|-------|-------|------------|------------|------------|--------|
| Asw   | Aot   | As1   | Ud         | Td         | Md         | Nd     |
| 0.678 | 0.000 | 0.000 | 178261.185 | 669392.435 | -295932021 | 0.000  |

Design Forces

| Factored Ud | Factored Hd | Capacity Up | Gravity Ug |
|-------------|-------------|-------------|------------|
| 138279.029  | 76707420.   | 101119.707  | -77141.477 |

Capacity Moment (Left)

| Long.Rebar As(Bot) | Long.Rebar As(Top) | Cap.Moment Mpos | Cap.Moment Mneg |
|--------------------|--------------------|-----------------|-----------------|
| 698.231            | 1177.079           | 261397828       | 426216182       |

Capacity Moment (Right)

| Long.Rebar As(Bot) | Long.Rebar As(Top) | Cap.Moment Mpos | Cap.Moment Mneg |
|--------------------|--------------------|-----------------|-----------------|
| 698.231            | 1176.972           | 261397828       | 426179004       |

Design Basis

| Design Ud  | Conc.Area Ac | Area Ag    | Tensn.Rein Ast | Strength FywK | Strength fck | LtWt.Reduc Factor |
|------------|--------------|------------|----------------|---------------|--------------|-------------------|
| 178261.185 | 216000.000   | 225000.000 | 1177.079       | 420.000       | 40.000       | 1.000             |

Shear Rebar Design

| Stress v | Conc.Cpcty vc | Uppr.Limit v <sub>max</sub> | RebarArea Av | Shear Uc | Shear Us   | Shear Un   |
|----------|---------------|-----------------------------|--------------|----------|------------|------------|
| 0.825    | 0.767         | 5.867                       | 0.678        | 0.000    | 178261.185 | 178261.185 |

Torsion Capacity

| Torsion Td | Critical Tcr | Conc.Area Ae | Perimeter ue |
|------------|--------------|--------------|--------------|
| 669392.435 | 22877497.7   | 165600.000   | 1860.000     |

Şekil 3.33 : SAP2000 kiriş kesme donatısı hesabının özeti.

$$v = V_d / A_c = \frac{178.26 \times 10^3}{300 \times 720} = 0.825 \text{ MPa (SAP2000 } v=0.825 \text{ MPa)}$$

$$v_c = V_c / A_c = \frac{0.8 \times 0.65 \times (0.35 \sqrt{40} / 1.5) \times 300 \times 720}{300 \times 720} = 0.767 \text{ MPa}$$

$$\text{(SAP2000 } v_c = 0.767 \text{ MPa)}$$

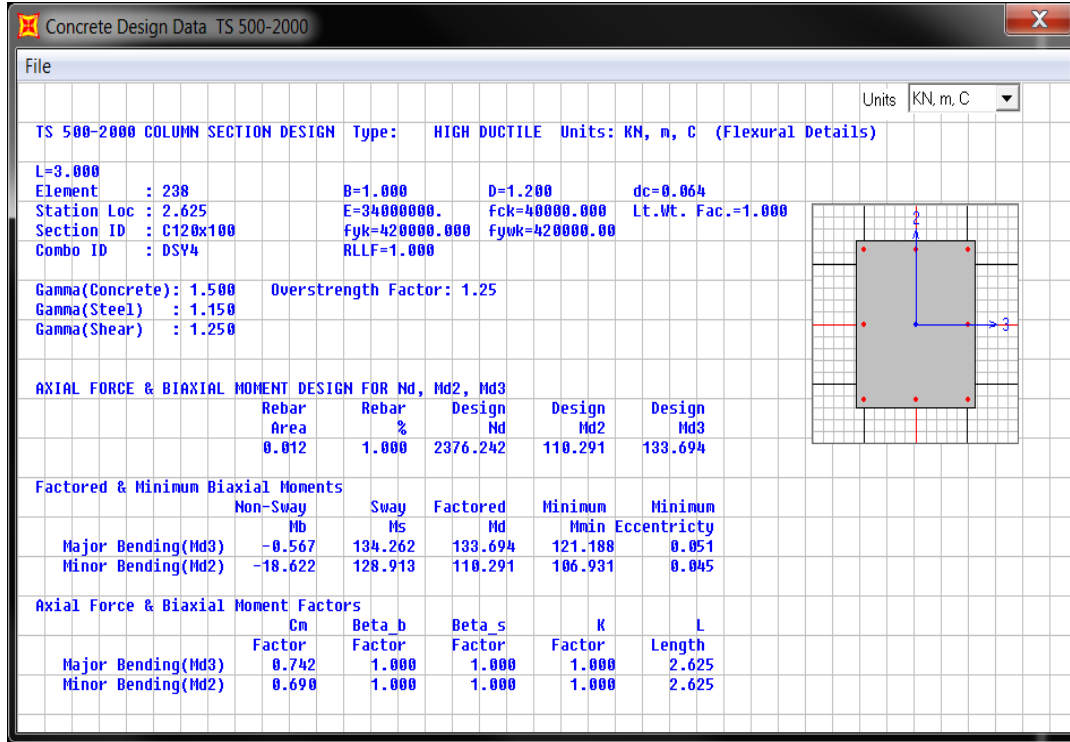
$$v_{max} = V_{max} / A_c = \frac{0.22 \times 40 / 1.5 \times 300 \times 720}{300 \times 720} = 5.867 \text{ MPa (SAP2000 } v_{max} = 5.867 \text{ MPa)}$$

$$A_{sw} = 178.26 / (365.2 \times 730) = 0.678 \text{ mm}^2 / \text{mm (SAP 2000 } A_v = 0.678 \text{ mm}^2 / \text{mm)}$$

### 3.3.6 Kolonların Tasarımı

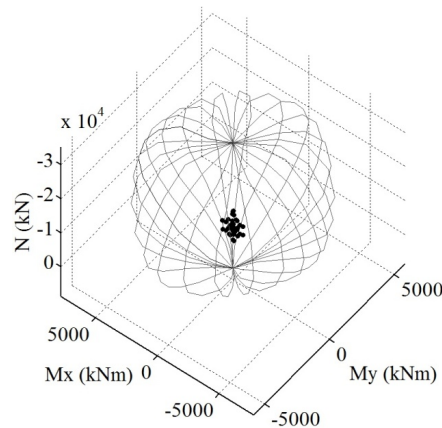
#### 3.3.6.1 Eğilme donatısı hesabı

S102 kolonu:



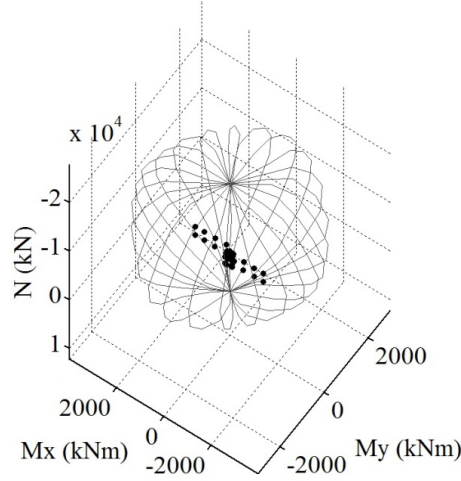
Şekil 3.34 : SAP2000 kolon eğilme donatısı hesabının özeti.

SAP2000'in yaptığı betonarme analizde ilgili kolonda DBYBHY(2007) 3.3.2.1'e göre minimum değer olan olan %1 oranında donatının yeterli olduğu olduğu hesaplanmıştır. Bu doğrultuda donatılan kesitin  $M_x$ - $M_y$ - $N$  etkileşim diyagramı şekil 3.35'te verilmiştir. Burada tüm kesit tesirlerinin diyagramın içerisinde kaldığı ve kesitin yeterli olduğu görülmektedir.



Şekil 3.35 : S102 kolonu  $M_x$ - $M_y$ - $N$  etkileşim diyagramı.

Ayrıca kolonların oturduğu yüksek kirişin bağlandığı düğüm noktalarına birleşen K1613 ve K1616 kirişleri ile S1601, S1602, S1701, S1702 ve S1703 kolonlarının iç kuvvet değerleri %50 arttırılarak bu elemanlar arttırılmış iç kuvvetlere göre donatılmıştır. Şekil 3.36'da örnek olarak S1602 kolonunun karşılıklı etkileşim diyagramı gösterilmiştir. (Bina iki eksene göre simetrik olduğu için benzer elemanların isimleri yinelenmemiştir.)



Şekil 3.36 : S1602 kolonu  $M_x$ - $M_y$ - $N$  etkileşim diyagramı.

### 3.3.6.2 Kesme donatısı hesabı

Örnek olarak S1702 kolonunun hesabı aşağıda verilmiştir.

$$V_e = (M_a + M_{\bar{u}}) / l_n \quad (3.40)$$

Burada,

$M_{a,\bar{u}}$  : Kolonun serbest yüksekliğinin alt veya üst ucunda, kolon kesme kuvvetinin hesabında esas alınan moment.

$l_n$  : Kolon serbest yüksekliği.

$M_a$  ve  $M_{\bar{u}}$  'nün hesaplanması için öncelikle kolonların kirişlerden güçlü olması koşulunun kontrol edilmesi gereklidir. Bunun sebebi elastik ötesi bir davranışta oluşabilecek plastik mafsalların kirişte mi yoksa kolonda mı oluşacağını belirlemesi gerekliliğidir. Bu kontrol DBYBHY(2007) 3.3.5 doğrultusunda (3.41)'e göre yapılır. Denklem (3.41)'in sağlandığı durumda düğüm noktasına birleşen kirişlerin uçlarındaki moment kapasitelerinin toplamı olan  $\Sigma M_p$  momenti hesaplanacaktır.

$$(M_{ra} + M_{r\bar{u}}) \geq 1.2(M_{ri} + M_{rj}) \quad (3.41)$$

Burada,

$M_{ra,\ddot{u}}$  : Kolonun serbest yüksekliğinin alt veya üst ucunda  $f_{cd}$  ve  $f_{yd}$ 'ye göre hesaplanan taşıma gücü momenti.

$M_{ri,j}$  : Kirişin sol ucu i'deki veya sağ ucu j'deki kolon yüzünde  $f_{cd}$  ve  $f_{yd}$ 'ye göre hesaplanan pozitif veya negatif taşıma gücü momenti.

$$\Sigma M_p = M_{pi} + M_{pj} \quad (3.42)$$

Burada,

$M_{pi,j}$  : Kirişin sol ucu i'deki veya sağ ucu j'deki kolon yüzünde  $f_{ck}$  ve  $f_{yk}$  ve çeliğin pekleşmesi göz önüne alınarak hesaplanan pozitif veya negatif taşıma gücü momenti. Daha kesin hesap yapılmadığı durumlarda  $M_{pi} = 1.4M_{ri}$  olarak alınabilir.

$\Sigma M_p$  momenti, kolonların düğüm noktasına birleşen uçlarında deprem yüklemesinden elde edilmiş bulunan momentler oranında kolonlara dağıtılacak ve dağıtım momentleri  $M_{\ddot{u}}$  veya  $M_a$  olarak göz önüne alınacaktır. Depremin her iki yönü için denklem (3.41) ayrı ayrı uygulanacak ve elde edilen en büyük  $\Sigma M_p$  değeri dağıtımda esas alınacaktır.

Denklem (3.41)'in sağlanamadığı durumlarda ise oluşacak plastik mafsallar kolon uçlarında oluşacağı için bu düğüm noktalarına birleşen kolonların uçlarında  $M_{\ddot{u}}$  veya  $M_a$  değerleri  $M_{p\ddot{u}}$  veya  $M_{pa}$  olarak alınacaktır. Daha kesin hesap yapılmadığı durumlarda  $M_{\ddot{u}} = 1.4M_{r\ddot{u}}$  ve  $M_a = 1.4M_{ra}$  olarak alınabilir.  $M_{p\ddot{u}}$  ve  $M_{pa}$  moment kapasitelerinin hesabında, depremin yönü ile uyumlu olarak bu momentleri en büyük yapan  $N_d$  aksenal kuvvetleri göz önüne alınacaktır.

Bu hesapların yapımında gerekli olan kolon ve kirişlerin  $M_p$  ve  $M_r$  değerleri hesaplanmış ve çizelge 3.25 ve 3.26'da verilmiştir.

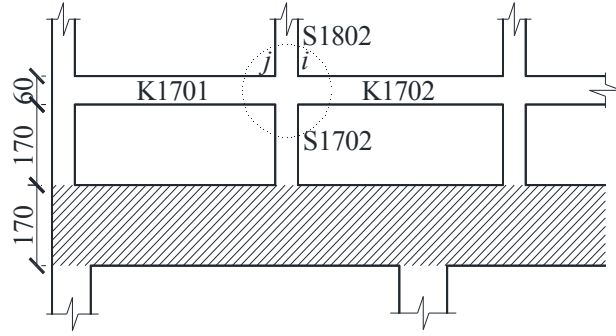
**Çizelge 3.25 :** Kirişlerin  $M_p$  ve  $M_r$  değerleri.

| Eleman Adı | $M_r$ (-) (kNm) | $M_p$ (-) (kNm) | $M_p/M_r$ | $M_r$ (+) (kNm) | $M_p$ (+) (kNm) | $M_p/M_r$ |
|------------|-----------------|-----------------|-----------|-----------------|-----------------|-----------|
| K1701 (j)  | 118.89          | 156.32          | 1.31      | 151.91          | 197.71          | 1.30      |
| K1702 (i)  | 118.81          | 156.64          | 1.32      | 118.81          | 156.64          | 1.32      |

**Çizelge 3.26 :** Kolonların x doğrultusundaki  $M_p$  ve  $M_r$  değerleri.

| Eleman Adı | Kesit | N (kN)  | $M_r$ (kNm) | $M_p$ (kNm) |
|------------|-------|---------|-------------|-------------|
| S1802      | 50x65 | 700.62  | 489.96      | 685.94      |
| S1702      | 50x65 | 792.76  | 506.84      | 709.58      |
|            |       | 2668.68 | 745.97      | 1044.36     |





**Şekil 3.37 :** Örnek hesabın yapıldığı düğüm noktası ve elemanlar.

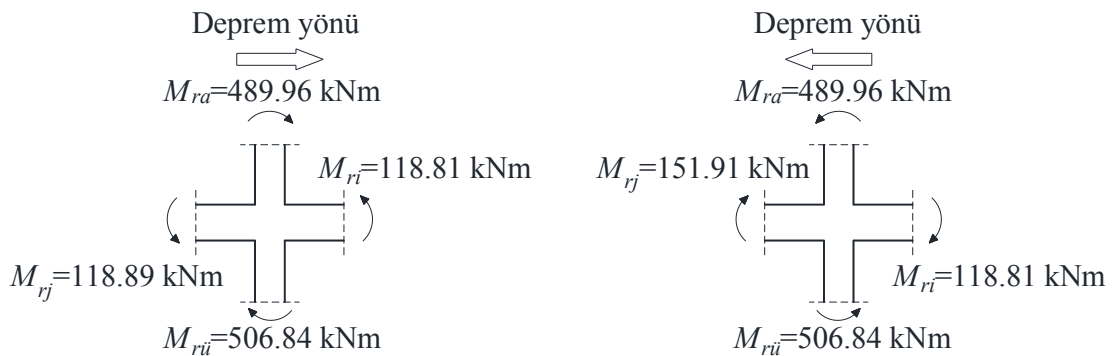
Örnek olarak kolonların kirişlerden güçlü olması koşulunun kontrol edileceği düğüm noktası ve bu noktalara bağlanan elemanlar şekil 3.37'de gösterilmiştir. Elemanın yüksek kirişe birleştiği düğüm noktalarında kontrol yapılmamıştır. Bu düğüm noktasında plastik mafsalların yüksek kirişten önce kolonda oluşması beklenmektedir. Ayrıca B3 düzensizliğinden ötürü yapılacak iç kuvvet arttırımı sadece olumsuz durum oluşturacağı zaman yani  $M_{ü}$  veya  $M_a$  momenti olarak  $M_{rü}$  veya  $M_{ra}$  alındığı zaman yapılmıştır. Kolonda kapasite momenti, donatının pekleşmesi ve malzeme karakteristik dayanımlarının göz önüne alınmasına ek olarak ileri safhalarda çekirdek betonunun sargı etkisiyle dayanımının artması ile de ek bir artış gösterir. Sargı etkisinin ne kadar olacağı henüz bilinmediği için kolonda  $M_p=1.4M_r$  olarak alınmıştır. Kirişlerde ise malzeme karakteristik dayanımları ve donatının pekleşmesi göz önüne alınarak kapasite momentleri hesaplanmıştır.

Kolonların kirişten güçlü olması kontrolü:

$$(M_{ra} + M_{rü}) \geq 1.2(M_{ri} + M_{rj})$$

$$(489.96 + 506.84) \geq 1.2(118.81 + 151.91)$$

$$996.80 \text{ kNm} > 324.86 \text{ kNm}$$



**Şekil 3.38 :** İki deprem yönü için kiriş ve kolon  $M_r$  değerleri.

Buradan anlaşılacağı üzere S1702 kolonunun  $M_{ii}$  değeri K1701 kirişinin pozitif yöndeki  $M_{pj}$  ve K1702 kirişinin negatif yöndeki  $M_{pi}$  değerlerinin toplamının S1702 ve S1802 kolonlarında deprem yüklemesinden elde edilen momentler oranında dağıtılması ile elde edilir. S1702 kolonunun  $M_a$  değeri ise elastik ötesi davranış durumunda ilk plastik mafsallarda oluşacağı için  $M_{pa}$ 'ya eşit olarak alınır.

$$M_{ii} = (197.71 + 156.64) \frac{96.49}{96.49 + 75.47} = 198.83 \text{ kNm}$$

$$M_a = M_{pa} = 1044.36 \text{ kNm}$$

$$V_e = (M_a + M_{ii}) / l_n = (1044.36 + 198.83) / 1.70 = 731.29 \text{ kN}$$

$$V_e \leq 0.22 A_w f_{cd} = 0.22 \times (500 \times 650) \times 27 \times 10^{-3} = 1930.50 \text{ kN}$$

$$V_d = 1.5 \times 119.26 = 178.89 \text{ kN (DSX3 yüklemesi \%50 arttırılmış.)}$$

$$N_{d,\min} = 792.76 \text{ kN (DSX4 yüklemesi)}$$

$$N_d > 0.05 A_c f_{ck} = 650 \text{ kN olduğundan } V_c \neq 0$$

$$V_c = 0.8 \times 0.65 f_{ctd} b d (1 + 0.07 N_d / A_c)$$

$$V_c = 0.8 \times 0.65 \times 1.45 \times 650 \times 450 \times \left( 1 + 0.07 \frac{792.76 \times 10^3}{500 \times 650} \right) \times 10^{-3} = 220.55 \text{ kN}$$

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_e - V_c}{f_{ywd} d} = \frac{731.29 - 220.55}{0.365 \times 450} = 3.11 \text{ mm}$$

DBYBHY(2007) denklem (3.1)'e göre sargı donatısı aşağıda olduğu gibi hesaplanır,

$$b_k = 650 - 2 \times 50 + 2 \times 22 / 2 + 2 \times 10 / 2 = 582 \text{ mm}$$

$$A_{ck} = (650 - 2 \times 50 + 2 \times 22 / 2 + 2 \times 10)(500 - 2 \times 50 + 2 \times 22 / 2 + 2 \times 10) = 261664 \text{ mm}^2$$

$$A_c = 650 \times 500 = 325000 \text{ mm}^2$$

$$A_c / A_{ck} \cong 1.24 < 1.25 \text{ yönetmelikteki ikinci denklem geçerli}$$

$$\frac{A_{sh}}{s} \geq 0.075 b_k \left( f_{ck} / f_{ywk} \right) = 0.075 \times 582 (40 / 420) = 4.16 \text{ mm}$$

$$N_{d,\max} = 2668.68 \text{ kN} > 0.2 A_c f_{ck} = 2600 \text{ kN}$$

$$A_{sh} = 4 A_0 = 4 \times \pi \frac{12^2}{4} = 452.39 \text{ mm}^2$$

$$\leq 100 \text{ mm}$$

$$s_c = \frac{452.39}{4.16} \cong 109 \text{ mm} \leq 500 / 3 \cong 165 \text{ mm} \Rightarrow s_{c,\text{seçilen}} = 100 \text{ mm}$$

$$\geq 50 \text{ mm}$$

#### 4. B3 DÜZENSİZLİĞİ BULUNAN ÖRNEK BİNANIN ZAMAN TANIM ALANINDA DOĞRUSAL VE DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZİ

Bu yöntemde hareket denklemi zaman alanına adım adım integre edilerek yerdeğiştirme ve hız değerleri elde edilir. İntegrasyon metodu olarak Newmark yöntemi kullanılmıştır. İntegrali küçük parçalar ile temsil edebilmek için sürekli olan  $\ddot{u}(t)$  ivme fonksiyonunun yaklaşık olarak belirlenmesi gerekmektedir. Sürekli bir fonksiyonu küçük parçalar ile temsil eden bir çok yöntem bulunmakla birlikte yapı mühendisliğinde üç tanesi çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunlar sabit ivme, sabit ortalama ivme ve doğrusal ivme yöntemleridir (Darılmaz, 2012). Sabit ivme yönteminde, zaman adımı aralığında ivmenin sabit olduğu ve başlangıçtaki değere eşit olduğu, sabit ortalama ivme yönteminde ivme değerinin sabit fakat başlangıç ile son ivme değerinin ortalaması olduğu, doğrusal ivme yönteminde ise ivme değerinin başlangıç ile son değer arasında doğrusal olarak değiştiği kabul edilir. N. M. Newmark tarafından 1959'da geliştirilen zaman adımı yöntemi (4.1)'de verildiği gibidir.

$$\begin{aligned}\dot{u}_{i+1} &= \dot{u}_i + [(1-\gamma)\Delta t]\ddot{u}_i + (\gamma \Delta t)\ddot{u}_{i+1} \\ u_{i+1} &= u_i + (\Delta t)\dot{u}_i + [(0.5-\beta)(\Delta t)^2]\ddot{u}_i + [\beta(\Delta t)^2]\ddot{u}_{i+1}\end{aligned}\quad (4.1)$$

$\beta$  ve  $\gamma$  değişkenleri zaman adımındaki ivme değişimini ifade etmektedir ve yöntemin stabilitesini ve hassasiyetini belirlemektedir.

Çizelge 4.1 :  $\beta$  ve  $\gamma$  değerleri.

|                                    | $\beta$ | $\gamma$ |
|------------------------------------|---------|----------|
| <b>Sabit ivme yöntemi</b>          | 0       | 0        |
| <b>Sabit ortalama ivme yöntemi</b> | 1/4     | 1/2      |
| <b>Doğrusal ivme yöntemi</b>       | 1/6     | 1/2      |

Genellikle sabit ortalama ivme yöntemi, yapı mühendisliğinde analizlerinde daha iyi stabilite ve hassasiyet sağladığından tercih edilmektedir. Bu sebeple analizlerde sabit ortalama ivme yöntemi tercih edilmiştir. Adım aralığı değeride çözümün stabilite ve hassasiyetini etkilemektedir. Yapılan çalışmalar sonucunda  $\Delta t$  değerinin en fazla yapının periyodunun 1/10 kadar olması önerilmiştir. Kaydedilen yer hareketlerinin adım aralığı genellikle 0.005 ve 0.01 saniyedir. Bu nedenle bu kayıtların kullanılması çoğunlukla yeterli olmaktadır. Chopra (2006)' ya göre aşağıdaki durumda Newmark yöntemi yeterli stabiliteyi sağlamaktadır.

$$\frac{\Delta t}{T_n} \leq \frac{1}{\pi\sqrt{2}} \frac{1}{\sqrt{\gamma - 2\beta}} \quad (4.2)$$

$\beta=1/4$  ve  $\gamma=1/2$  için bu koşul aşağıdaki şekli almaktadır.

$$\frac{\Delta t}{T_n} < \infty$$

Bu ortalama sabit ivme yönteminin her  $\Delta t$  değeri için stabil olduğunu göstermektedir. Ancak,  $\Delta t$  değeri yeteri kadar küçük olduğunda çözüm hassas olmaktadır. Doğrusal ivme yöntemi ( $\beta=1/6$  ve  $\gamma=1/2$ ) için ise bu koşul aşağıdaki şekli almaktadır.

$$\frac{\Delta t}{T_n} \leq 0.551$$

Genel hareket denklemi,

$$m\ddot{u}(t) + c\dot{u}(t) + ku(t) = p(t) \quad (4.3)$$

yerdeğiştirmede göz önüne alınan zaman adımında meydana gelen  $\Delta u(t)$  artımı için yazılırsa,

$$m\Delta\ddot{u}(t) + c\Delta\dot{u}(t) + k\Delta u(t) = \Delta p(t) \quad (4.4)$$

denklemi elde edilir.

$$\Delta u_i \equiv u_{i+1} - u_i \quad \Delta\dot{u}_{i+1} \equiv \dot{u}_{i+1} - \dot{u}_i \quad \Delta\ddot{u}_i \equiv \ddot{u}_{i+1} - \ddot{u}_i \quad (4.5)$$

$$\Delta p_i = p_{i+1} - p_i \quad (4.6)$$

Denklem (4.1) aşağıdaki gibi tekrar düzenlenir ise,

$$\Delta\dot{u}_i = (\Delta t)\ddot{u}_i + (\gamma\Delta t)\Delta\ddot{u}_i \quad (4.7)$$

$$\Delta u_i = (\Delta t)\dot{u}_i + \frac{(\Delta t)^2}{2}\ddot{u}_i + \beta(\Delta t)^2\Delta\ddot{u}_i \quad (4.8)$$

Burada, denklem (4.8) ivme değişimine göre düzenlenirse,

$$\Delta\ddot{u}_i = \frac{1}{\beta(\Delta t)^2} \Delta u_i - \frac{1}{\beta\Delta t} \dot{u}_i - \frac{1}{2\beta} \ddot{u}_i \quad (4.9)$$

şeklinde yazılabilir. Denklem (4.9), denklem (4.7)'de yerine yazılır ise

$$\Delta\dot{u}_i = \frac{\gamma}{\beta\Delta t} \Delta u_i - \frac{\gamma}{\beta} \dot{u}_i + \Delta t \left( 1 - \frac{\gamma}{2\beta} \right) \ddot{u}_i \quad (4.10)$$

denklemini elde edilir. Denklem (4.4)'te (4.10) ve (4.9) eşitlikleri yerlerine yazılır ise

$$m \left( \frac{1}{\beta(\Delta t)^2} \Delta u_i - \frac{1}{\beta\Delta t} \dot{u}_i - \frac{1}{2\beta} \ddot{u}_i \right) + c \left( \frac{\gamma}{\beta\Delta t} \Delta u_i - \frac{\gamma}{\beta} \dot{u}_i + \Delta t \left( 1 - \frac{\gamma}{2\beta} \right) \ddot{u}_i \right) + k\Delta u_i = \Delta p_i \quad (4.11)$$

denklemini elde edilir ve

$$\hat{k} = k + c \frac{\gamma}{\beta\Delta t} + m \frac{1}{\beta(\Delta t)^2} \quad (4.12)$$

$$\Delta\hat{p}_i = \Delta p_i + \left( m \frac{1}{\beta\Delta t} + c \frac{\gamma}{\beta} \right) \dot{u}_i + \left[ m \frac{1}{2\beta} + c\Delta t \left( \frac{\gamma}{2\beta} - 1 \right) \right] \ddot{u}_i \quad (4.13)$$

düzenlemeleri yapılarak

$$\hat{k}\Delta u_i = \Delta\hat{p}_i \quad (4.14)$$

eşitliği elde edilir. Burada,  $\hat{k}$  ve  $\Delta\hat{p}_i$  değerleri sistemin kütle ( $m$ ), rijitlik ( $k$ ), sönüm ( $c$ ) özelliklerinden, çözüm yöntemi değişkenleri  $\beta$  ve  $\gamma$ , zaman adımın başlangıcındaki hız ve ivme değerleri kullanılarak hesaplanabilir. Zaman adımındaki yer değiştirme artımı denklem (4.15) ile hesaplanabilir.

$$\Delta u_i = \frac{\Delta\hat{p}_i}{\hat{k}} \quad (4.15)$$

$\Delta u_i$  hesaplandıktan sonra, sırasıyla (4.10) ve (4.9) eşitlikleri kullanılarak  $\Delta\dot{u}_i$  ve  $\Delta\ddot{u}_i$  değerleri hesaplanabilir. Buradan da (4.5)'teki eşitlikler kullanılarak  $u_{i+1}$ ,  $\dot{u}_{i+1}$ ,  $\ddot{u}_{i+1}$  değerleri hesaplanabilir. İvme değeri denklem (4.16) kullanılarak da hesaplanabilir.

$$\ddot{u}_{i+1} = \frac{p_{i+1} - c\dot{u}_{i+1} + ku_{i+1}}{m} \quad (4.16)$$

**Çizelge 4.2 :** Newmark yöntemi ile çözümde izlenen adımlar (Chopra, 2006).

---

---

1.0 Başlangıç hesapları

$$1.1 \ddot{u}_0 = \frac{p_0 - c\dot{u}_0 - ku_0}{m}$$

1.2 Zaman adımı ( $\Delta t$ ) seçimi

$$1.3 \hat{k} = k + c \frac{\gamma}{\beta \Delta t} + m \frac{1}{\beta (\Delta t)^2}$$

$$1.4 a = m \frac{1}{\beta \Delta t} m + \frac{\gamma}{\beta} c \text{ ve } b = \frac{1}{2\beta} m + \Delta t \left( \frac{\gamma}{2\beta} - 1 \right) c$$

---

2.0 Her zaman adımı ( $i$ ) için hesaplama

$$2.1 \Delta \hat{p}_i = \Delta p_i + a\dot{u}_i + b\ddot{u}_i$$

$$2.2 \Delta u_i = \frac{\Delta \hat{p}_i}{\hat{k}}$$

$$2.3 \Delta \dot{u}_i = \frac{\gamma}{\beta \Delta t} \Delta u_i - \frac{\gamma}{\beta} \dot{u}_i + \Delta t \left( 1 - \frac{\gamma}{2\beta} \right) \ddot{u}_i$$

$$2.4 \Delta \ddot{u}_i = \frac{1}{\beta (\Delta t)^2} \Delta u_i - \frac{1}{\beta \Delta t} \dot{u}_i - \frac{1}{2\beta} \ddot{u}_i$$

$$2.5 u_{i+1} = u_i + \Delta u_i, \dot{u}_{i+1} = \dot{u}_i + \Delta \dot{u}_i, \ddot{u}_{i+1} = \ddot{u}_i + \Delta \ddot{u}_i$$

---

3.0 Bir sonraki zaman adımı için,  $i$  yerine  $i+1$  konularak 2.1 den 2.5'e kadar olan adımların uygulanması

---

#### 4.1 Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklendirilmesi

Zaman tanım alanında deprem hesabında yapay yollarla üretilen, benzeştirilmiş veya daha önceden kaydedilmiş deprem yer hareketleri kullanılabilir. Hesapta üç yer hareketi kullanılması durumunda sonuçların maksimumu, en az yedi yer hareketi kullanılması durumunda sonuçların ortalaması esas alınacaktır. Literatürde yedi veya daha fazla kayıt için hesap yapıp sonuçların ortalamasının esas alınması önerilmektedir.

Kullanılacak yer hareketleri DBYBHY(2007) 2.9.1 doğrultusunda aşağıda verilen üç adet koşulu sağlamalıdır.

- Kuvvetli yer hareketinin süresi, binanın birinci doğal titreşim periyodunun 5 katından ve 15 saniyeden kısa olmayacaktır. Buradaki kuvvetli yer hareketi literatürde  $\pm 0.05$  g olarak geçmektedir. Binanın birinci doğal titreşim periyodu 1.57 saniye olduğundan örnek bina için ikinci koşul geçerlidir.
- Üretilen deprem yer hareketinin sıfır periyoda karşı gelen spektral ivme değerlerinin ortalaması  $A_{og}$ 'en küçük olmayacaktır. Örnek bina 1. derece deprem bölgesinde bulunduğundan sıfır periyoda karşı gelen spektral ivme değerlerinin ortalaması 0.4g'den küçük olmayacaktır.
- Yapay olarak üretilen her bir ivme kaydına göre %5 sönüm oranı için yeniden bulunacak spektral ivme değerlerinin ortalaması, gözönüne alınan deprem doğrultusundaki birinci (hakim) periyod  $T_1$ 'e göre  $0.2T_1$  ile  $2T_1$  arasındaki periyodlar için, DBYBHY'2007 2.4'te tanımlanan  $S_{ae}(T)$  elastik spektral ivmelerinin %90'ından daha az olmayacaktır. 0.314 saniye ile 3.14 saniye arasında yerel zemin sınıfı Z2'ye göre belirlenen elastik spektral ivmelerinin %90'ından daha az olmayacaktır.

Daha önceden kaydedilmiş deprem yer hareketleri, yer sarsıntısının genliği, süresi, faz özellikleri ve frekans içeriği gibi bilgiler içerdiğinden ve ayrıca günümüzde bu kayıtlara ulaşmak oldukça kolay olduğundan bu kayıtların kullanılması diğer yöntemlere göre daha cazip hale gelmektedir. Buradaki zorluk çok sayıda sismik kaynağın etkisi göz önüne alınarak istatistiksel bir analiz sonucu oluşturulan tasarım spektrumuna uygun bir kayıt elde etmeye çalışmaktır. Bunu oluşturabilmek için kullanılacak deprem yer hareketi kayıtları ölçeklendirilmeli ve uygun olan kayıtların ortalamasının istenen koşulları sağlamalıdır. Bu da oldukça zahmetli bir işlemdir. Bazı durumlarda uygun kayıt bulmakta zorlanılabilmektedir. Kayıtları ölçeklendirmede pek çok yöntem mevcuttur. Bu yöntemler, zaman tanım alanında ve frekans tanım alanında olmak üzere iki gruba ayrılabilir.

#### **4.1.1 Zaman tanım alanında ölçeklendirme işlemi**

Zaman tanım alanında ölçeklendirme yöntemi, deprem ivme kaydının sabit bir katsayı ile çarpılarak, istenilen periyot aralığında tasarım ivme spektrumuna göre en uygun şekle göre ayarlanmasını esas alır. Bu işlem kaydın frekans içeriğini değiştirmez. Sadece hareketin genliği değişir.

#### 4.1.1.1 Tek bir deprem kaydı için genel yöntem

Bu yöntem de, en küçük kareler tekniği kullanılarak, ölçeklenmiş hareketin davranış spektrumu ile tasarım ivme spektrumu arasındaki farkın küçültülmesi esas alınır. “Fark” ölçeklenerek ve hedef tasarım spektrumu genlikleri arasındaki farkın karesinin entegrasyonu olarak tanımlanır ve aşağıda verilen denklem vasıtası ile hesaplanır (Fahjan,2008).

$$|\text{Fark}| = \int_{T_A}^{T_B} \left[ \alpha S_a^{\text{gerçek}}(T) - S_a^{\text{hedef}}(T) \right]^2 dT \quad (4.17)$$

Burada;

$S_a^{\text{hedef}}$  : Hedef ivme davranış spektrumu

$S_a^{\text{gerçek}}$  : Gerçek ivme davranış spektrumu

$\alpha$  : Doğrusal ölçekleme katsayısı

$T$  : Salınımın periyodu

$T_A$  : Ölçeklemenin yapılacağı periyodun alt sınırı

$T_B$  : Ölçeklemenin yapılacağı periyodun üst sınırı

Fark miktarının küçülmesi için "Fark" fonksiyonunun  $\alpha$ 'ya göre türevi alınıp sıfıra eşitlenirse ve denklem (4.17)'deki entegraller  $T_A$ 'dan  $\Delta T$  artımlarla  $T_B$ 'ye kadar devam eden toplamlar haline dönüştürülür ise aşağıdaki denklem elde edilir.

$$\alpha = \frac{\sum_{T=T_A}^{T_B} (S_a^{\text{gerçek}}(T) S_a^{\text{hedef}}(T))}{\sum_{T=T_A}^{T_B} (S_a^{\text{gerçek}}(T))^2} \quad (4.18)$$

#### 4.1.1.2 Birden çok deprem kaydı için genel yöntem

Birden fazla deprem kaydı kullanılarak ölçekleme yapılmak istenmesi durumunda uygulanabilecek yöntemler aşağıdaki gibi özetlenebilir.

Tüm kayıtlar için tek bir ölçekleme katsayısı kullanılır ve (N) adet deprem kaydının ortalaması tasarım spektrumuna eşleştirilmeye çalışılır. Üretilen ortalama spektrum, tasarım spektrumu ile oldukça iyi eşleşse de, bütün kayıtlar aynı katsayı ile ölçeklenmiş olur.



Tek bir kayıt için kullanılan yöntem; (N) adet kaydın herbiri için tek tek uygulanır ve ölçeklenmiş kayıtların ortalamaları alınır. Herbir hareket tek başına en iyi şekilde ölçeklenmiş olmasına rağmen sonuçta alınan ortalama tasarım spektrumu ile mükemmel şekilde eşleşmez.

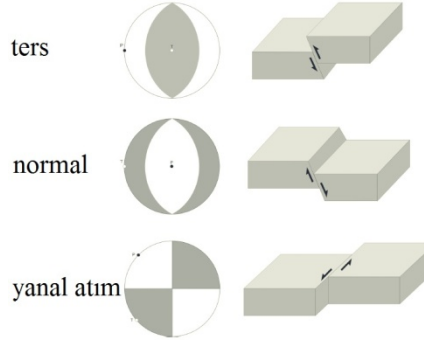
(N) adet kaydın spektrumunun ortalaması tasarım spektrumuna eşleştirilmeye çalışılır. (N) defa türev alınarak "Fark" fonksiyonu minimize edilir. Elde edilen (N) adet doğrusal cebirsel denklem çözülerek (N) adet optimum ölçekleme katsayısı bulunur. Bu yöntemde kayıtlar en optimum şekilde ölçeklenmiş olmasına rağmen çıkan ölçekleme katsayıları çok küçük veya çok büyük hatta negatif değerler alabilir.

#### **4.1.2 Frekans tanım alanında ölçeklendirme işlemi**

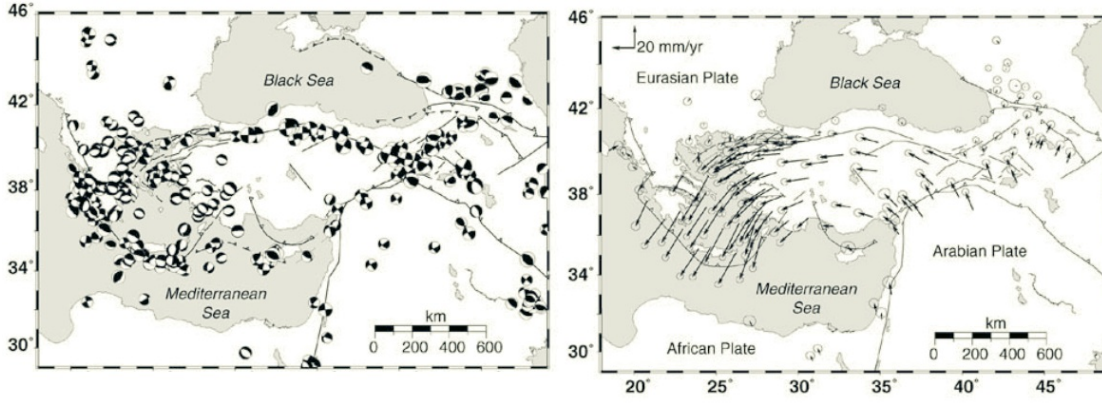
Yer hareketinin frekans tanım alanında ölçeklenmesi yönteminde, deprem esnasında kaydedilmiş ivme kayıtlarından tasarım ivme spektrumuna uyan kayıtlar türetilir. Frekans tanım alanında yapılan ölçekleme esnasında deprem hareketi mevcut özelliklerini koruduğu için, klasik yapay deprem kaydı üretme metotları ile karşılaştırıldığında daha etkili bir yöntemdir. Frekans tanım alanında yapılan ölçekleme yöntemi kullanılarak tasarım spektrumu ile bire bir eşleşen kayıtlar elde etmek mümkündür (Fahjan, 2008). Fakat yapılan çalışmalarda frekans tanım alanında yapılan ölçekleme işleminde orijinal kaydın frekans içeriği değiştirilerek doğal özelliklerini kaybettiği için yerdeğiştirmeye hassas bölgede, eşit yerdeğiştirme kuralının sağlanmadığı görülmüştür. Bu nedenle bu yöntemle ölçeklenmiş kayıtların doğrusal olmayan analizlerde kullanılması uygun değildir.

#### **4.1.3 Kullanılan deprem kayıtları**

Bu çalışmada kullanılan deprem kayıtları, Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi "PEER" ([http://peer.berkeley.edu/peer\\_ground\\_motion\\_database](http://peer.berkeley.edu/peer_ground_motion_database)) kuvvetli yer hareketi veri bankasından alınmıştır. Odak derinliği depremin oluşturacağı hasar konusunda önemli bir büyüklüktür. Derin depremler yüzeyde daha az etki gösterirken daha yaygın bir çevrede hissedilir. Sığ depremler ise, odağa en yakın yer yüzünde büyük etki gösterirken, uzaklaştıkça azalan bu etki daha az yaygın olan bir çevrede hissedilir (Celep ve Kumbasar, 2001). Bu sebeple, çoğunlukla sığ depremlerden odağa yakın olarak kaydedilen kayıtlar kullanılmıştır. Ayrıca bu kayıtlar Türkiye'nin genel fay yapısı yatay atımlı olduğundan, yatay atımlı fayların oluşturduğu depremlerin ivme kayıtlarıdır.

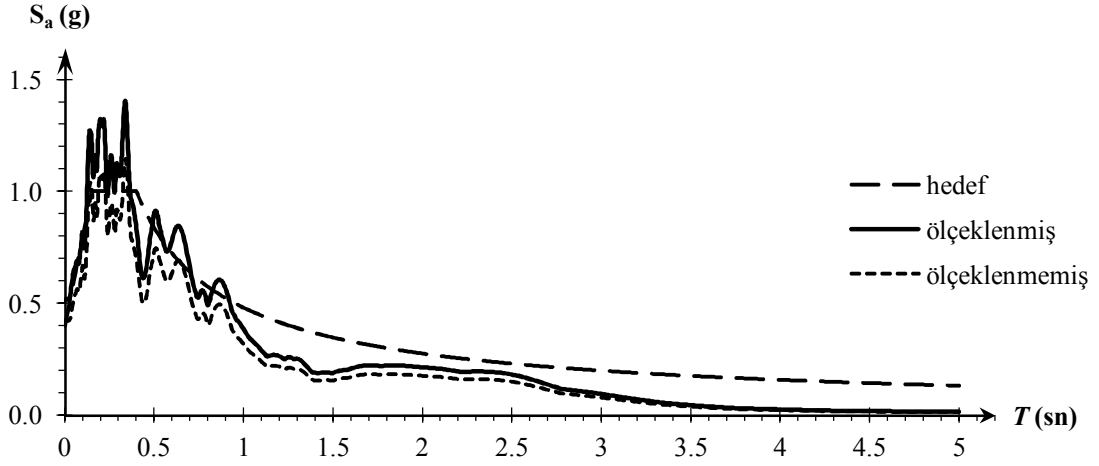


Şekil 4.1 : Fay tipleri için odak küresi gösterimi.



Şekil 4.2 : Türkiye'deki fayların odak mekanizmaları (McClusky ve diğ. 2000).

Her bir deprem kaydının "seismosignal" programı vasıtası ile %5 sönüme sahip tepki spektrumları oluşturulmuştur. Kayıtlar, zaman tanım alanında yukarıda tek bir deprem için genel yöntem başlığı altında verilen yöntem ile 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan tasarım spektrumuna göre ölçeklendirilmiştir. Yatay kayıtlar 1. derece deprem bölgesi, Z2 sınıfı zemin ve bina önem katsayısı 1 alınarak DBYBHY(2007)'ye göre oluşturulan ivme spektrumu, düşey kayıtlar ise aynı ivme spektrumunun 2/3'ü esas alınarak ölçeklenmiştir. Yapılan çalışmalarda doğrusal olmayan analizlerde kullanılacak kayıtların ölçekleme katsayısının ( $\alpha_{AT}$ ) 0.5 ile 2 arasında sınırlandırılması gerektiği önerildiğinden ölçekleme katsayısı bu sınırlar arasında olmayan ve DBYBHY(2007)'de verilen zamanla ilgili olan koşulu sağlamayan kayıtlar elenmiştir. Bu koşulları sağlayan kayıtlar arasından, yatay ve düşey deprem için ayrı olarak yedişer adet ivme kaydının ortalamaları alınarak DBYBHY(2007)'de verilen diğer koşulları sağlayan iki takım ivme kaydı elde edilmiştir.



**Şekil 4.3** : TS1 kaydına ait ölçeklenmiş ve ölçeklenmemiş ivme spektrumları.

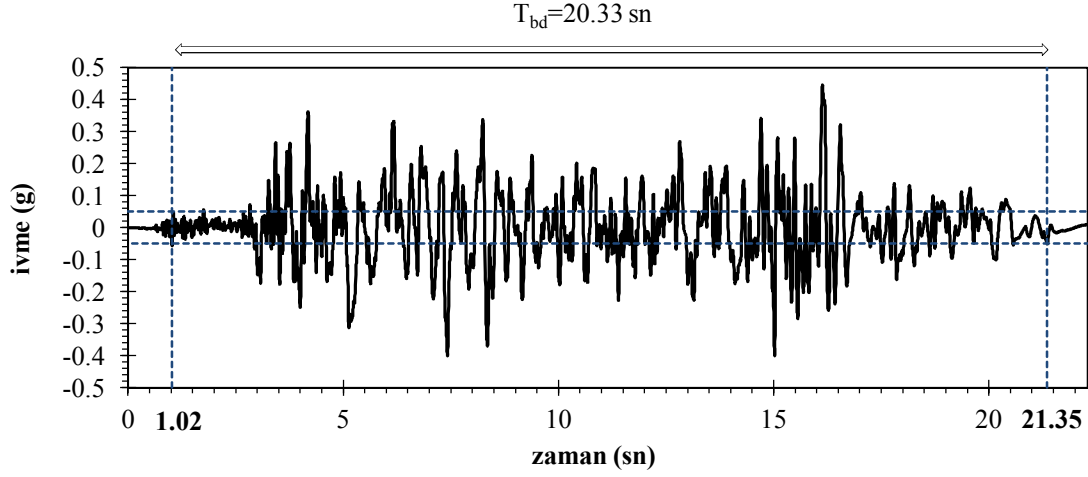
Yapılacak analizde kullanılacak kayıtların, DBYBHY-2007 'ye göre kuvvetli yer hareketi kısmının süresini belirlemek için kayıtların zarf süreleri ( $T_{bd}$ ) ve anlamlı süreleri ( $T_{sd}$ ) belirlenmiştir. Zarf süre, 0.05 g 'lik ivme değerinin ilk ve son aşaması arasında geçen süre olarak tanımlanır. Anlamlı süre ise, ivme kaydının enerji miktarını gösteren "Arias Yoğunluğu" (AI) değerinin zamanla değişimini yüzde olarak gösteren ve "Husid Grafiği" olarak adlandırılan eğrinin üzerinden arias yoğunluğunun %5 ile %95 arasında oluşumu arasında geçen süre olarak tanımlanır. Analizlerde deprem hareketinin her doğrultusu için farklı deprem ve istasyonlardan elde edilen kayıtlar kullanılmıştır. Bu kayıtların süreleri oldukça değişkendir ve bazı kayıtların süreleri kuvvetli yer hareketi süresinden oldukça uzundur. Bu sebeple her doğrultudaki deprem hareketinin süresinin özdeş olabilmesi için ve analiz süresinin optimum seviyeye indirilebilmesi için kayıtların belirli uzunluktaki bir süresi analizlerde kullanılmıştır. Bu süre, kaydın anlamlı süresini içerecek ve yönetmelikte verilen minimum süre koşulunu ( örnek bina için 15 sn ) sağlayacak şekilde belirlenmiştir.

$$AI = \frac{\pi}{2g_0} \int_0^{T_s} a^2(t) dt \quad (4.19)$$

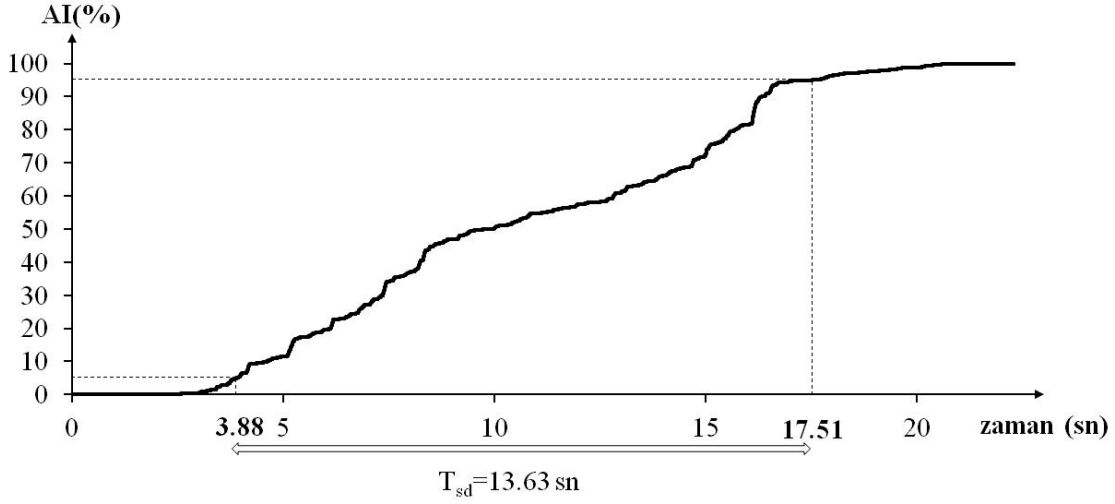
Burada,

$a(t)$  : t anında deprem kaydındaki ivme genliği değeri

$T_s$  : Deprem kaydının toplam süresi

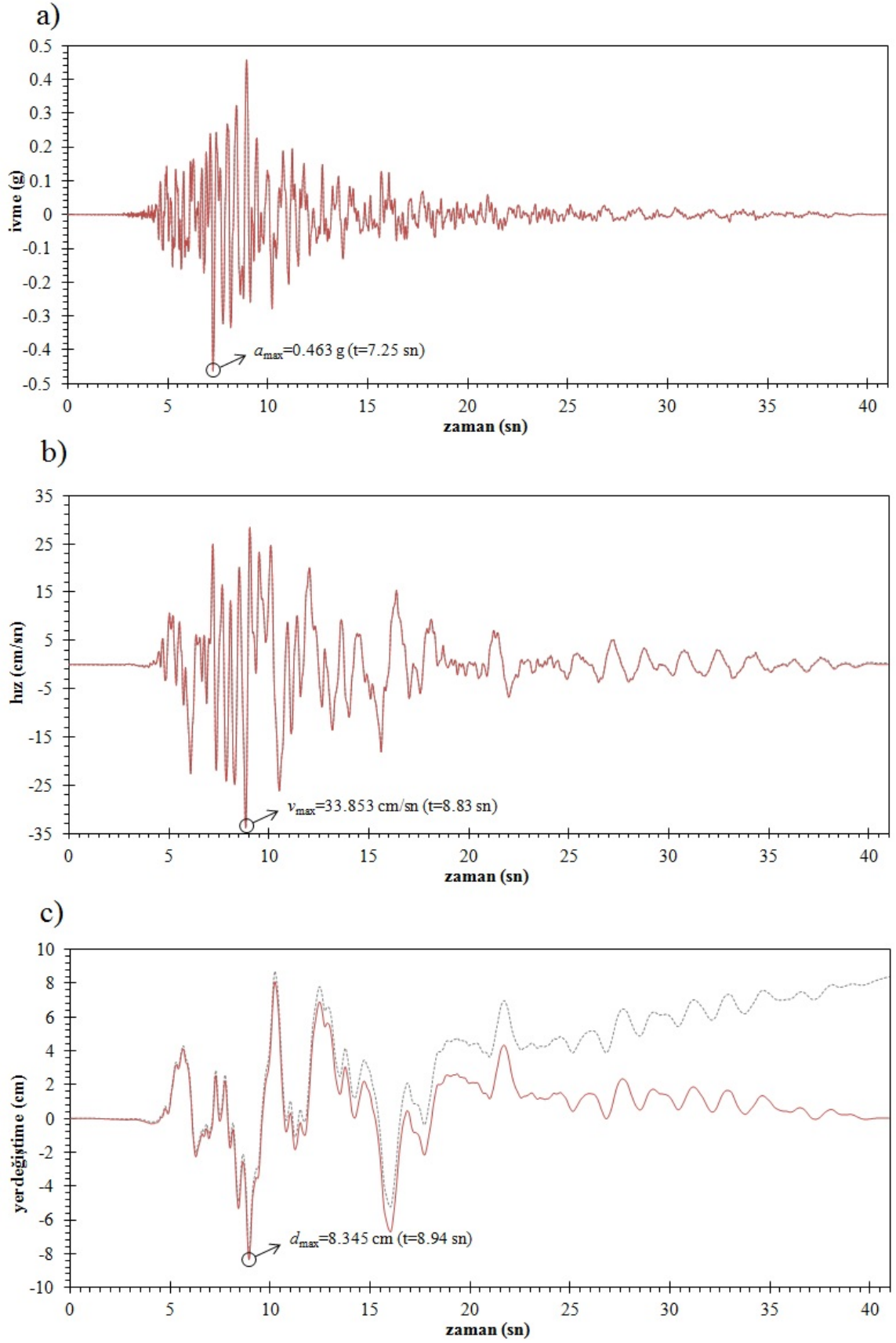


Şekil 4.4 : TS5 kaydına ait ivme-zaman grafiği ve kaydın zarf süresi.



Şekil 4.5 : TS5 kaydına ait husid grafiği ve kaydın anlamlı süresi.

Sismograflar tarafından kaydedilen kayıtlarda yer hareketinden oluşan titreşimlere ek olarak civardaki taşıtların ve insanların oluşturduğu titreşimler, sismografin tam olarak sabit olmaması gibi nedenlerden ötürü başka titreşimlerde bulunabilir. Bu sebeple kayıtların filtrelenmesi ve sapma düzeltmesi yapılması gerekir. PEER'dan alınan kayıtlarda bu işlem yapılmıştır. Fakat kayıtlar ölçeklendirildiği ve daha önceden bahsedildiği üzere kayıtların belirli bir süresi analizlerde kullanıldığı için tekrar sapma düzeltmesi yapılması gerekir. İvme kaydının ve bu kaydın integrasyonu ile elde edilen hız ve yer değiştirme değerlerinin sıfırla başlayıp sıfırla bitmesi gereklidir. Örnek olarak, şekil (4.6)'da 17 Ağustos 1999 tarihinde meydana gelen Kocaeli depremine ait sapma düzeltmesi yapılmış ve yapılmamış ivme-zaman, hız-zaman ve yer değiştirme-zaman grafikleri gösterilmiştir.



**şekil 4.6 :** TS2 kaydına ait sapma dűzeltmesi yapılmış ve yapılmamış, (a)ivme-zaman (b)hız-zaman (c)yer değiştirme-zaman grafikleri.

**Çizelge 4.3 : Yatay deprem kayıtları.**

| Kayıt Kodu | PEER NGA Kayıt Numarası | Yer                   | Yıl  | İstasyon Adı        | Şiddet | Kırılma Mekanizması | R <sub>jb</sub> (km) | R <sub>rup</sub> (km) | PGA (g) | Kayıt Süresi | Anlamlı Süre | Zarf Süre | Ölçekleme Katsayısı ( $\alpha_{AT}$ ) |
|------------|-------------------------|-----------------------|------|---------------------|--------|---------------------|----------------------|-----------------------|---------|--------------|--------------|-----------|---------------------------------------|
| TS1        | 95                      | Managua, Nicaragua-01 | 1972 | Managua, ESSO       | 6.24   | yanal atım          | 3.5                  | 4.1                   | 0.515   | 25.980       | 11.910       | 16.040    | 1.22                                  |
| TS2        | 1176                    | Kocaeli, Turkey       | 1999 | Yarımca             | 7.51   | yanal atım          | 1.4                  | 4.8                   | 0.360   | 34.995       | 15.585       | 17.620    | 1.03                                  |
| TS3        | 723                     | Superstition Hills-02 | 1987 | Parachute Test Site | 6.54   | yanal atım          | 0.9                  | 0.9                   | 0.408   | 22.340       | 15.575       | 17.310    | 1.08                                  |
| TS4        | 1111                    | Kobe, Japan           | 1995 | Nishi-Akashi        | 6.90   | yanal atım          | 7.1                  | 7.1                   | 0.463   | 40.950       | 9.720        | 16.480    | 0.91                                  |
| TS5        | 725                     | Superstition Hills-02 | 1987 | Poe Road (temp)     | 6.54   | yanal atım          | 11.2                 | 11.2                  | 0.444   | 22.290       | 13.630       | 20.330    | 1.48                                  |
| TS6        | 1605                    | Duzce, Turkey         | 1999 | Duzce               | 7.14   | yanal atım          | 0                    | 6.6                   | 0.412   | 25.880       | 10.775       | 13.775    | 0.77                                  |
| TS7        | 1762                    | Hector Mine           | 1999 | Amboy               | 7.13   | yanal atım          | 41.8                 | 43                    | 0.352   | 29.995       | 13.245       | 25.140    | 1.60                                  |

**Çizelge 4.4 : Düşey deprem kayıtları.**

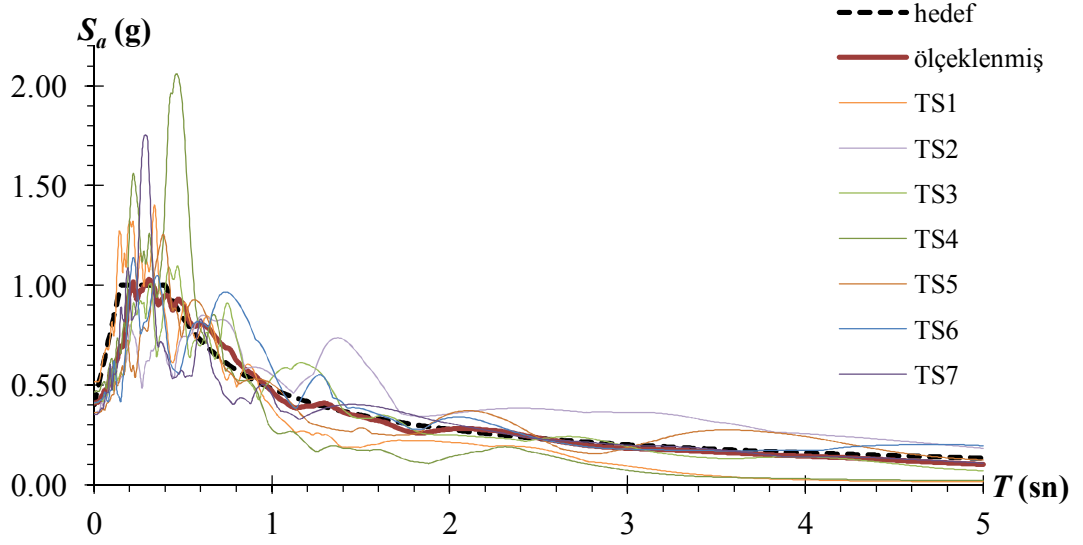
| Kayıt Kodu | PEER NGA Kayıt Numarası | Yer             | Yıl  | İstasyon Adı  | Şiddet | Kırılma Mekanizması | R <sub>jb</sub> (km) | R <sub>rup</sub> (km) | PGA (m/s) | Kayıt Süresi | Anlamlı Süre | Zarf Süre | Ölçekleme Katsayısı ( $\alpha_{AT}$ ) |
|------------|-------------------------|-----------------|------|---------------|--------|---------------------|----------------------|-----------------------|-----------|--------------|--------------|-----------|---------------------------------------|
| TS8        | 448                     | Morgan Hill     | 1984 | Anderson Dam  | 6.19   | yanal atım          | 3.2                  | 3.3                   | 0.368     | 56.640       | 15.690       | 24.290    | 1.80                                  |
| TS9        | 901                     | Big Bear-01     | 1992 | Big Bear Lake | 6.46   | yanal atım          | 7.5                  | 9.4                   | 0.321     | 60.000       | 11.430       | 15.650    | 1.65                                  |
| TS10       | 1106                    | Kobe, Japan     | 1995 | KJMA          | 6.90   | yanal atım          | 0.9                  | 1.0                   | 0.234     | 47.980       | 9.680        | 16.280    | 0.68                                  |
| TS11       | 1107                    | Kobe, Japan     | 1995 | Kakogawa      | 6.90   | yanal atım          | 22.5                 | 22.5                  | 0.367     | 40.950       | 13.270       | 18.700    | 2.00                                  |
| TS12       | 1176                    | Kocaeli, Turkey | 1999 | Yarımca       | 7.51   | yanal atım          | 1.4                  | 4.8                   | 0.254     | 34.995       | 14.765       | 17.795    | 1.05                                  |
| TS13       | 1602                    | Duzce, Turkey   | 1999 | Bolu          | 7.14   | yanal atım          | 12.0                 | 12.0                  | 0.333     | 55.890       | 12.520       | 14.850    | 1.64                                  |
| TS14       | 1787                    | Hector Mine     | 1999 | Hector        | 7.13   | yanal atım          | 10.3                 | 11.7                  | 0.310     | 49.990       | 14.140       | 23.450    | 2.00                                  |

Burada,

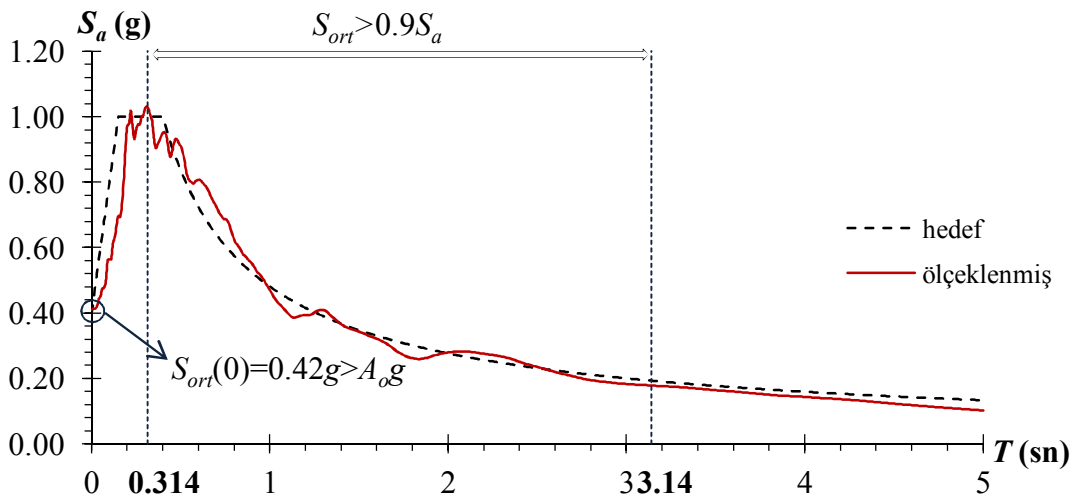
R<sub>jb</sub> : Fay düzlemine Joyner-Boore mesafesi

R<sub>rup</sub> : Fay düzlemine en kısa mesafe

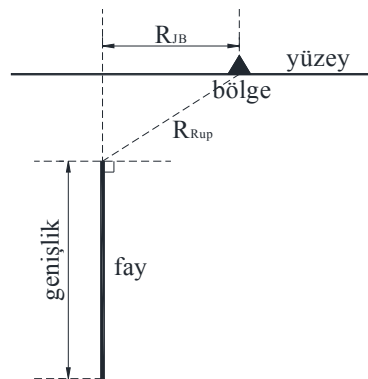
PGA : En yüksek yer hareketi ivmesi değeri (*peak ground acceleration*)



Şekil 4.7 : Yatay deprem kayıtlarının ve ortalamasının ivme spektrumu.



Şekil 4.8 : Yatay deprem kayıtlarının ortalama ivme spektrumu.



Şekil 4.9 : Yanal atımlı fayda fay geometrisi ve mesafe ölçüleri.

## 4.2 Yük kombinasyonları

Doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanındaki analizlerde aşağıda izelge (4.5) ve (4.6)'da verilen deprem yükü kombinasyonları kullanılmıştır. Doğrusal analizlerde, deprem yükleri her iki yatay doğrultuda ve düşeyde etkililmiŐtir. Ayrıca, doğrusal analizlerde ivme değerleri davranış katsayısı ( $R$ ) ile azaltılmıŐtır. Davranış katsayısı ( $R$ ), x doğrultusu için 6.9, y doğrultusu ve düşey doğrultu için 7 olarak alınmıştır. Doğrusal olmayan analizlerde ise deprem yükleri tek sadece x doğrultusunda ve düşeyde etkililmiŐtir. Doğrusal olmayan analizde süperpozisyon geçerli olmadığından ivme kaydı etkililmeden önce, düşey yükler altında (G+Q) doğrusal olmayan analiz yapıldıktan sonra ivme kayıtları etkililmiŐtir.

**Çizelge 4.5 :** Doğrusal analizde kullanılan deprem yükü kombinasyonları.

| Kombinasyon | $E_x$  | $E_y$  | $E_v$ |
|-------------|--------|--------|-------|
| TH1         | TS1    | 0.3TS7 | TS10  |
| TH2         | TS2    | 0.3TS3 | TS11  |
| TH3         | TS3    | 0.3TS2 | TS8   |
| TH4         | TS4    | 0.3TS5 | TS13  |
| TH5         | TS5    | 0.3TS4 | TS9   |
| TH6         | TS6    | 0.3TS1 | TS14  |
| TH7         | TS7    | 0.3TS6 | TS12  |
| TH8         | 0.3TS7 | TS1    | TS10  |
| TH9         | 0.3TS3 | TS2    | TS11  |
| TH10        | 0.3TS2 | TS3    | TS8   |
| TH11        | 0.3TS5 | TS4    | TS13  |
| TH12        | 0.3TS4 | TS5    | TS9   |
| TH13        | 0.3TS1 | TS6    | TS14  |
| TH14        | 0.3TS6 | TS7    | TS12  |

**Çizelge 4.6 :** Doğrusal olmayan analizde kullanılan deprem yükü kombinasyonları.

| Kombinasyon | $E_x$ | $E_v$ |
|-------------|-------|-------|
| NLTH1       | TS1   | TS10  |
| NLTH2       | TS2   | TS11  |
| NLTH3       | TS3   | TS8   |
| NLTH4       | TS4   | TS13  |
| NLTH5       | TS5   | TS9   |
| NLTH6       | TS6   | TS14  |
| NLTH7       | TS7   | TS12  |

## 4.3 Doğrusal Olmayan Hesap İçin Analiz Modeli Oluşturulması

Binanın tasarımı için kullanılan analiz modeli, bu analiz içinde kullanılmıştır. Yalnız bu modelden farklı olarak DBYBHY(2007) 7.6.4.6 doğrultusunda betonarme



elemanların tüm kesitlerinde çatlamış kesite ait eğilme rijitlikleri dikkate alınmıştır. Ayrıca yapısal elemanların doğrusal olmayan davranışları, yığılı plastik davranış modeli ile modellenmiştir.

#### 4.3.1 Beton ve donatı çeliği için malzeme modelleri

Belirli bir yük değerinin üzerinde yüklenen beton ve çeliğin gerilme-şekildeğiştirme bağıntıları doğrusal değildir. Gerçekte daha karmaşık olan bu bağıntıların hesaplamalarda bazı kabuller yapılarak kullanılması gerektiği açıktır. Yapılan bu kabullerin çözüm üzerindeki etkisi oldukça fazladır. Literatürde beton ve donatı çeliği için birçok model mevcuttur. Yapılan analizde DBYBHY(2007) ek 7B'de verilen malzeme modelleri kullanılmıştır.

##### 4.3.1.1 Sargılı ve sargısız beton için gerilme-şekil değiştirme bağıntıları

Uygulamada betonarme elemanlar sargı donatıları ile sarılmaktadır. Bu sargı donatıları betonarme elemanların kesme güvenliğini sağlamakla birlikte özellikle yüksek miktarda aksenal kuvvet etkisindeki elemanlarda, sargı donatısı ile sarılmış çekirdek kısmın aksenal yük etkisindeki genişlemesini engelleyerek ek bir basınç gerilmesi uygulamaktadır. Yapılan çalışmalar sonucunda betonun üç eksende yüklenmesi durumunda tek eksenli yükleme durumuna göre dayanımının ve şekil değiştirme kapasitesinin oldukça arttığı görülmüştür. Oluşan bu sargı etkisi etriye aralığının ( $s$ ) ve çiroz veya etriye köşesi tarafından tutulan boyuna donatı aralığının azalması ve sargı donatısının çapının artması ile artacaktır. Literatürde sargılı beton için de birçok malzeme modeli mevcuttur. Yönetmelikte başka bir malzeme modeli kullanılmadıkça Mander sargılı beton modelinin kullanılması önerilmiştir. Aşağıda malzeme modeli açıklanmış ve örnek bir kolon kesiti için bu modele göre gerilme-şekildeğiştirme bağıntısı elde edilmiştir.

(a) Sargılı betonda beton basınç gerilmesi  $f_c$ , basınç birim şekildeğiştirmesi  $\epsilon_c$ 'nin fonksiyonu olarak (4.20)'de verilmiştir.

$$f_c = \frac{f_{cc} x^r}{r-1+x^r} \quad (4.20)$$

Bu bağıntıdaki sargılı beton dayanımı  $f_{cc}$  ile sargısız beton dayanımı  $f_{co}$  arasındaki ilişki aşağıda verilmiştir. Sargısız beton dayanımı  $f_{co}$ , karakteristik beton dayanımı  $f_{ck}$ 'nin %85'i olarak alınmıştır.

$$f_{cc} = \lambda_c f_{co} \quad ; \quad \lambda_c = 2.254 \sqrt{1 + 7.94 \frac{f_e}{f_{co}}} - 2 \frac{f_e}{f_{co}} - 1.254 \quad (4.21)$$

Buradaki  $f_e$  etkili sargılama basıncı, dikdörtgen kesitlerde birbirine dik iki doğrultu için aşağıda verilen değerlerin ortalaması olarak alınabilir.

$$f_{ex} = k_e \rho_x f_{yw} \quad ; \quad f_{ey} = k_e \rho_y f_{yw} \quad (4.22)$$

Bu bağıntılarda  $f_{yw}$  enine donatının akma dayanımını,  $\rho_x$  ve  $\rho_y$  ilgili doğrultulardaki enine donatıların hacımsal oranlarını,  $k_e$  ise aşağıda tanımlanan sargılama etkinlik katsayısı' nı göstermektedir.

$$k_e = \left(1 - \frac{\Sigma a_i^2}{6b_o h_o}\right) \left(1 - \frac{s}{2b_o}\right) \left(1 - \frac{s}{2h_o}\right) \left(1 - \frac{A_s}{b_o h_o}\right)^{-1} \quad (4.23)$$

Burada  $a_i$  kesit çevresindeki düşey donatıların eksenleri arasındaki uzaklığı,  $b_o$  ve  $h_o$  göbek betonunu sargılayan etriyelerin eksenleri arasında kalan kesit boyutlarını,  $s$  düşey doğrultuda etriyelerin eksenleri arasındaki aralığı,  $A_s$  ise boyuna donatı alanını göstermektedir. Denklem (4.20)'deki normalize edilmiş beton birim şekildeğiştirmesi  $x$  ile  $r$  değişkenine ilişkin bağıntılar aşağıda verilmiştir.

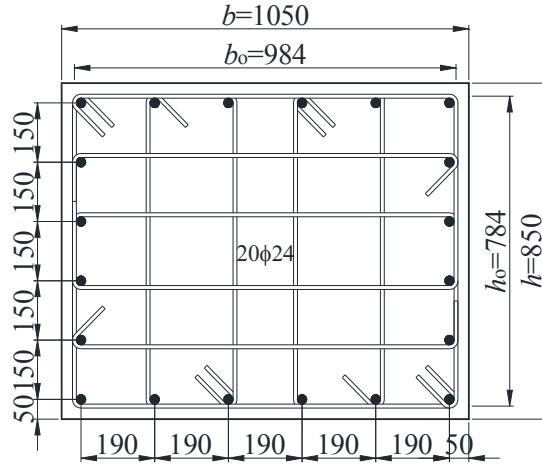
$$x = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cc}} \quad ; \quad \varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co} [1 + 5(\lambda_c - 1)] \quad ; \quad \varepsilon_{co} \cong 0.002 \quad (4.24)$$

$$r = \frac{E_c}{E_c - E_{sec}} \quad ; \quad E_c \cong 5000 \sqrt{f_{co}} \text{ [MPa]} \quad ; \quad E_{sec} = \frac{f_{cc}}{\varepsilon_{cc}} \quad (4.25)$$

Burada  $\rho_s$  toplam enine donatının hacımsal oranını (dikdörtgen kesitlerde  $\rho_s = \rho_x + \rho_y$ ),  $\varepsilon_{su}$  enine donatı çeliğinde maksimum gerilme altındaki birim uzama şekildeğiştirmesini göstermektedir.

**(b)** Sargılı beton için verilen denklem (4.20),  $\varepsilon_c = 0.004$ 'e kadar olan bölgede sargısız beton için de geçerlidir. Sargısız betonda etkin sargılama basıncı  $f_e = 0$  ve buna bağlı olarak (4.21)'den  $\lambda_c = 1$  olacağından (4.24) ve (4.25)'de  $f_{cc} = f_{co} = 0.85 f_{ck}$  ve  $\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co}$  alınacaktır.  $\varepsilon_c = 0.005$ 'de  $f_c = 0$  olarak tanımlanır.  $0.004 < \varepsilon_c \leq 0.005$  aralığında gerilme – şekildeğiştirme ilişkisi doğrusaldır.

Şekil 4.10'da verilen kolon için örnek hesap yapılmıştır.



Şekil 4.10 : Örnek kolon kesiti.

$$k_e = \left(1 - \frac{5(190^2 + 150^2)}{6 \times 984 \times 784}\right) \left(1 - \frac{100}{2 \times 984}\right) \left(1 - \frac{100}{2 \times 784}\right) \left(1 - \frac{9048}{984 \times 784}\right)^{-1} = 0.84$$

$$\rho_x = \frac{6 \times (\pi \times 10^2 / 4)}{100 \times 850} = 5.54 \times 10^{-3} \quad ; \quad \rho_y = \frac{6 \times (\pi \times 10^2 / 4)}{100 \times 1050} = 4.49 \times 10^{-3}$$

$$\left. \begin{aligned} f_{ex} &= 0.84 \times 0.00554 \times 420 = 1.96 \text{ MPa} \\ f_{ey} &= 0.84 \times 0.00449 \times 420 = 1.58 \text{ MPa} \end{aligned} \right\} f_e = 1.77 \text{ MPa}$$

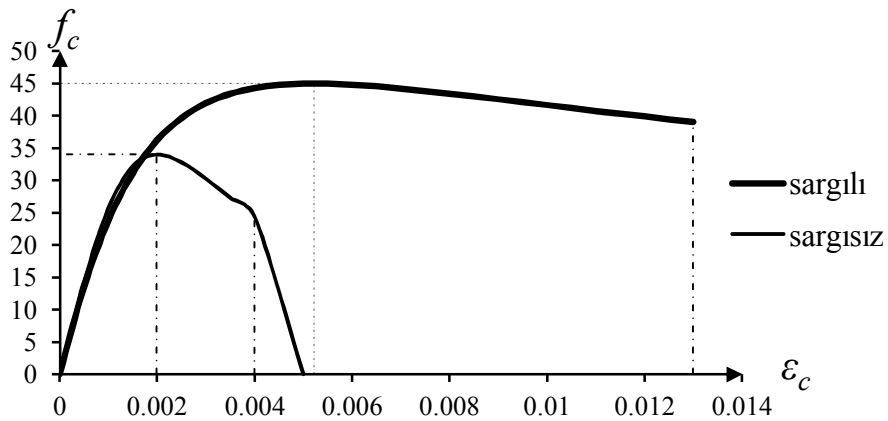
$$\lambda_c = 2.254 \sqrt{1 + 7.94 \frac{1.77}{0.85 \times 40}} - 2 \frac{1.77}{0.85 \times 40} - 1.254 = 1.32$$

$$f_{cc} = 1.32 \times 0.85 \times 40 = 44.88 \text{ MPa} \quad ; \quad \varepsilon_{cc} = 0.002 [1 + 5(1.32 - 1)] = 5.2 \times 10^{-3}$$

$$\varepsilon_{cu} = 0.004 + \frac{1.4 \times (5.54 + 4.49) \times 10^{-3} \times 420 \times 0.10}{44.88} = 0.013$$

$$E_c = 5000 \sqrt{0.85 \times 40} \cong 29155 \text{ MPa} \quad ; \quad E_{sec} = \frac{44.88}{5.2 \times 10^{-3}} \cong 8631 \text{ MPa}$$

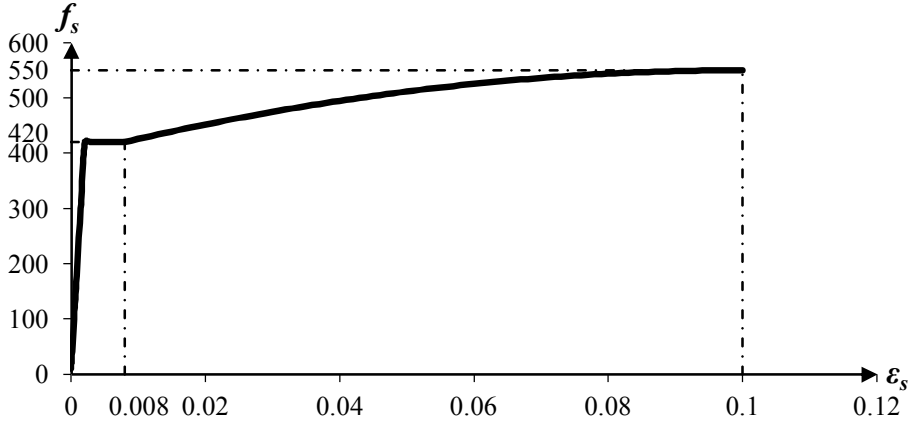
$$r = \frac{29155}{29155 - 8631} = 1.42 \quad ; \quad x = \frac{\varepsilon_c}{5.2 \times 10^{-3}} \quad ; \quad f_c = \frac{44.88 \times x \times r}{r - 1 + x^r}$$



Şekil 4.11 : Örnek kolon sargılı betonun  $f$ - $\varepsilon$  eğrisi.

#### 4.3.1.2 Donatı çeliği için gerilme-şekildeğiştirme bağıntıları

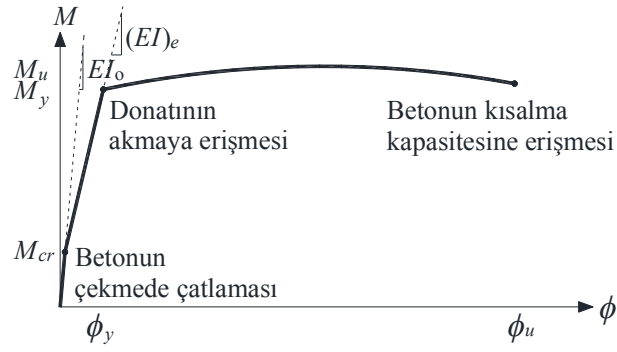
Donatı çeliğinin gerilme-şekildeğiştirme bağıntısı incelenecek olursa, akma gerilmesi ( $f_y$ ) olarak adlandırılan değere kadar doğrusal davranış gösterir. Doğrusal davranışın sonunda gerilmenin çok az değiştiği bir akma bölgesi görülür. Akma bölgesinin sonunda da gerilmenin belirgin bir biçimde arttığı pekleşme bölgesi görülür. Bu bölge kopma gerilmesine ( $f_{su}$ ) kadar devam eder.



Şekil 4.12 : Donatı çeliğinin  $f$ - $\varepsilon$  eğrisi.

#### 4.3.2 Moment-eğrilik ilişkisi

Eğilme momenti veya eğilmeye ek olarak aksenal kuvvetin etkisindeki betonarme bir kesitin davranışı moment-eğrilik ilişkisinden izlenebilir. Küçük moment değerleri için, betonda çekme gerilmelerini karşılayacağı için kesitin eğilme rijitliğine tüm kesitin ataleti dahil olur. Çekme bölgesindeki beton çatladıktan sonra kesitin eğilme rijitliğinde azalma meydana gelir. Bu noktadan sonra çekme gerilmelerinin sadece donatı tarafından karşılandığı kabul edilir. Gerçekte tarafsız eksene yakın bir bölgede çekmeye betonun bir miktar katkısı bulunmaktadır. Ancak, hem daha önceden bahsedilen yapılan kabullere kıyasla, hem de bu gerilmelerin bileşkesinin moment kolunun kısa olmasından dolayı betonun çekmeye olan katkısının ihmal edilmesinin sonuç üzerindeki etkisi yok denecek kadar azdır. Moment değerindeki artışla birlikte çekme bölgesindeki donatı akma değerine erişir. Bu eşik moment değerine akma momenti ( $M_y$ ), eğrilige ise akma eğriliği ( $\phi_y$ ) denir. Bu noktadan sonra kesitin elastik ötesi davranışı ve donatının pekleşmesinin davranışa etkisi görülebilir. Donatının şekil değıştirme kapasitesi büyük olduğu için genellikle beton ezilene kadar kesit plastik şekil değıştirme yaparak moment taşımaya devam eder.



**Şekil 4.13 :** Betonarme bir elemana ait moment-eğrilik ilişkisi.

Kesitin dayanımda önemli bir azalma olmadan oluşan en büyük eğrilik değerinin akma eğrilğine oranına süneklik ( $\mu$ ) denmektedir. Süneklik, yapının deprem yükleri altında istenen güvenliğin sağlanabilmesi için çok önemli bir parametredir. Deprem gibi yapıyı elastik sınırlarının ötesinde zorlayabilecek bir yükleme altında, sünek olarak tasarlanmış bir yapıda zorlanan kesitlerin taşıma gücünde önemli bir azalma olmadan plastik şekil değiştirme yapabilmesi ve betonarmenin uyum özelliğinden dolayı daha az zorlanan kesitlerin de taşımaya katkıda bulunmasından dolayı yapının göçmesi önlenir. Ancak yapıda müsaade edilen bu kontrollü hasarın yapıyı mekanizma durumuna getirmemesine dikkat edilmelidir. Bu sebeple DBYBHY(2007)'de kolonların kirişlerden güçlü olması koşulu getirilmiştir. Ayrıca çekmeye çalışan donatının konstrüktif kurallara uygun olarak iyi bir şekilde ankre edilmiş olması önemlidir. Betonarme bir eleman doğal olarak birleşmelerinin özelliğini yani beton ve çeliğin özelliklerini sergilemektedir. Beton gevrek bir malzeme olduğundan güç tükenmesinin ilk önce betonda değil çelikte meydana gelmesi kesitin sünek bir davranış sergilemesine neden olur. Eğilme etkisindeki bir elemanda basınç bloğu derinliğinin azaltılması yani kesite basınç donatısı konulması, çekme donatısı miktarının sınırlandırması sünekliği arttırmaktadır. Ayrıca kesitte sargı donatısı bulunması betonun kısalma yapabilme kapasitesini arttırdığından sünekliği arttırmaktadır. Eksenel yüke maruz elemanlarda betonun davranışı etkin olduğu için ancak sınırlı bir miktarda süneklik sağlanabilir. Bu nedenle yönetmeliklerde eksenel kuvvet için sınırlamalar konulmuştur.

#### 4.3.3 Çatlamış kesite ait eğilme rijitliklerinin tanımlanması

Betonarme taşıyıcı sistemlerin analizinde, yükleme altında oluşacak iç tesirler elemanların rijitlikleri oranında sistemde dağılacığından ve taşıyıcı sistemde

oluşacak yerdeğiştirmelerin hesaplanabilmesi için elemanlara ait rijitliklerin bilinmesi gerektiğinden, rijitlik değerlerinin uygun bir şekilde tanımlanması önemlidir. Eğilme etkisi altındaki betonarme bir kesitte belirli bir sınır değere kadar beton da çekme gerilmeleri karşılayacak ve bu sınır değerinde çekme bölgesinde çatlaklar oluşup kesitin eğilme rijitliği azalacaktır. Bu davranış şekil (4.13)'te açıkça görülebilir. Betonarme bir kesitte eğilme rijitliği, kayma ve normal kuvvet rijitliğine nazaran oldukça büyüktür. Hesaplamalarda normal kuvvet rijitliğinin ve çoğu durumda kesme rijitliğinin etkisinin ihmal edilmesinin yapılan kabullere kıyasla sonuçlara etkisi ihmal edilebilecek kadar azdır. DBYBHY(2007) 7.6.4.6 çizelge (4.7) deki değerlerin kullanılmasını öngörmüştür.

**Çizelge 4.7 : Çatlamış kesite ait eğilme rijitlikleri.**

|  | $(EI)_e$   |
|--|------------|
| Kirişlerde   | $0.40EI_0$ |
| Kolon ve perdelerde, $N_D/(A_c f_{cm}) \leq 0.10$ olması durumunda | $0.40EI_0$ |
| $N_D/(A_c f_{cm}) \geq 0.40$ olması durumunda                      | $0.80EI_0$ |

Burada,

$(EI)_e$  : Çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitliği

$EI_0$  : Çatlamamış kesitin eğilme rijitliği

$N_D$  : Düşey yükler altında hesaplanan aksenal basınç

$A_c$  : Kesit alanı

$f_{cm}$  : Mevcut beton dayanımı

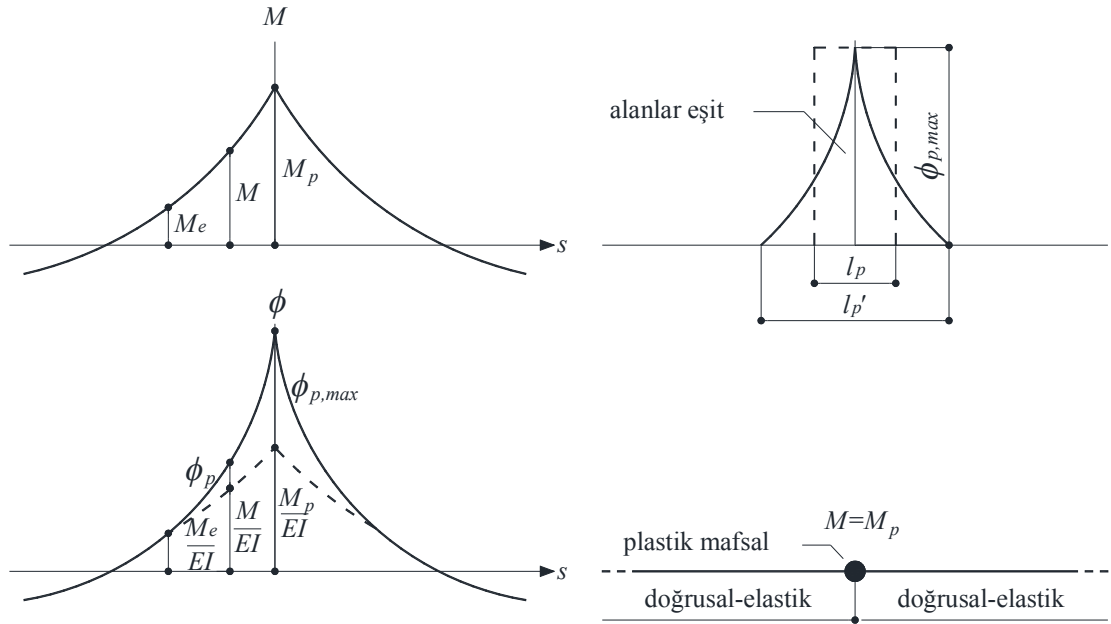
Kolon ve perdelerde çatlamış kesit rijitliğinin aksenal kuvvete bağlı olduğu görülmektedir. Bunun sebebi kesitte basınç aksenal kuvveti bulunmasının çekme bölgesini azaltması ve dolayısı ile çatlak miktarını azaltmasıdır. Bu doğrultuda kesitteki basınç miktarının artması ile çatlamış kesit rijitliğinin arttığıda söylenebilir. Basınç kuvvetinin ara değerleri için doğrusal enterpolasyon yapılabilir.

Örnek olarak tek serbestlik dereceli bir konsol elemanın sadece eğilme altında oluşacak yerdeğiştirme değerinin  $\delta = Ph^3/3EI$ , rijitliğinin  $k=3EI/h^3$  ve periyodunun  $T=2\pi(m/k)^{1/2}$  olduğu hatırlanırsa, yatay yük etkisi altında çatlamış en kesit değerleri kullanılması durumunda yerdeğiştirmelerin 1.25 (1/0.8) ile 2.5 (1/0.4) arasında artacağı, periyodun ise 1.12  $[(1/0.8)^{1/2}]$  ile 1.58  $[(1/0.4)^{1/2}]$  arasında artacağı

söylenbilir. Çatlamış kesit değerleri göz önüne alınarak düzenlenmiş modelde periyot 2.18 saniye olarak bulunmuştur. Önceki modelin periyodu 1.57 saniye olduğuna göre periyot değeri 1.39 katına çıkmıştır. Ayrıca yapının periyodunun artması sonucunda, spektral ivme eğrisinin düşey kolu üzerinde bulunulması durumunda yapıya etkiyecek olan deprem yükü  $0.91 [(1/1.12)^{0.8}]$  ile  $0.69 [(1/1.58)^{0.8}]$  oranında azalır.

#### 4.3.4 Plastik mafsalsal kabulü

Eğilme momenti etkisi altındaki bir kesitte çekme donatısının akmaya ulaşır, yaklaşık olarak sabit bir moment altında dönme yapması mafsalsal davranışına benzetilebilir. Aradaki fark bu bölgede momentin sıfır değil, kesitin taşıma gücü momentine eşit olmasıdır. Yalnız kesitin bu şekilde bir davranış sergilemesi için yeterli süneklığe sahip olması unutulmamalıdır. Plastik şekil değiştirmelerin yoğunlaştığı kabul edilen ve plastik mafsalsal olarak isimlendirilen bu bölgenin uzunluğu, kesitin moment eğrilik ilişkisine, eğilme momentinin değişimine, kesit yüksekliğine ve iç kuvvetlere bağlıdır. Literatürde bu bölgenin uzunluğu için birçok farklı öneri bulunmaktadır. Yapılan analizlerde DBYBHY(2007) 7.6.4.1 doğrultusunda, bu uzunluk çalışan doğrultudaki kesit boyutunun yarısı olarak alınmıştır.

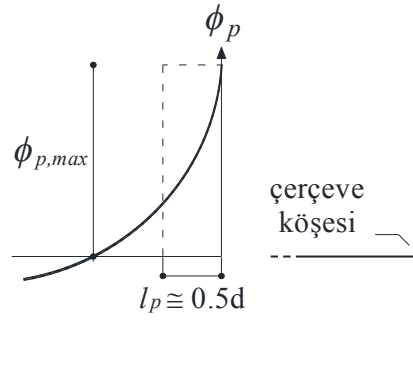


Şekil 4.14 : Plastik mafsalsal hipotezi.

Yığılı plastik şekil değiştirmeyi temsil eden plastik kesitin, teorik olarak yukarıda açıklanan plastik şekil değiştirme bölgesinin tam ortasına yerleştirilmesi gerekmektedir. DBYBHY(2007) 7.6.4.3'te yerleşim için aşağıdaki yaklaşık idealleştirmeler uygun görülmüştür.

(a) Kolon ve kirişlerde plastik mafsallar, kolon kiriş birleşim bölgesinin hemen dışına, diğer deyişle kolon veya kiriş açıklıklarının uçlarına konulabilir. Ancak düşey yüklerin etkisinden dolayı kirişlerin açıklıklarında da plastik mafsalların oluşma olasılığının artacağı unutulmamalıdır.

(b) Betonarme perdelerde, plastik mafsallar her katta perde kesitinin alt ucuna konulabilir. U,T,L veya kutu kesitli perdeler, tüm kolları birlikte çalışan tek bir perde gibi idealleştirilebilir.



Şekil 4.15 : Plastik mafsal yerleşimi.

#### 4.4 Analiz Sonuçları

Zaman tanım alanında doğrusal elastik analiz (ZTADEA) sonucunda elde edilen iç kuvvet değerleri mod birleştirmeden elde edilen iç kuvvet değerleri ile karşılaştırılmıştır. Daha önceden de bahsedildiği üzere, deprem yükünün yatay bileşeni doğrusal analizlerde her iki doğrultuda, doğrusal olmayan analizlerde ise sadece x doğrultusunda yapıya etkilmiştir. Bu sebeple mod birleştirme analizleri de aynı doğrultudaki yüklemeler altında ve ek dış merkezlik alınmadan yapılmıştır.

##### 4.4.1 Zaman tanım alanında doğrusal elastik analiz sonuçları

Binanın 7 adet ana yatay doğrultusu x ve 7 adet ana yatay doğrultusu y olmak üzere çizelge 3.5'te verilen 14 farklı deprem yükü kombinasyonu için zaman tanım alanında doğrusal elastik analizi yapılmıştır. Deprem yüklemelerinden elde edilen



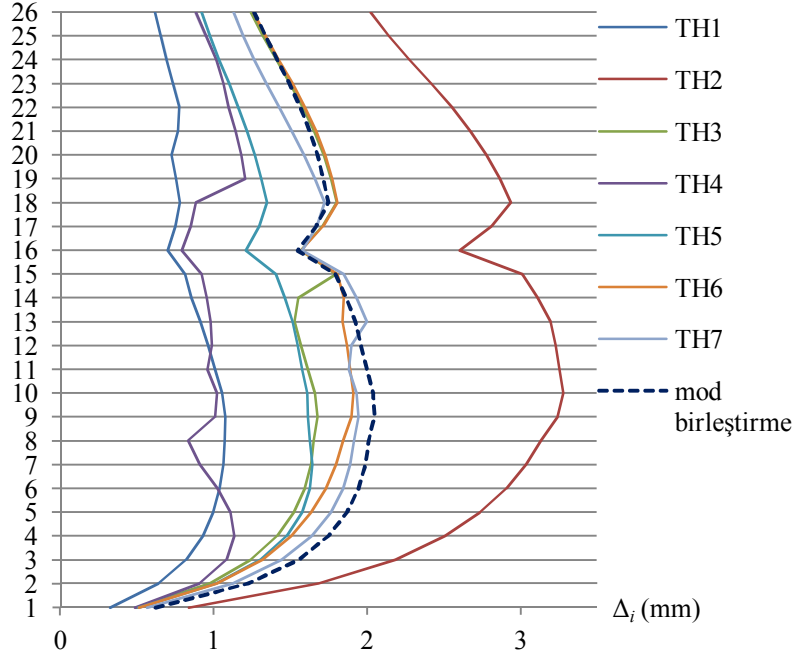
değerler G+Q ve 0.9G yüklemelerinden elde edilen değerler ile süperpoze edilmiştir. DBYBHY(2007) 2.3.2.4'e göre düşey yükler ve depremin etkisinden oluşan iç kuvvetlerin artırılması öngörülen elemanlarda mod birleştirme yöntemi ve ZTADEA ile bulunan iç kuvvet değerleri karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma yapılan kesitler şekil 4.16'da gösterilmiştir. ZTADEA ve mod birleştirme yönteminden elde edilen taban kesme kuvvetleri çizelge 4.8 de verilmiştir. Zaman tanım alanında doğrusal elastik analizlerinden elde edilen taban kesme kuvvetlerinin ortalamasına bakıldığında mod birleştirme analizinden elde edilen taban kesme kuvveti değerlerinden x doğrultusunda %15 y doğrultusunda %21 daha azdır.

**Çizelge 4.8 :** Mod birleştirme ve ZTADEA den elde edilen taban kesme kuvvetleri.

| Yükleme      |     | $V_{tx}$ (kN) | ZTADEA/MB | Yükleme      |     | $V_{ty}$ (kN) | ZTADEA/MB |
|--------------|-----|---------------|-----------|--------------|-----|---------------|-----------|
| $E_x+0.3E_y$ |     | +4913.37      |           | $E_y+0.3E_x$ |     | +4649.90      |           |
| TH1          | Max | 2704.93       | 0.55      | TH8          | Max | 2416.05       | 0.52      |
|              | Min | -2136.06      | 0.43      |              | Min | -2413.33      | 0.52      |
| TH2          | Max | 6868.78       | 1.40      | TH9          | Max | 3838.58       | 0.83      |
|              | Min | -6433.30      | 1.31      |              | Min | -4669.76      | 1.00      |
| TH3          | Max | 4041.53       | 0.82      | TH10         | Max | 2799.38       | 0.60      |
|              | Min | -4189.15      | 0.85      |              | Min | -4437.86      | 0.95      |
| TH4          | Max | 4494.16       | 0.91      | TH11         | Max | 4911.05       | 1.06      |
|              | Min | -3684.27      | 0.75      |              | Min | -4412.21      | 0.95      |
| TH5          | Max | 4219.77       | 0.86      | TH12         | Max | 4015.09       | 0.86      |
|              | Min | -3594.09      | 0.73      |              | Min | -2931.38      | 0.63      |
| TH6          | Max | 3563.14       | 0.73      | TH13         | Max | 3548.28       | 0.76      |
|              | Min | -4205.13      | 0.86      |              | Min | -3849.60      | 0.83      |
| TH7          | Max | 3448.86       | 0.70      | TH14         | Max | 3311.64       | 0.71      |
|              | Min | -4682.24      | 0.95      |              | Min | -3657.25      | 0.79      |
| Ortalama     |     | 4161.81       | 0.85      | Ortalama     |     | 3657.96       | 0.79      |

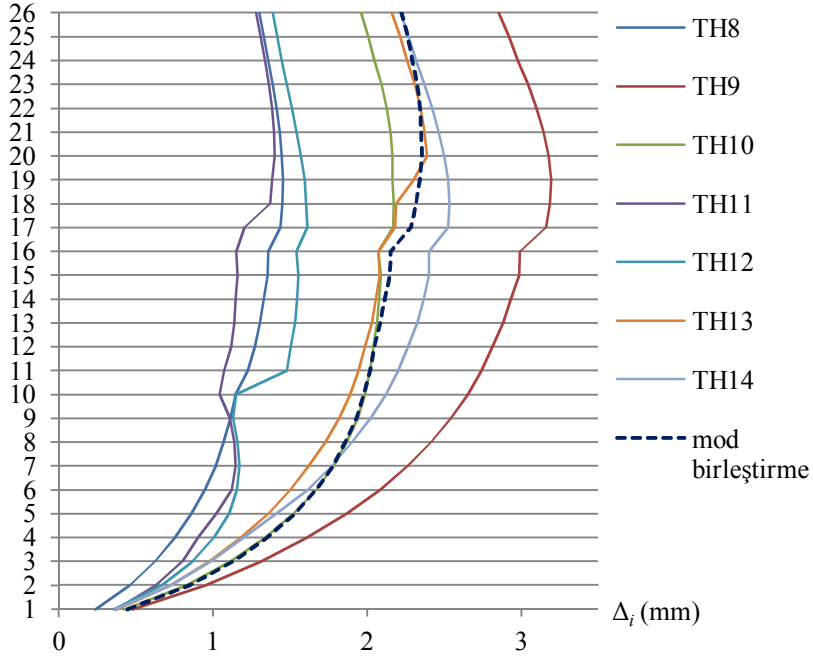
X doğrultusunda süreksizliğin bulunduğu katta görel kat öteleme değerlerinin azaldığı görülmüştür. Bunun sebebi yüksek kirişten dolayı kolon serbest yükseklik değerinin azalmasıdır. Süreksizliğin bulunduğu katın üzerinde ise rijitliğin azalmasından dolayı kat ötelemelerinde beklenildiği üzere artış gözlenmiştir.

Y doğrultusundaki görel kat ötelemelerinde ise, ilgili kattaki kolonlarda düşey süreksizlik ve buna bağlı olarak yüksek kiriş bulunmadığından azalma gözlenmezken, bu katın üzerinde rijitliğin azalmasından dolayı artış görülmüştür.

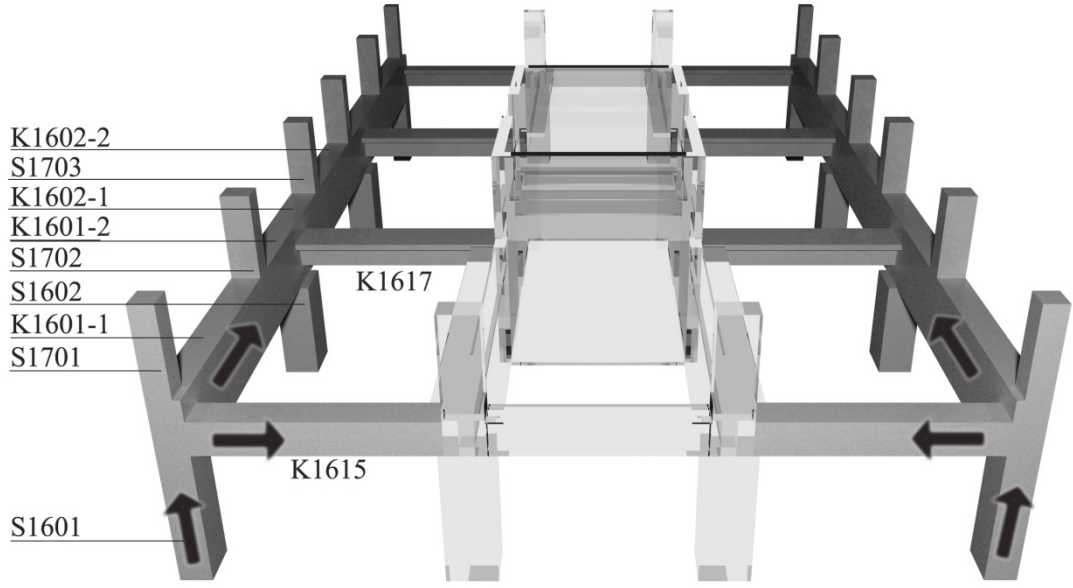


Şekil 4.16 : x doğrultusundaki görel kat ötelemeleri.

Şekil 4.16 ve çizelge 4.8'den görüleceği üzere yatay deprem etkileri için TH2 yüklemesi hariç zaman tanım alanında doğrusal elastik analizlerden elde edilen değerlerin mod birleştirme yöntemi ile elde edilen değerlerden daha az olduğu söylenebilir.



Şekil 4.17 : y doğrultusundaki görel kat ötelemeleri.



**Şekil 4.18** : Karşılaştırma yapılan kritik elemanlar.

NOT: Simetrik elemanların isimleri gösterilmemiştir. Okların yönü elemanların *i* ucundan *j* ucuna gidiş yönünü göstermektedir.

$(E_x+0.3E_y+E_v)$  deprem yüklemesi için ZTADEA'lerden elde edilen iç kuvvetlerin ortalaması ile mod birleştirme yöntemi ile elde edilen iç kuvvetler karşılaştırıldığında, süreksiz kolonların mesnetlendiği yüksek kirişte moment ve kesme kuvveti değerlerinde artış olmadığı görülmüştür. Süreksiz kolonlar ile yüksek kirişin mesnetlendiği kolonların moment, kesme kuvveti ve maksimum eksenel kuvvet değerlerinde artış olmadığı, minimum eksenel kuvvet değerlerinde %10~55 aralığında artış olduğu görülmüştür.

$(E_y+0.3E_x+E_v)$  deprem yüklemesi için ise, süreksiz kolonlara mesnetlik yapan yüksek kirişin bağlandığı düğüm noktalarına birleşen kirişlerin moment ve kesme kuvveti değerlerinde artış olmadığı görülmüştür. Süreksiz kolonlar ile yüksek kirişin mesnetlendiği kolonların ana deprem doğrultusundaki moment, kesme kuvveti ve maksimum eksenel kuvvet değerlerinde artış olmadığı, minimum eksenel kuvvet değerlerinde %15~50 aralığında artış olduğu görülmüştür.

Her bir ZTADEA sonucu oluşan iç kuvvet değerleri **EK B'**de verilmiştir. Sadece TH2 ve TH9 deprem yüklemeleri için ilgili elemanların iç kuvvet değerlerinde artış olduğu görülmüştür. Çizelge 4.8'de verilen taban kesme kuvvetleri incelenecek olursa bu artışın sebebinin depremin düşey bileşeni ile ilgili değil, yatay depremin şiddeti ile ilgili olduğu sonucuna varılabilir.

**Çizelge 4.9 :**  $E_x+0.3E_y+E_v$  deprem yüklemeleri için kritik kesitlerdeki iç kuvvetler.

|                         |                  | Mod Birleştirme |         |          | ZTADEA ortalama |             |             |             |             |             |          |         |      |
|-------------------------|------------------|-----------------|---------|----------|-----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------|---------|------|
|                         |                  | V (kN)          | M (kNm) | N (kN)   | V (kN)          | $\alpha_V$  | M (kNm)     | $\alpha_M$  | N (kN)      | $\alpha_N$  |          |         |      |
| yüksek kiriş            | K1601-1          | max             | i       | -        | 434.50          | -           | -           | -           | 306.66      | 0.71        | -        | -       |      |
|                         |                  |                 | j       | 16.53    | 2277.95         | -           | -           | -           | 2144.86     | 0.94        | -        | -       |      |
|                         |                  | min             | i       | -839.97  | -1277.10        | -           | -780.75     | 0.93        | -1140.30    | 0.89        | -        | -       |      |
|                         |                  |                 | j       | -713.59  | -               | -           | -654.37     | 0.92        | -           | -           | -        | -       |      |
|                         | K1601-2          | max             | i       | 1545.95  | 1994.07         | -           | 1446.59     | 0.94        | 1919.26     | 0.96        | -        | -       |      |
|                         |                  |                 | j       | 1628.82  | -               | -           | 1529.46     | 0.94        | -           | -           | -        | -       |      |
|                         |                  | min             | i       | -        | -               | -           | -           | -           | -           | -           | -        | -       |      |
|                         |                  |                 | j       | -        | -3050.92        | -           | -           | -           | -2793.95    | 0.92        | -        | -       |      |
|                         | K1602-1          | max             | i       | -        | -               | -           | -           | -           | -           | -           | -        | -       |      |
|                         |                  |                 | j       | -        | 1008.09         | -           | -           | -           | 943.33      | 0.94        | -        | -       |      |
|                         |                  | min             | i       | -2064.86 | -3134.02        | -           | -1892.82    | 0.92        | -2864.07    | 0.91        | -        | -       |      |
|                         |                  |                 | j       | -2009.61 | -               | -           | -1837.57    | 0.91        | -           | -           | -        | -       |      |
| K1602-2                 | max              | i               | 91.21   | 1159.84  | -               | 67.92       | 0.74        | 1019.39     | 0.88        | -           | -        |         |      |
|                         |                  | j               | 196.09  | 1161.38  | -               | 173.60      | 0.89        | 1028.41     | 0.89        | -           | -        |         |      |
|                         | min              | i               | -197.58 | -        | -               | -174.51     | 0.88        | -           | -           | -           | -        |         |      |
|                         |                  | j               | -92.51  | -        | -               | -68.66      | 0.74        | -           | -           | -           | -        |         |      |
| <b>ortalama</b>         |                  |                 |         |          | <b>0.88</b>     |             | <b>0.89</b> |             |             |             |          |         |      |
| mesnetlik eden kolonlar | S1601            | max             | i       | 122.51   | 24.69           | -580.37     | 64.90       | 0.53        | 5.66        | 0.23        | -881.80  | 1.52    |      |
|                         |                  |                 | j       | 122.51   | 816.77          | -558.30     | 64.90       | 0.53        | 735.21      | 0.90        | -859.73  | 1.54    |      |
|                         |                  | min             | i       | -591.52  | -234.33         | -2617.17    | -534.52     | 0.90        | -213.78     | 0.91        | -2406.40 | 0.92    |      |
|                         |                  |                 | j       | -591.52  | -193.91         | -2592.65    | -534.52     | 0.90        | -113.64     | 0.59        | -2381.89 | 0.92    |      |
|                         | S1602            | max             | i       | 547.81   | 151.34          | -1622.84    | 430.05      | 0.79        | 116.17      | 0.77        | -1778.42 | 1.10    |      |
|                         |                  |                 | j       | 547.81   | 942.84          | -1587.20    | 430.05      | 0.79        | 773.22      | 0.82        | -1742.78 | 1.10    |      |
|                         |                  | min             | i       | -623.39  | -168.90         | -3600.18    | -511.93     | 0.82        | -138.42     | 0.82        | -3403.22 | 0.95    |      |
|                         |                  |                 | j       | -623.39  | -826.26         | -3560.57    | -511.93     | 0.82        | -647.17     | 0.78        | -3363.62 | 0.94    |      |
|                         | <b>ortalama</b>  |                 |         |          |                 | <b>0.76</b> |             | <b>0.73</b> |             | <b>1.31</b> |          |         |      |
|                         |                  |                 |         |          |                 |             |             |             | <b>0.93</b> |             |          |         |      |
|                         | sürekli kolonlar | S1701           | max     | i        | 47.18           | 51.14       | -415.88     | 31.34       | 0.66        | 34.19       | 0.67     | -597.92 | 1.44 |
|                         |                  |                 |         | j        | 47.18           | 129.82      | -405.47     | 31.34       | 0.66        | 117.12      | 0.90     | -587.52 | 1.45 |
| min                     |                  |                 | i       | -162.57  | -170.98         | -1655.83    | -146.22     | 0.90        | -153.38     | 0.90        | -1525.40 | 0.92    |      |
|                         |                  |                 | j       | -162.57  | -36.18          | -1644.27    | -146.22     | 0.90        | -23.78      | 0.66        | -1513.84 | 0.92    |      |
| S1702                   |                  | max             | i       | 152.33   | 165.15          | -903.36     | 125.14      | 0.82        | 138.53      | 0.84        | -956.45  | 1.06    |      |
|                         |                  |                 | j       | 152.33   | 144.88          | -889.83     | 125.14      | 0.82        | 122.95      | 0.85        | -942.92  | 1.06    |      |
|                         |                  | min             | i       | -159.76  | -152.64         | -1890.56    | -134.41     | 0.84        | -127.35     | 0.83        | -1818.12 | 0.96    |      |
|                         |                  |                 | j       | -159.76  | -118.64         | -1875.53    | -134.41     | 0.84        | -94.63      | 0.80        | -1803.09 | 0.96    |      |
| S1703                   |                  | max             | i       | 116.91   | 107.91          | -651.00     | 88.28       | 0.76        | 76.98       | 0.71        | -785.90  | 1.21    |      |
|                         |                  |                 | j       | 116.91   | 128.30          | -637.48     | 88.28       | 0.76        | 107.37      | 0.84        | -772.37  | 1.21    |      |
|                         |                  | min             | i       | -173.84  | -193.32         | -1808.17    | -147.59     | 0.85        | -165.68     | 0.86        | -1671.58 | 0.92    |      |
|                         |                  |                 | j       | -173.84  | -108.39         | -1793.14    | -147.59     | 0.85        | -86.34      | 0.80        | -1656.55 | 0.92    |      |
| <b>ortalama</b>         |                  |                 |         |          | <b>0.81</b>     |             | <b>0.80</b> |             | <b>1.24</b> |             |          |         |      |
|                         |                  |                 |         |          |                 |             |             | <b>0.94</b> |             |             |          |         |      |

NOT: Diğer simetrik elemanlara ait değerler EK B'de verilmiştir.

**Çizelge 4.10** :  $E_y+0.3E_x+E_v$  deprem yüklemeleri için kritik kesitlerdeki iç kuvvetler.

|                         |                 | Mod Birleştirme |         |          | ZTADEA ortalama |             |             |             |             |             |          |      |
|-------------------------|-----------------|-----------------|---------|----------|-----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------|------|
|                         |                 | V (kN)          | M (kNm) | N (kN)   | V (kN)          | $\alpha_V$  | M (kNm)     | $\alpha_M$  | N (kN)      | $\alpha_N$  |          |      |
| kiriş                   | K1615           | max             | i       | 64.47    | 180.01          | -           | 43.97       | 0.68        | 135.92      | 0.76        | -        | -    |
|                         |                 |                 | j       | 129.33   | 185.02          | -           | 108.84      | 0.84        | 138.57      | 0.75        | -        | -    |
|                         | min             | i               | -146.80 | -256.15  | -               | -123.59     | 0.84        | -206.26     | 0.81        | -           | -        |      |
|                         |                 | j               | -73.36  | -200.53  | -               | -50.14      | 0.68        | -159.57     | 0.80        | -           | -        |      |
|                         | K1617           | max             | i       | 125.62   | 336.21          | -           | 77.92       | 0.62        | 234.51      | 0.70        | -        | -    |
|                         |                 |                 | j       | 238.04   | 432.41          | -           | 190.35      | 0.80        | 301.57      | 0.70        | -        | -    |
| min                     | i               | -277.11         | -484.64 | -        | -223.47         | 0.81        | -370.14     | 0.76        | -           | -           |          |      |
|                         | j               | -147.84         | -471.22 | -        | -94.20          | 0.64        | -354.71     | 0.75        | -           | -           |          |      |
| <b>ortalama</b>         |                 |                 |         |          | <b>0.74</b>     |             | <b>0.75</b> |             |             |             |          |      |
| mesnetlik eden kolonlar | S1601           | max             | i       | 78.98    | 82.67           | -603.79     | 59.33       | 0.75        | 62.07       | 0.75        | -867.21  | 1.44 |
|                         |                 |                 | j       | 78.98    | 87.48           | -581.73     | 59.33       | 0.75        | 70.38       | 0.80        | -845.15  | 1.45 |
|                         | min             | i               | -118.31 | -123.42  | -2593.74        | -95.59      | 0.81        | -100.84     | 0.82        | -2364.55    | 0.91     |      |
|                         |                 | j               | -118.31 | -58.42   | -2569.22        | -95.59      | 0.81        | -44.31      | 0.76        | -2340.03    | 0.91     |      |
|                         | S1602           | max             | i       | 176.20   | 164.51          | -1052.36    | 119.92      | 0.68        | 109.65      | 0.67        | -1310.00 | 1.24 |
|                         |                 |                 | j       | 176.20   | 238.14          | -1016.71    | 119.92      | 0.68        | 182.28      | 0.77        | -1274.35 | 1.25 |
|                         | min             | i               | -276.25 | -254.59  | -4170.66        | -213.22     | 0.77        | -200.77     | 0.79        | -3944.57    | 0.95     |      |
|                         |                 | j               | -276.25 | -150.62  | -4131.06        | -213.22     | 0.77        | -103.20     | 0.69        | -3904.97    | 0.95     |      |
|                         | <b>ortalama</b> |                 |         |          |                 | <b>0.75</b> |             | <b>0.75</b> |             | <b>1.35</b> |          |      |
|                         |                 |                 |         |          |                 |             |             |             |             | <b>0.93</b> |          |      |
| sürekli kolonlar        | S1701           | max             | i       | 35.58    | 30.81           | -389.94     | 26.42       | 0.74        | 23.25       | 0.75        | -554.23  | 1.42 |
|                         |                 |                 | j       | 35.58    | 63.11           | -379.53     | 26.42       | 0.74        | 52.51       | 0.83        | -543.82  | 1.43 |
|                         | min             | i               | -57.36  | -43.18   | -1681.77        | -47.53      | 0.83        | -35.52      | 0.82        | -1542.52    | 0.92     |      |
|                         |                 | j               | -57.36  | -35.20   | -1670.20        | -47.53      | 0.83        | -25.69      | 0.73        | -1530.96    | 0.92     |      |
|                         | S1702           | max             | i       | 21.68    | 25.33           | -724.24     | 13.79       | 0.64        | 18.80       | 0.74        | -816.57  | 1.13 |
|                         |                 |                 | j       | 21.68    | 77.41           | -710.72     | 13.79       | 0.64        | 67.80       | 0.88        | -803.04  | 1.13 |
|                         | min             | i               | -56.66  | -28.49   | -2069.68        | -48.56      | 0.86        | -22.93      | 0.81        | -1990.94    | 0.96     |      |
|                         |                 | j               | -56.66  | -15.86   | -2054.64        | -48.56      | 0.86        | -11.15      | 0.70        | -1975.91    | 0.96     |      |
|                         | S1703           | max             | i       | 43.70    | 23.43           | -350.39     | 32.28       | 0.74        | 16.60       | 0.71        | -521.52  | 1.49 |
|                         |                 |                 | j       | 43.70    | 80.28           | -336.86     | 32.28       | 0.74        | 63.59       | 0.79        | -507.99  | 1.51 |
| min                     | i               | -59.05          | -30.13  | -2108.78 | -47.00          | 0.80        | -24.40      | 0.81        | -1965.89    | 0.93        |          |      |
|                         | j               | -59.05          | -58.58  | -2093.75 | -47.00          | 0.80        | -44.15      | 0.75        | -1950.86    | 0.93        |          |      |
| <b>ortalama</b>         |                 |                 |         |          | <b>0.77</b>     |             | <b>0.78</b> |             | <b>1.35</b> |             |          |      |
|                         |                 |                 |         |          |                 |             |             |             | <b>0.94</b> |             |          |      |

NOT: Diğer simetrik elemanlara ait değerler EK B'de verilmiştir.

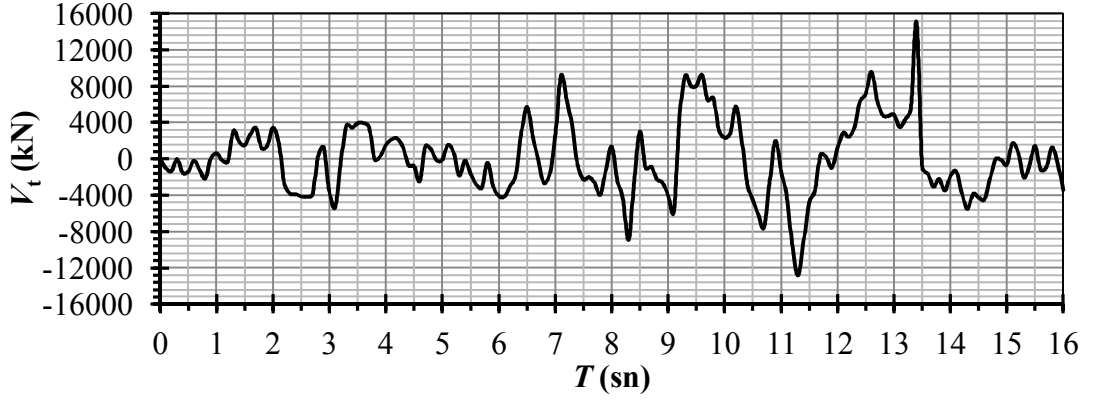
#### 4.4.2 Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonuçları

Binaya x doğrultusunda ve düşey doğrultuda deprem ivme kayıtları etkilmiştir. Yapılan 7 analiz sonucunda süreksiz kolonların alt ucu ve yüksek kirişe mesnetlik yapan kolonların üst ucu hariç kolonlarda plastik mafsall oluşumu gözlenmemiştir. Kolonlarda oluşan plastik mafsallların analizlere göre dağılımı çizelge 4.12'de verilmiştir. Oluşan plastik mafsallardaki plastik dönme değerleri FEMA356(2000)

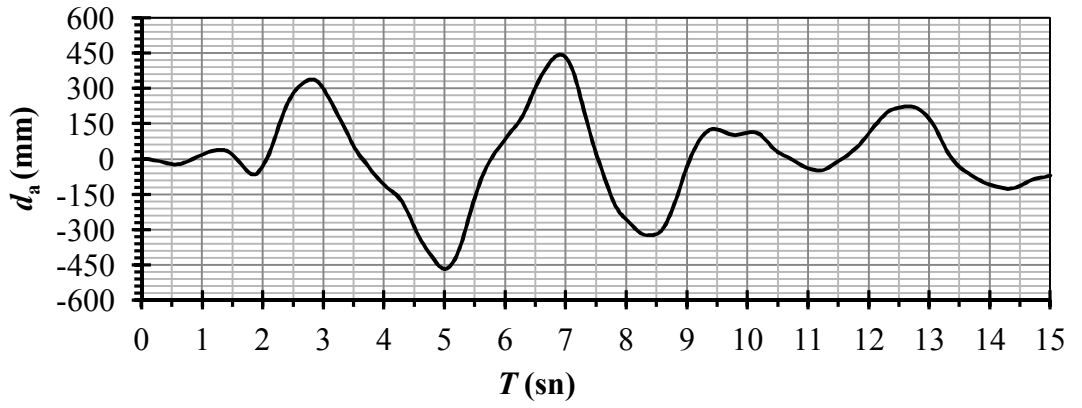
çizelge 6.8'e göre minimum hasar sınırını aşmamaktadır. Eğer bu elemanlar arttırılmış iç kuvvetlere göre tasarlanmazsa plastik dönme miktarları artıp kesitler güvenlik sınırı ve göçme sınırını aşabilir. Bu sebeple DBYBHY(2007)'de verilen iç kuvvetlerin %50 oranında arttırılması koşulu kesitlerin kapasitesini arttırarak daha düşük plastik şekil değiştirme istemi oluşturup güvenli tarafta kalınmasını sağlar. Çizelge 4.11'de zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerin elde edilen +x ve -x yönü için maksimum taban kesme kuvveti ve tepe deplasmanı değerleri verilmiştir. Sonuçların ortalaması taban kesme kuvveti ve tepe deplasmanı için sırasıyla, 10619.37 kN ve 289.01 mm olarak bulunmuştur. En yüksek taban kesme kuvveti NLTH3 analizinden 15034.33 kN en yüksek tepe deplasmanı NLTH2 analizinden 468.66 mm olarak elde edilmiştir. Bu analizlerden elde edilen taban kuvveti-zaman ve tepe deplasmanı-zaman grafikleri şekil 4.19 ve 4.20'de verilmiştir.

**Çizelge 4.11** : ZTADOA'lerden elde edilen  $V_{tx}$  ve  $d_a$  değerleri.

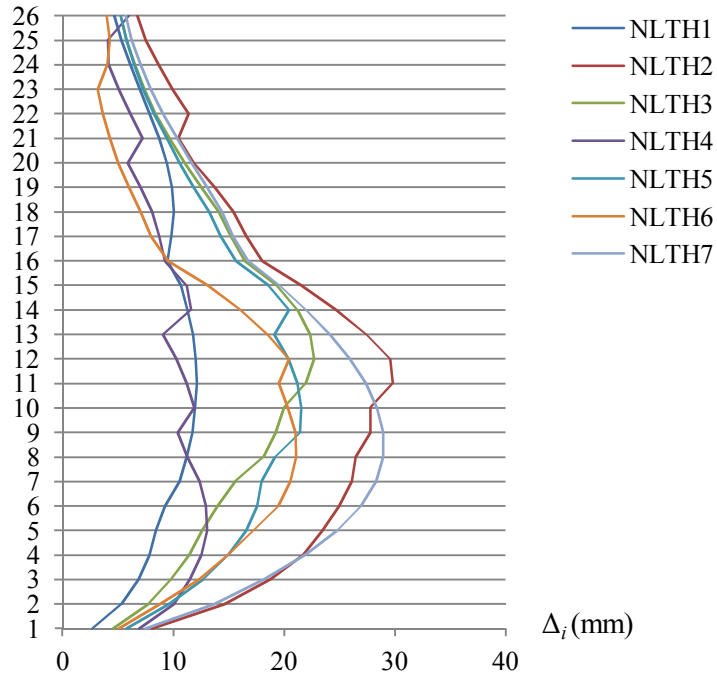
|                 |     | $V_{tx}$ (kN)   | $d_a$ (mm)    |
|-----------------|-----|-----------------|---------------|
| NLTH1           | max | 8067.87         | 229.93        |
|                 | min | -8013.02        | -171.60       |
| NLTH2           | max | 13419.91        | 442.17        |
|                 | min | -10966.29       | -468.66       |
| NLTH3           | max | 15034.33        | 168.30        |
|                 | min | -12806.41       | -352.62       |
| NLTH4           | max | 9501.92         | 234.12        |
|                 | min | -9124.59        | -150.81       |
| NLTH5           | max | 10440.45        | 363.97        |
|                 | min | -10553.85       | -176.07       |
| NLTH6           | max | 10819.15        | 286.26        |
|                 | min | -10698.89       | -256.53       |
| NLTH7           | max | 8867.74         | 463.75        |
|                 | min | -10356.80       | -281.40       |
| <b>ortalama</b> |     | <b>10619.37</b> | <b>289.01</b> |



Şekil 4.19 : NLTH3 analizine ait taban kesme kuvveti-zaman grafiği.



Şekil 4.20 : NLTH2 analizine ait tepe deplasmanı-zaman grafiği.

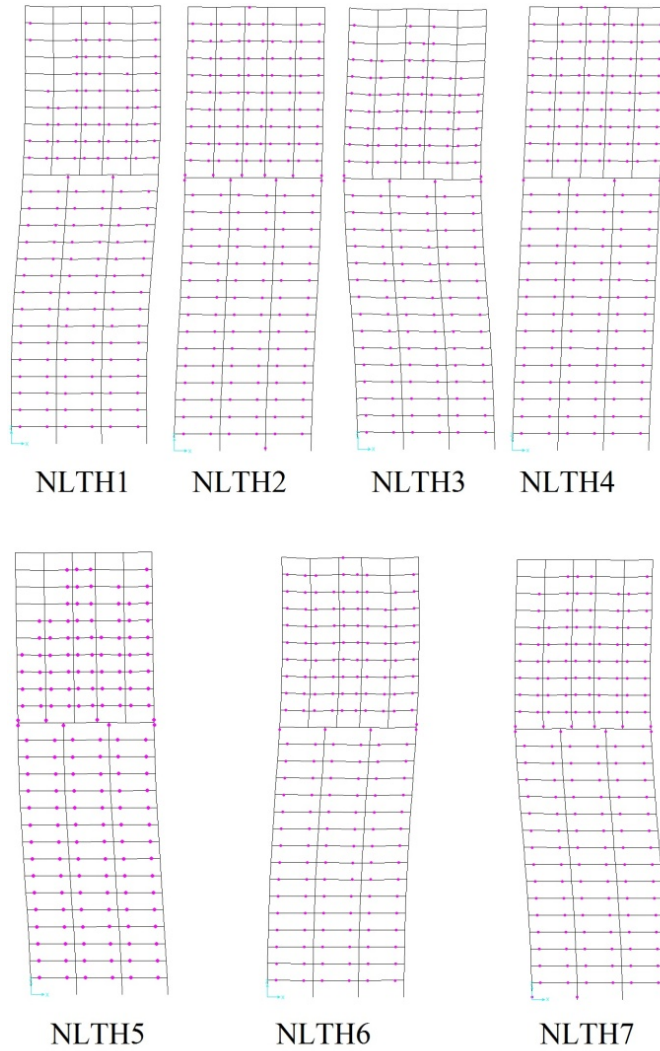


Şekil 4.21 : x doğrultusundaki göreceli kat ötelemeleri.

**Çizelge 4.12 : ZTADOA lerde plastik mafsal oluşan kolonlar.**

|       | NLTH1 | NLTH2 | NLTH3 | NLTH4 | NLTH5 | NLTH6 | NLTH7 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| S1601 |       | x     | x     | x     | x     | x     | x     |
| S1602 | x     | x     | x     | x     | x     | x     | x     |
| S1603 | x     | x     | x     | x     | x     | x     | x     |
| S1604 |       | x     | x     | x     | x     | x     | x     |
| S1701 |       | x     | x     |       | x     |       | x     |
| S1702 |       | x     |       |       | x     |       | x     |
| S1703 |       | x     |       |       |       |       | x     |
| S1704 |       | x     |       |       | x     |       | x     |
| S1705 |       | x     |       |       |       |       | x     |
| S1706 |       | x     | x     |       | x     | x     | x     |

Yapılan analizler sonucu binada beklendiği üzere bağ kirişlerde plastik mafsal oluşumları gözlenmiştir. Ayrıca perdelerin taban kesitlerinde dönme etkisi altında donatıların aktığı görülmüştür.



**Şekil 4.22 : ZTADOA lerde oluşan plastik mafsallar.**



## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, DBYBHY(2007) 2.3'e göre B3 türü düzensizlik bulunan (kolonların kirişe mesnetlenmesi durumu) 26 katlı betonarme bir yapının DBYBHY(2007) ve TS500(2000)'e göre tasarımı yapılmıştır. Süreksizliğin bulunduğu katta kolonların kirişlerden daha güçlü olma koşulunun sağlanamayacağı öngörüldüğünden taşıyıcı sistem süneklik düzeyi karma (süneklik düzeyi normal çerçeve ve süneklik düzeyi yüksek perde) olarak taşıyıcı sistem katsayısı belirlenmiştir. Ancak tasarımda çerçeve elemanlar süreksizliğin bulunduğu kat hariç süneklik düzeyi yüksek olarak tasarlanmıştır. Yapıda bulunan süreksiz kolonların mesnetlendiği yüksek kirişin betonarme tasarımı taşıma gücü yöntemine ve çubuk model yöntemine göre yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. İki yöntem ile bulunan donatı miktarları eğilme donatısı için hemen hemen aynı fakat kesme donatısı miktarı taşıma gücü hesap yönteminde daha fazla olarak bulunmuştur. Düşey süreksizlik bulunmayan bir yapıda depremin düşey bileşeni, yapının tasarımı düşey statik yükler ve depremin yatay bileşeni altında yapıldığı için ihmal edilmektedir. Ancak çalışmanın konusu olan yapıda düşey süreksizlik bulunduğu için yatay ve düşey deprem yükleri altında zaman tanım alanında doğrusal elastik ve doğrusal olmayan analizler yapılmış ve depremin düşey bileşeninin süreksizlik bölgesinde yapıya etkisi incelenmiştir. DBYBHY(2007) 2.3.2.4(b)'ye göre iç kuvvet arttırımı öngörülen elemanlarda deprem yükünün sadece yatay bileşenlerinin alındığı mod birleştirme yöntemi ve deprem yüklemesinin yatay bileşenleri ve düşey bileşeninin alındığı zaman tanım alanında doğrusal elastik analizlerden elde edilen iç kuvvetler karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucu elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

Ana doğrultusu x olan ( $E_x+0.3E_y+E_v$ ) deprem yüklemeleri için yapılan ZTADEA lerden elde edilen değerlerin ortalaması ile mod birleştirme yönteminden elde edilen değerler karşılaştırıldığında,

- Süreksiz kolonların mesnetlendiği yüksek kirişte moment ve kesme kuvveti değerlerinde artış olmadığı görülmüştür.

- Süreksiz kolonlar ile yüksek kirişin mesnetlendiği kolonların moment, kesme kuvveti ve maksimum aksenal kuvvet değerlerinde artış olmadığı, minimum aksenal kuvvet değerlerinde %10~55 aralığında artış olduğu görülmüştür.

Ana doğrultusu y olan ( $E_y+0.3E_x+E_v$ ) deprem yüklemeleri için yapılan ZTADEA lardan elde edilen değerlerin ortalaması ile mod birleştirme yönteminden elde edilen değerler karşılaştırıldığında,

- Süreksiz kolonların mesnetlendiği yüksek kirişin bağlandığı düğüm noktasına birleşen kirişlerin moment ve kesme kuvvetinde artış olmadığı görülmüştür.
- Süreksiz kolonlar ile yüksek kirişin mesnetlendiği kolonların ana deprem doğrultusundaki moment, kesme kuvveti ve maksimum aksenal kuvvet değerlerinde artış olmadığı, minimum aksenal kuvvet değerlerinde %15~50 aralığında artış olduğu görülmüştür.

Her bir ZTADEA den elde edilen sonuçlar mod birleştirme yönteminden elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldığında, TH2 ve TH9 yüklemeleri hariç kritik kesitlerin iç kuvvetlerinde artış görülmemiştir. Artış görülen iki analizden elde edilen taban kesme kuvveti ve görelî kat ötelemesi değerleri mod birleştirme yönteminden elde edilen taban kesme kuvveti ve görelî kat ötelemesi değerleri ile karşılaştırıldığında bu değerlerde de artış görülmüştür. Bu sebeple kesit tesirlerindeki artışın nedeninin depremin düşey bileşeninden dolayı değil depremin yatay bileşeninden dolayı olduğu söylenebilir.

Doğrusal analizlerde yüksek kirişin, kolon serbest yükseklik değerini azaltması sebebi ile x doğrultusunda görelî kat öteleme değerlerinin azaldığı görülmüştür. Y doğrultusundaki görelî kat ötelemesi değerlerinde ise, ilgili kattaki kolonlarda düşey süreksizlik ve buna bağlı olarak yüksek kiriş bulunmadığından azalma gözlenmezken, bu katın üzerinde rijitliğin azalmasından dolayı artış gözlenmiştir.

ZTADOA larda yüksek kirişin mesnetlendiği kolonların üst ucunda ve yüksek kirişe mesnetlenen kolonların alt ucunda plastik mafsal oluştuğu gözlenmiştir. Bu sebeple tasarım aşamasında bu elemanların sünekliğinin yüksek tutulmasına özen gösterilmelidir. Ayrıca yüksek kirişin derinliğinden dolayı bu kolonların serbest yüksekliği azalmaktadır. Bu elemanların kesme güvenliğinin sağlandığından emin olunmalı ve olumsuz kısa kolon davranışının önüne geçilerek arzu edilmeyen kesme güç tükenmesinin oluşması engellenmelidir. Düşey süreksizlikten dolayı, süreksizlik

bölgesinde yapıda komşu katlar arası rijitlik düzensizliği (yumuşak kat) durumu ortaya çıkabilir bu durum örnek binada bulunmamaktadır. Daha önceden de bahsedildiği üzere tasarım aşamasında süreksizlik bölgesinde kolonların kirişlerden güçlü olması koşulu sağlanamayacağı için taşıyıcı sistem süneklik düzeyi karma olarak olarak belirlenip deprem yükü azaltma katsayısı ( $R$ ) buna göre belirlenmiş olsada çerçeve elemanlar süneklik düzeyi yüksek olarak tasarlanmıştır. Bu durumdan dolayı bahsedilen kolonlar hariç diğer kolonlarda plastik mafsall oluşumu gözlenmemiştir. Tasarım aşamasında hasar alacağı ön görülen (etkin rijitlik olarak çatlama kesit rijitliği kullanılması) bağ kirişlerinde beklenildiği üzere plastik mafsallar oluşmuştur. Perdelerin taban kesitinde dönme etkisi altında donatılar akmıştır.

DBYBHY(2007)'de binada bulunan süreksiz kolonların oluşturduğu düzensizlikten dolayı ek sismik talebin karşılanması için süreksizlik bölgesindeki elemanların iç kuvvetlerinin arttırılmasını öngörmüştür. Bu vasıta ile bu bölgedeki elemanların kapasite değerleri artacaktır. Gerçekleştirilen incelemeden de görüleceği üzere özellikle süreksizlik bölgesindeki elemanların plastik şekil değiştirme istemine yeter sünekliğin sağlanması önemlidir.

Yapılan çalışmada söz konusu elemanların iç kuvvetlerinde artış gözlenmemiştir. Fakat bir çok parametrenin yük dağılımını etkileyeceği ve elde edilen sonucun bu örneğe özel olduğu açıktır. Bu sebeple durumun daha iyi anlaşılabilmesi için süreksizliğin farklı kat seviyelerinde olduğu benzer binalar üzerinde karşılaştırmalı bir çalışma gerçekleştirilmesi faydalı olabilir.



## KAYNAKLAR

- ACI 318**, 2008. Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary, American Concrete Institute, Detroit, USA.
- Altan, M., Taşkın, B.**, 2006. Betonarme Elemanlarda Davranış Modelleri, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Yapı Tasarım Kursu Notları, İstanbul.
- ASCE/SEI 7**, 2005. Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, American Society of Civil Engineers, Virginia.
- Aydınöglü, M.N., Celep, Z., Özer, E., Sucuoğlu, H.**, 2009. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik Açıklamalar ve Örnekler Kitabı, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- Celep, Z.**, 2008. Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış ve Çözümleme, Beta Dağıtım, İstanbul.
- Celep, Z.**, 2011. Betonarme Yapılar, Beta Dağıtım, İstanbul.
- Celep, Z., Kara, N.** 2012. Nonlinear Seismic Response of Structural System Having Vertical Irregularities Due To Discontinuities in Columns, 15<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering, Lisbon.
- Celep, Z., Kumbasar, N.**, 2004. Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Beta Dağıtım, İstanbul.
- Chopra, A.K.**, 2000. Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering, Prentice Hall, New Jersey.
- Çakıroğlu, A., Özer, E.**, 1980. Malzeme ve Geometri Değişimi Bakımından Lineer Olmayan Sistemler, İ.T.Ü Kütüphanesi, İstanbul.
- Darılmaz, K.**, 2012. Depreme Dayanıklı Betonarme Yapı Sistemlerinin Tasarımına Giriş, İstanbul.
- DBYBHY**, 2007. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, Türkiye.
- Ersoy, U., Özcebe, G.**, 2004. Betonarme, Evrim Yayınevi, İstanbul.
- Eurocode 8**, 2008. Design of Structures for Earthquake Resistance, European Committee for Standardisation, Brussels.
- Fahjan, Yasin M., Özdemir, Z.**, 2007. Gerçek Deprem Kayıtlarının Tasarım Spektrumlarına Uygun Olarak Zaman ve Frekans Tanım Alanlarında Ölçekleme Yöntemlerinin Karşılaştırılması, Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul.
- Fahjan, Yasin M.**, 2008, Türkiye Deprem Yönetmeliği (DBYBHY, 2007) Tasarım İvme Spektrumuna Uygun Gerçek Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklenmesi, İMO Teknik Dergi.
- FEMA 356**, 2000. Prestandart and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Federal Emergency Management Agency, Washington.

- Gözütok, B.**, 2011. Betonarme Yüksek Bir Yapının Deprem Performansının Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Çözümleme Yöntemi Kullanılarak Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Mander, J.B., Priestley, M.J.N., Park, R.**, 1988. Theoretical Stress-Strain Confined Concrete, Journal of Structural Division (ASCE), Vol. 114, pp.1804–1826.
- McClusky, S., et al.**, 2000. Global Positioning System Constrains on Plate Kinematics and Dynamics in the Eastern Mediterranean and Caucasus, Journal of Geophysical Research, Vol. 105, pp. 5695-5719.
- Parra-Montesinos, G.J, Wight, J.K.**, 2003. Strut and Tie Model for Deep Beam Design, Concrete International, May, pp. 63-70.
- Sadashiva, V.K.**, 2010. Quantifying Structural Irregularity Effects for Simple Seismic Design, PhD Thesis, Canterbury, New Zealand.
- TS 498**, 1997. Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 500**, 2000. Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Peer Ground Motion Database**, Pacific Earthquake Engineering Research Center, Url <[http://peer.berkeley.edu/peer\\_ground\\_motion\\_database/](http://peer.berkeley.edu/peer_ground_motion_database/)>, alındığı tarih: 16.03.2012

## **EKLER**

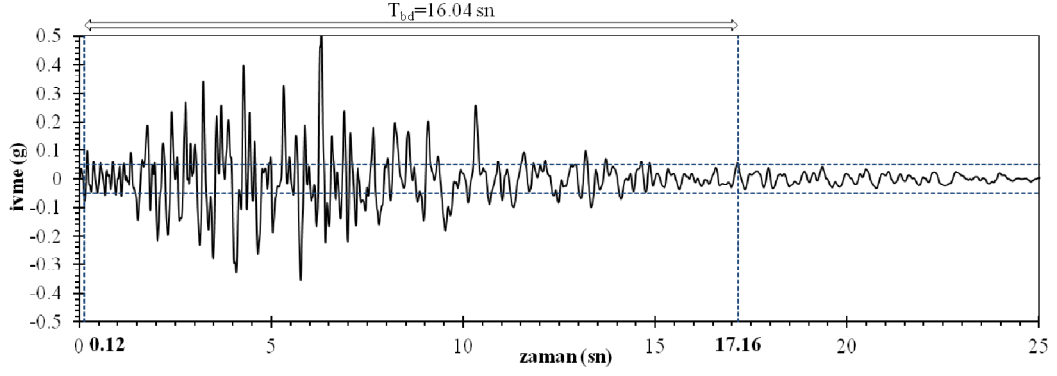
**EK A:** Zaman Tanım Alanında Analiz'lerde kullanılan ivme kayıtları

**EK B:** Zaman Tanım Alanında Doğrusal Elastik Analiz'lerden elde edilen kritik kesitlerdeki iç kuvvetlerin Mod Birleştirme Yöntemi ile elde edilen iç kuvvetlerle karşılaştırmaları

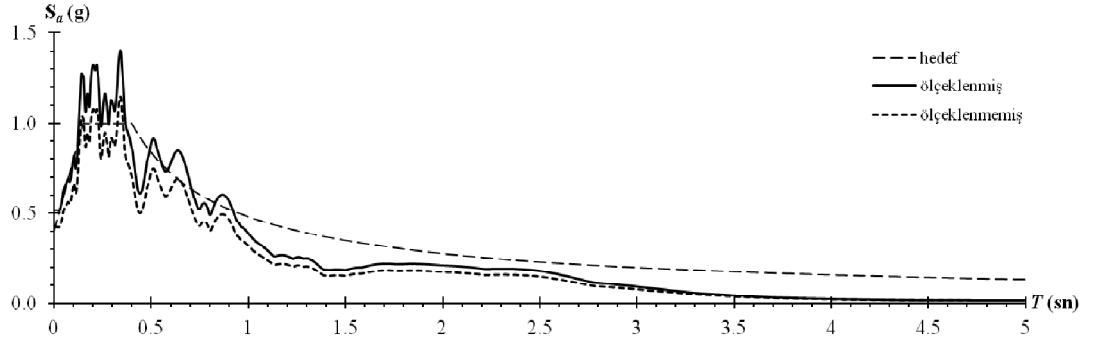




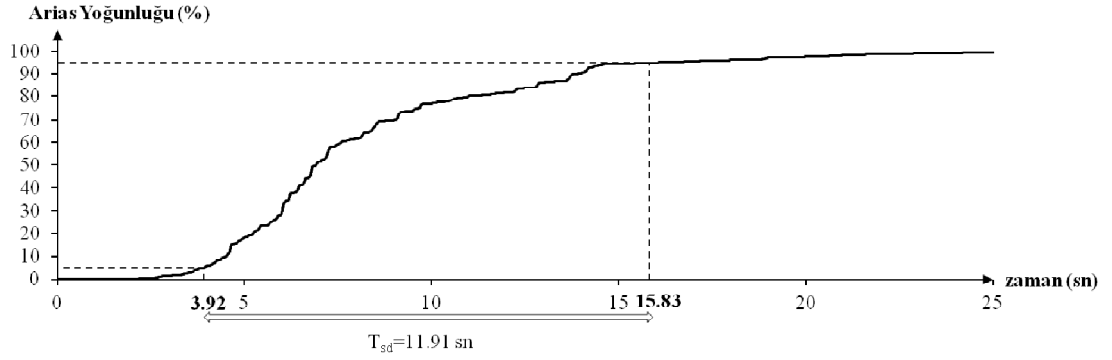
## EK A



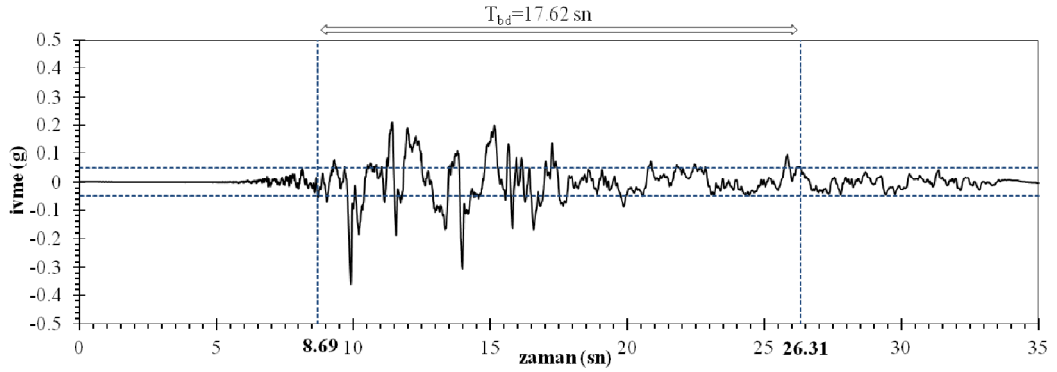
Şekil A.1 : TS1 kaydına ait ivme-zaman grafiği ve kaydın zarf süresi.



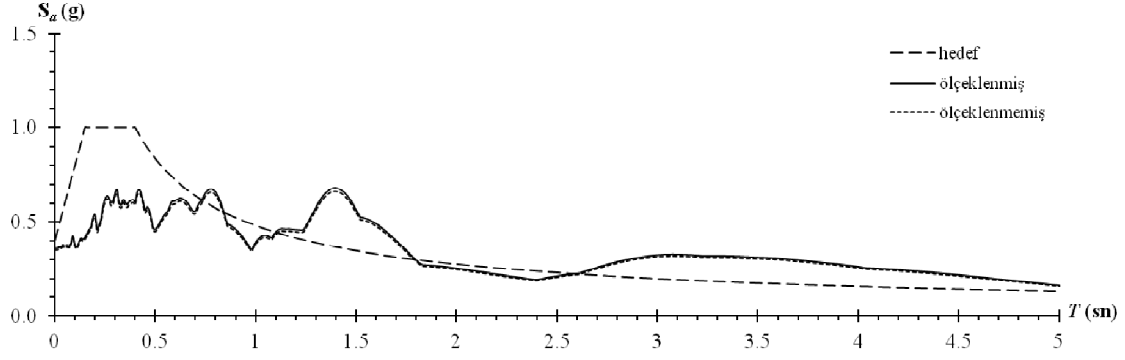
Şekil A.2 : TS1 kaydına ait ölçeklenmiş ve ölçeklenmemiş ivme spektrumları.



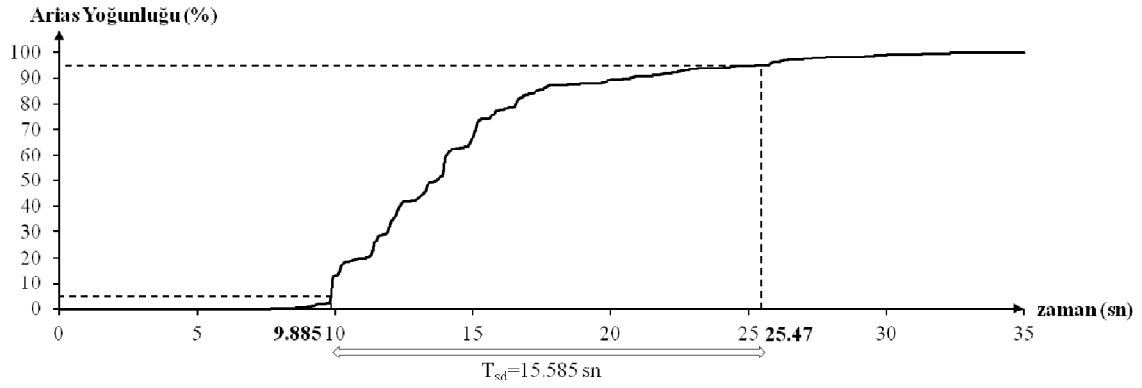
Şekil A.3 : TS1 kaydına ait husid grafiği ve kaydın anlamlı süresi.



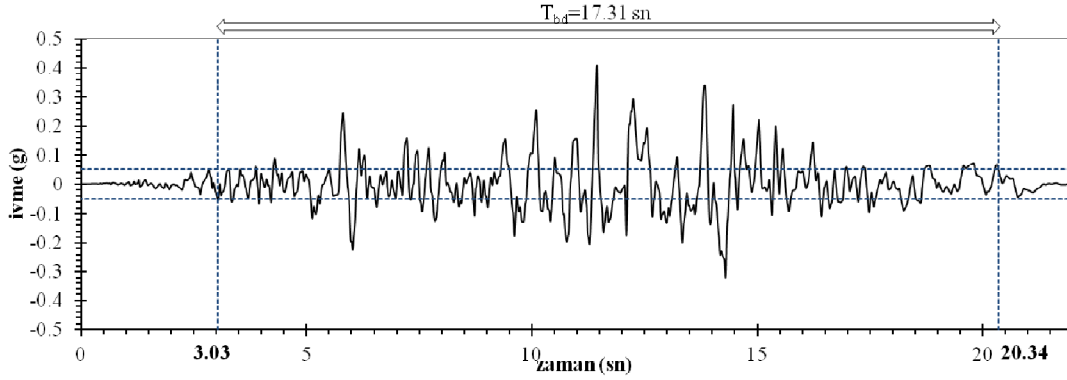
Şekil A.4 : TS2 kaydına ait ivme-zaman grafiği ve kaydın zarf süresi.



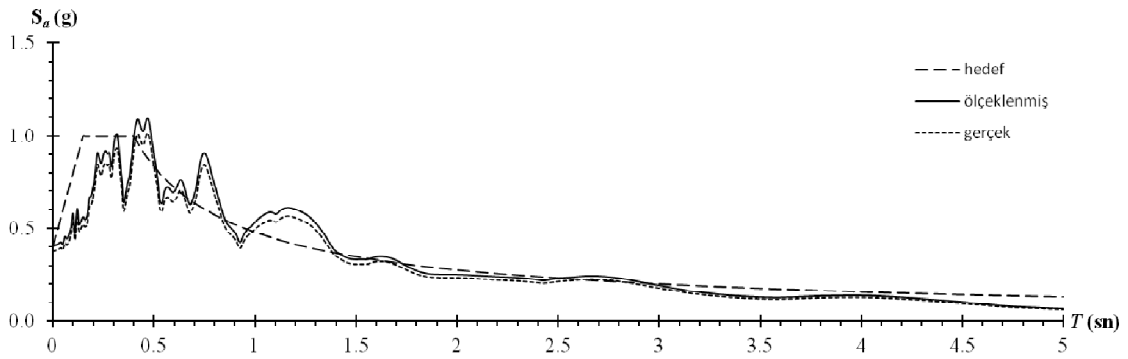
Şekil A.5 : TS2 kaydına ait ölçeklenmiş ve ölçeklenmemiş ivme spektrumları.



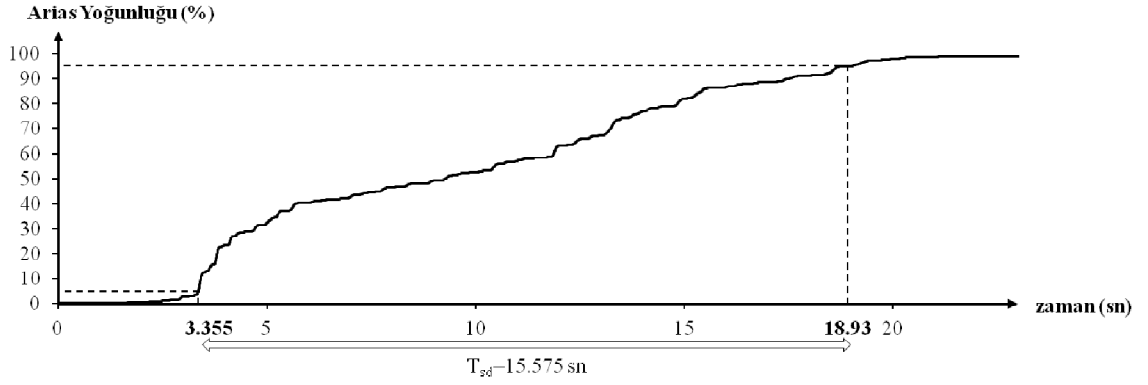
Şekil A.6 : TS2 kaydına ait husid grafiği ve kaydın anlamlı süresi.



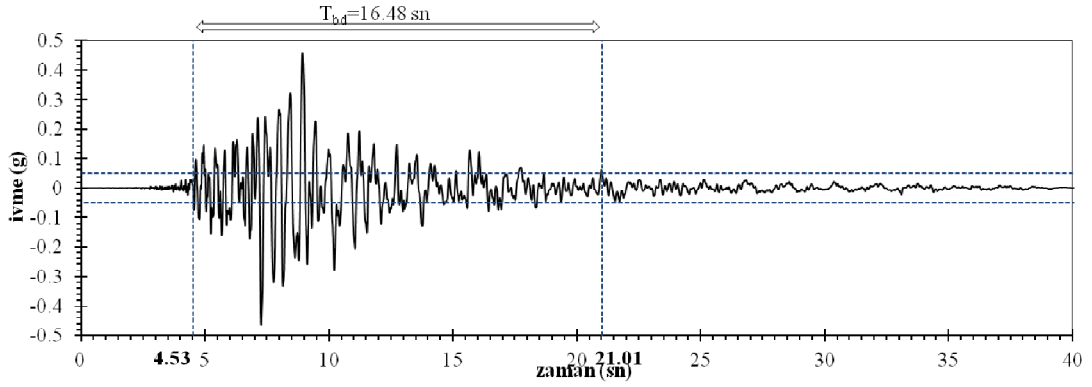
Şekil A.7 : TS3 kaydına ait ivme-zaman grafiği ve kaydın zarf süresi.



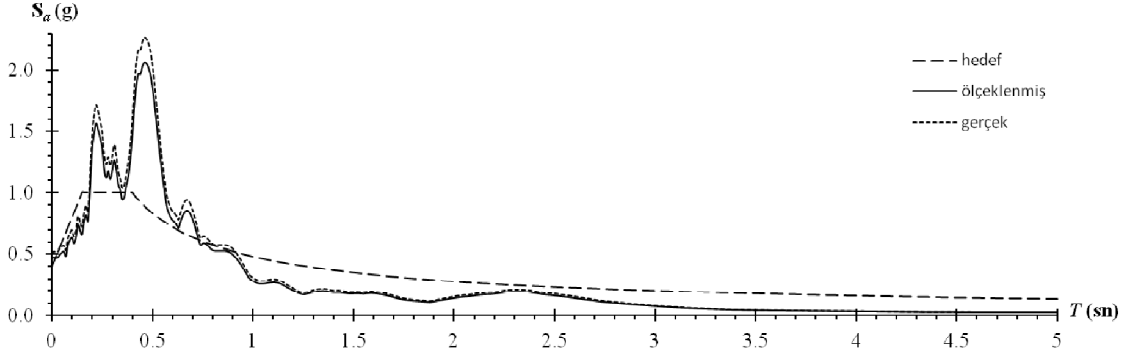
Şekil A.8 : TS3 kaydına ait ölçeklenmiş ve ölçeklenmemiş ivme spektrumları.



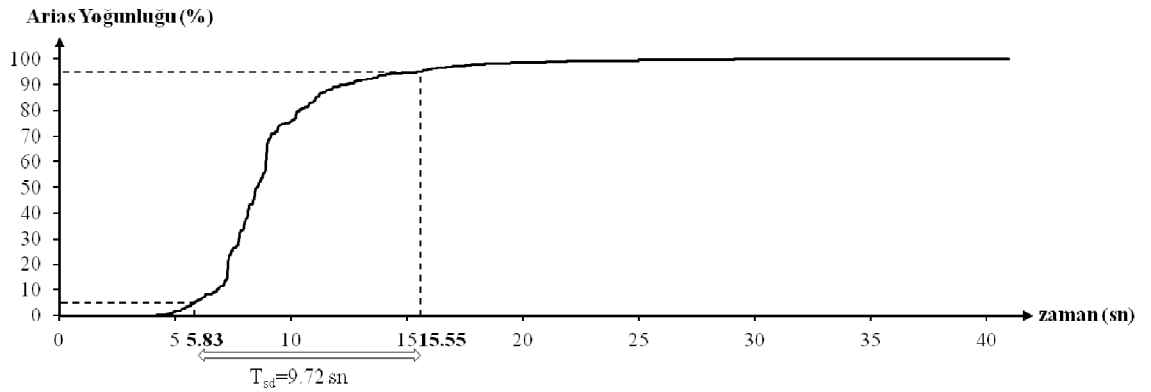
Şekil A.9 : TS3 kaydına ait husid grafiği ve kaydın anlamlı süresi.



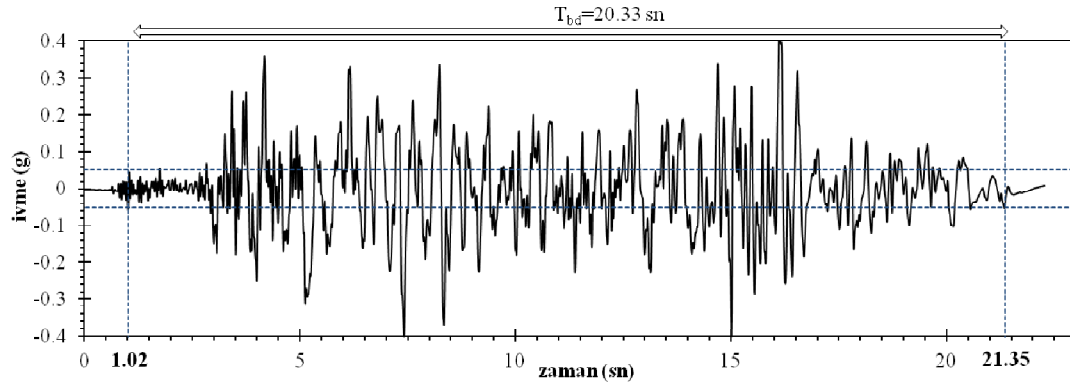
Şekil A.10 : TS4 kaydına ait ivme-zaman grafiği ve kaydın zarf süresi.



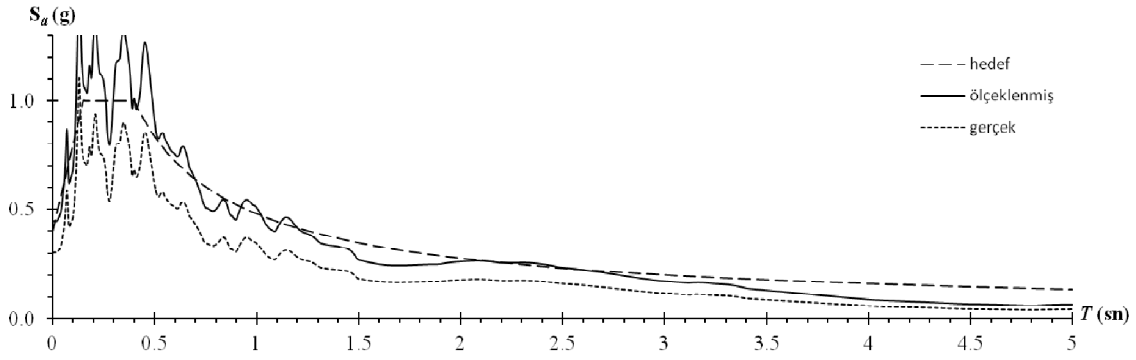
Şekil A.11 : TS4 kaydına ait ölçeklenmiş ve ölçeklenmemiş ivme spektrumları.



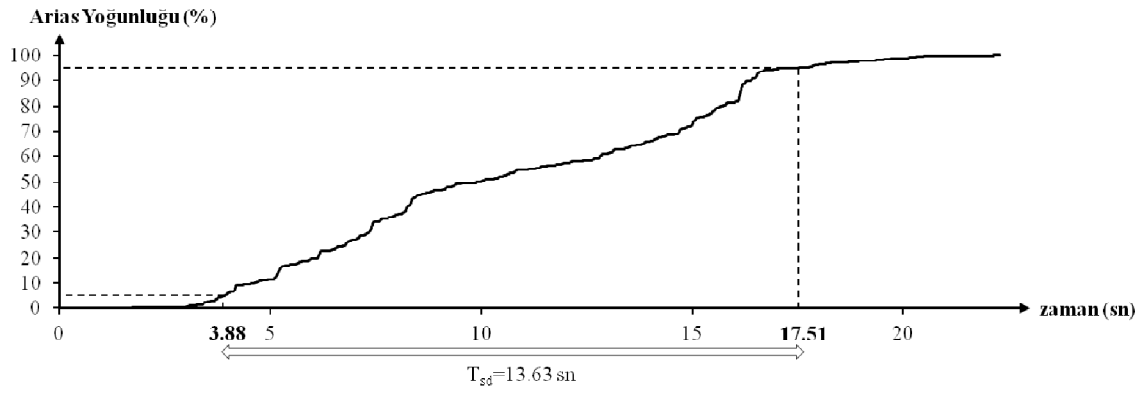
Şekil A.12 : TS4 kaydına ait husid grafiği ve kaydın anlamlı süresi.



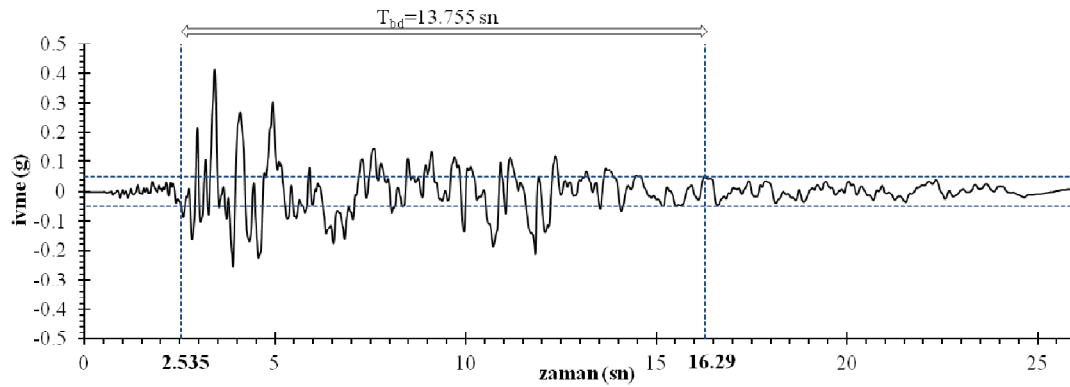
Şekil A.13 : TS5 kaydına ait ivme-zaman grafiği ve kaydın zarf süresi.



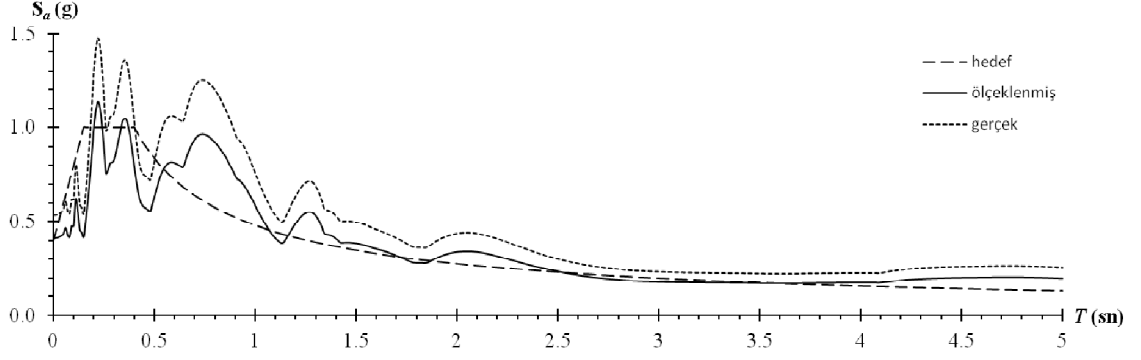
Şekil A.14 : TS5 kaydına ait ölçeklenmiş ve ölçeklenmemiş ivme spektrumları.



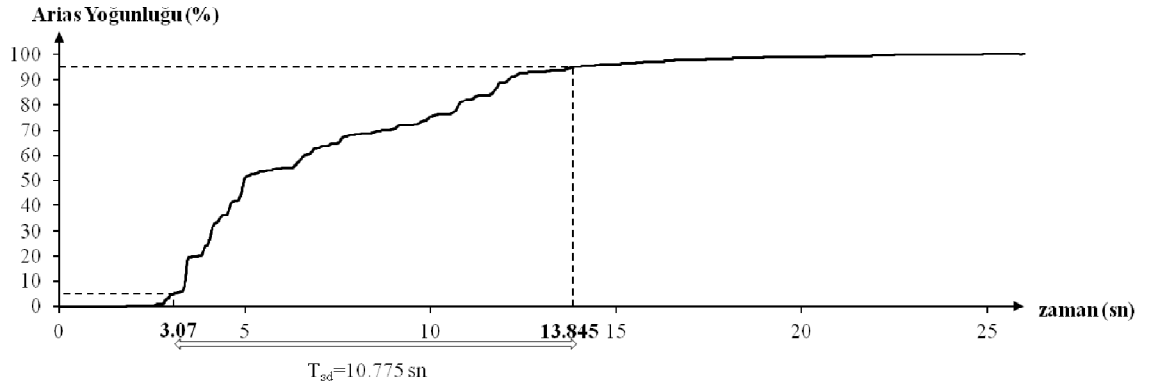
Şekil A.15 : TS5 kaydına ait husid grafiği ve kaydın anlamlı süresi.



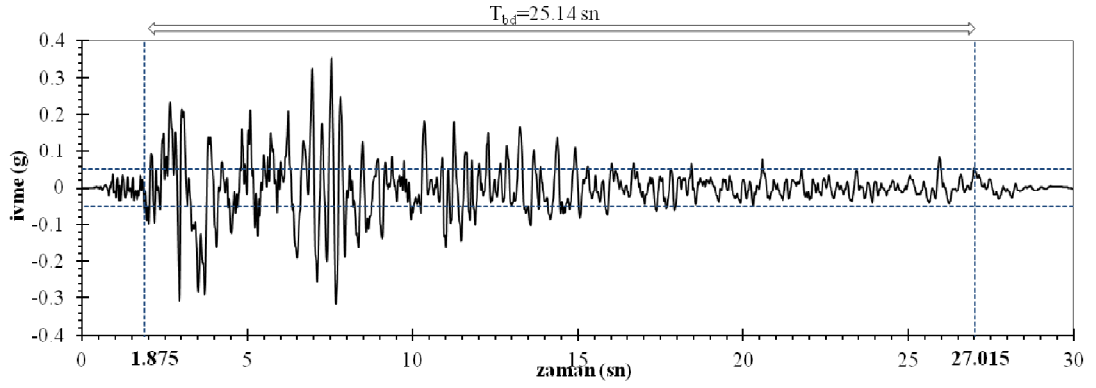
Şekil A.16 : TS6 kaydına ait ivme-zaman grafiği ve kaydın zarf süresi.



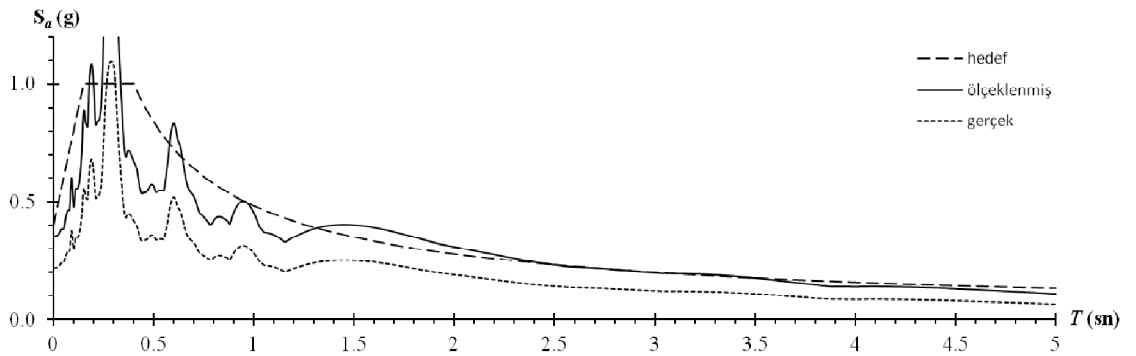
Şekil A.17 : TS6 kaydına ait ölçeklenmiş ve ölçeklenmemiş ivme spektrumları.



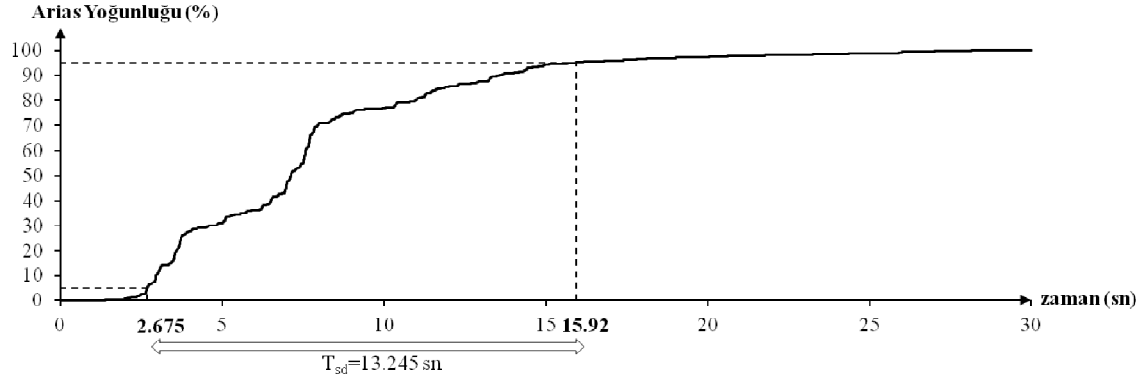
Şekil A.18 : TS6 kaydına ait husid grafiği ve kaydın anlamlı süresi.



Şekil A.19 : TS7 kaydına ait ivme-zaman grafiği ve kaydın zarf süresi.



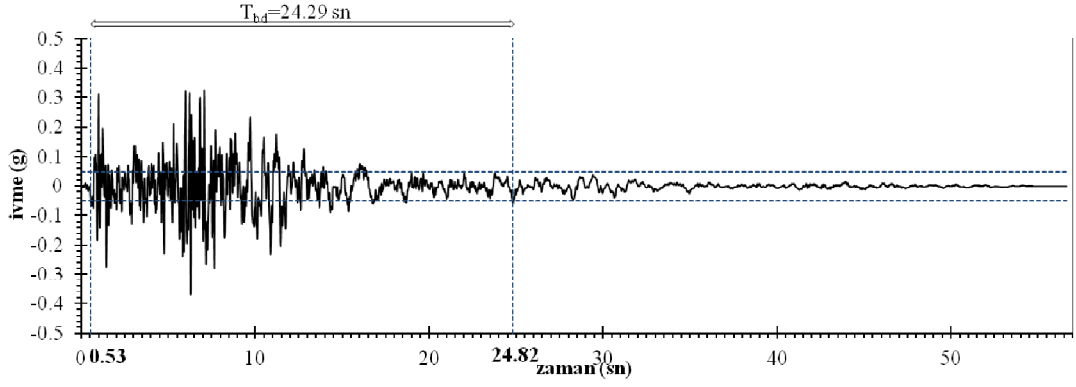
Şekil A.20 : TS7 kaydına ait ölçeklenmiş ve ölçeklenmemiş ivme spektrumları.



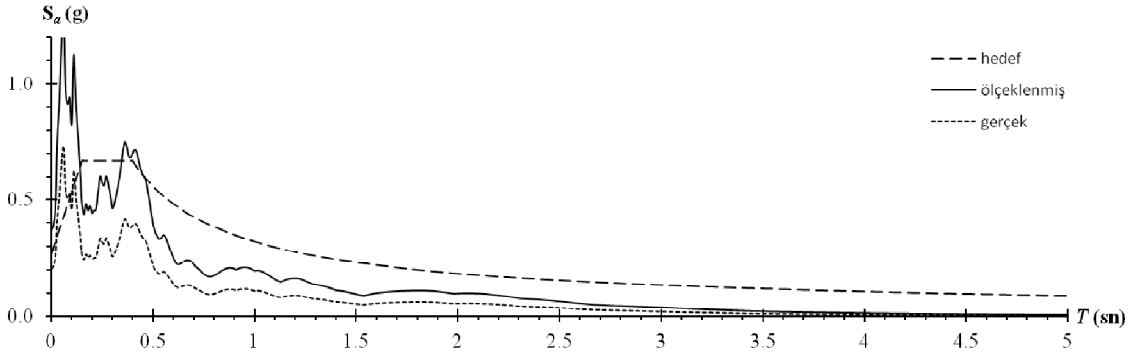
Şekil A.21 : TS7 kaydıma ait husid grafiği ve kaydın anlamlı süresi.

Çizelge A.1 : Yatay ve düşey kayıtların spektral ivme değerlerinin ortalamaları.

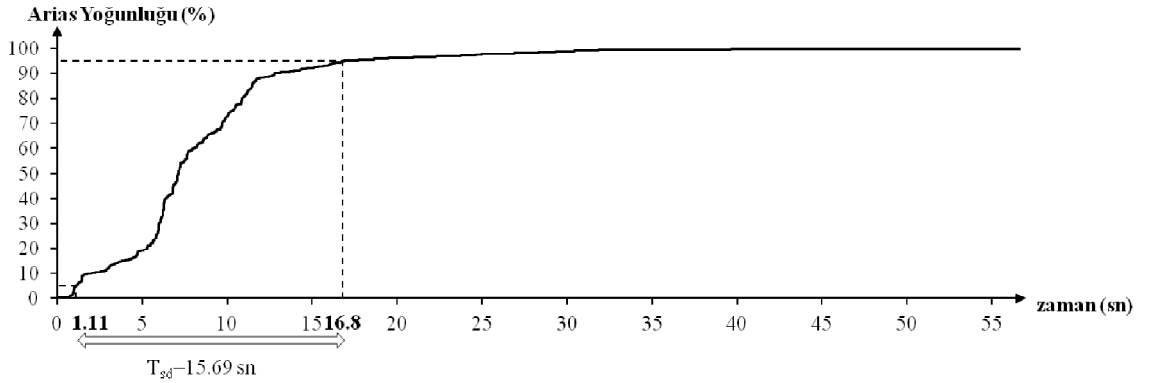
| yatay    |                 |                   |                           | düşey    |                 |                   |                           |
|----------|-----------------|-------------------|---------------------------|----------|-----------------|-------------------|---------------------------|
| $T$ (sn) | $S_a^{ort}$ (g) | $S_a^{hedef}$ (g) | $S_a^{ort} / S_a^{hedef}$ | $T$ (sn) | $S_a^{ort}$ (g) | $S_a^{hedef}$ (g) | $S_a^{ort} / S_a^{hedef}$ |
| 0        | 0.42            | 0.40              | 1.05                      | 0        | 0.27            | 0.27              | 1.01                      |
| 0.1      | 0.58            | 0.80              | 0.72                      | 0.1      | 0.60            | 0.53              | 1.13                      |
| 0.2      | 1.03            | 1.00              | 1.03                      | 0.2      | 0.47            | 0.67              | 0.70                      |
| 0.3      | 1.07            | 1.00              | 1.07                      | 0.3      | 0.78            | 0.67              | 1.17                      |
| 0.4      | 0.91            | 1.00              | 0.91                      | 0.4      | 0.46            | 0.67              | 0.69                      |
| 0.5      | 0.89            | 0.84              | 1.06                      | 0.5      | 0.76            | 0.56              | 1.35                      |
| 0.6      | 0.75            | 0.72              | 1.04                      | 0.6      | 0.45            | 0.48              | 0.92                      |
| 0.7      | 0.68            | 0.64              | 1.07                      | 0.7      | 0.73            | 0.43              | 1.71                      |
| 0.8      | 0.61            | 0.57              | 1.06                      | 0.8      | 0.44            | 0.38              | 1.14                      |
| 0.9      | 0.52            | 0.52              | 1.00                      | 0.9      | 0.71            | 0.35              | 2.03                      |
| 1        | 0.45            | 0.48              | 0.93                      | 1        | 0.41            | 0.32              | 1.28                      |
| 1.1      | 0.40            | 0.45              | 0.89                      | 1.1      | 0.69            | 0.30              | 2.32                      |
| 1.2      | 0.40            | 0.42              | 0.96                      | 1.2      | 0.42            | 0.28              | 1.53                      |
| 1.3      | 0.40            | 0.39              | 1.03                      | 1.3      | 0.73            | 0.26              | 2.82                      |
| 1.4      | 0.37            | 0.37              | 1.00                      | 1.4      | 0.45            | 0.24              | 1.83                      |
| 1.5      | 0.33            | 0.35              | 0.95                      | 1.5      | 0.73            | 0.23              | 3.16                      |
| 1.6      | 0.32            | 0.33              | 0.96                      | 1.6      | 0.46            | 0.22              | 2.08                      |
| 1.7      | 0.29            | 0.31              | 0.92                      | 1.7      | 0.75            | 0.21              | 3.56                      |
| 1.8      | 0.25            | 0.30              | 0.85                      | 1.8      | 0.46            | 0.20              | 2.28                      |
| 1.9      | 0.25            | 0.29              | 0.86                      | 1.9      | 0.76            | 0.19              | 3.95                      |
| 2        | 0.25            | 0.28              | 0.91                      | 2        | 0.49            | 0.18              | 2.67                      |
| 2.1      | 0.25            | 0.27              | 0.94                      | 2.1      | 0.79            | 0.18              | 4.48                      |
| 2.2      | 0.24            | 0.26              | 0.93                      | 2.2      | 0.52            | 0.17              | 3.04                      |
| 2.3      | 0.23            | 0.25              | 0.94                      | 2.3      | 0.82            | 0.16              | 4.96                      |
| 2.4      | 0.22            | 0.24              | 0.92                      | 2.4      | 0.54            | 0.16              | 3.39                      |
| 2.5      | 0.21            | 0.23              | 0.91                      | 2.5      | 0.84            | 0.15              | 5.44                      |
| 2.6      | 0.20            | 0.22              | 0.91                      | 2.6      | 0.56            | 0.15              | 3.77                      |
| 2.7      | 0.20            | 0.22              | 0.91                      | 2.7      | 0.86            | 0.14              | 5.95                      |
| 2.8      | 0.19            | 0.21              | 0.90                      | 2.8      | 0.59            | 0.14              | 4.17                      |
| 2.9      | 0.18            | 0.20              | 0.89                      | 2.9      | 0.88            | 0.14              | 6.46                      |
| 3        | 0.18            | 0.20              | 0.88                      | 3        | 0.61            | 0.13              | 4.57                      |
| 3.1      | 0.17            | 0.19              | 0.87                      | 3.1      | 0.90            | 0.13              | 6.98                      |
| 3.2      | 0.16            | 0.19              | 0.86                      | 3.2      | 0.63            | 0.13              | 4.98                      |
| 3.3      | 0.16            | 0.18              | 0.84                      | 3.3      | 0.93            | 0.12              | 7.52                      |
| 3.4      | 0.15            | 0.18              | 0.83                      | 3.4      | 0.65            | 0.12              | 5.41                      |
| 3.5      | 0.14            | 0.18              | 0.81                      | 3.5      | 0.95            | 0.12              | 8.06                      |
| 3.6      | 0.14            | 0.17              | 0.81                      | 3.6      | 0.67            | 0.11              | 5.86                      |
| 3.7      | 0.13            | 0.17              | 0.80                      | 3.7      | 0.97            | 0.11              | 8.64                      |
| 3.8      | 0.13            | 0.17              | 0.79                      | 3.8      | 0.70            | 0.11              | 6.34                      |
| 3.9      | 0.13            | 0.16              | 0.78                      | 3.9      | 1.00            | 0.11              | 9.24                      |
| 4        | 0.12            | 0.16              | 0.77                      | 4        | 0.72            | 0.11              | 6.84                      |
| 4.1      | 0.12            | 0.16              | 0.77                      | 4.1      | 1.02            | 0.10              | 9.85                      |
| 4.2      | 0.12            | 0.15              | 0.78                      | 4.2      | 0.75            | 0.10              | 7.38                      |
| 4.3      | 0.12            | 0.15              | 0.78                      | 4.3      | 1.05            | 0.10              | 10.52                     |
| 4.4      | 0.11            | 0.15              | 0.77                      | 4.4      | 0.78            | 0.10              | 7.92                      |
| 4.5      | 0.11            | 0.14              | 0.76                      | 4.5      | 1.07            | 0.10              | 11.16                     |
| 4.6      | 0.11            | 0.14              | 0.74                      | 4.6      | 0.80            | 0.09              | 8.45                      |
| 4.7      | 0.10            | 0.14              | 0.73                      | 4.7      | 1.10            | 0.09              | 11.80                     |
| 4.8      | 0.10            | 0.14              | 0.71                      | 4.8      | 0.82            | 0.09              | 8.99                      |
| 4.9      | 0.09            | 0.13              | 0.70                      | 4.9      | 1.12            | 0.09              | 12.46                     |
| 5        | 0.09            | 0.13              | 0.69                      | 5        | 0.84            | 0.09              | 9.56                      |



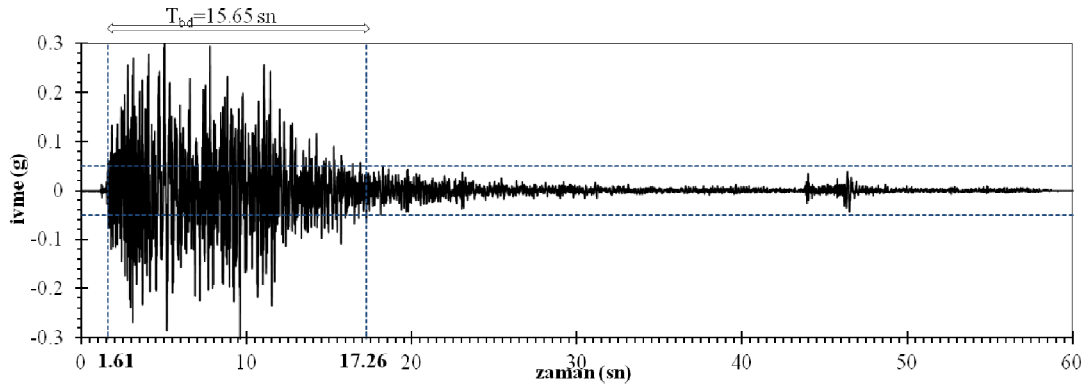
Şekil A.22 : TS8 kaydına ait ivme-zaman grafiği ve kaydın zarf süresi.



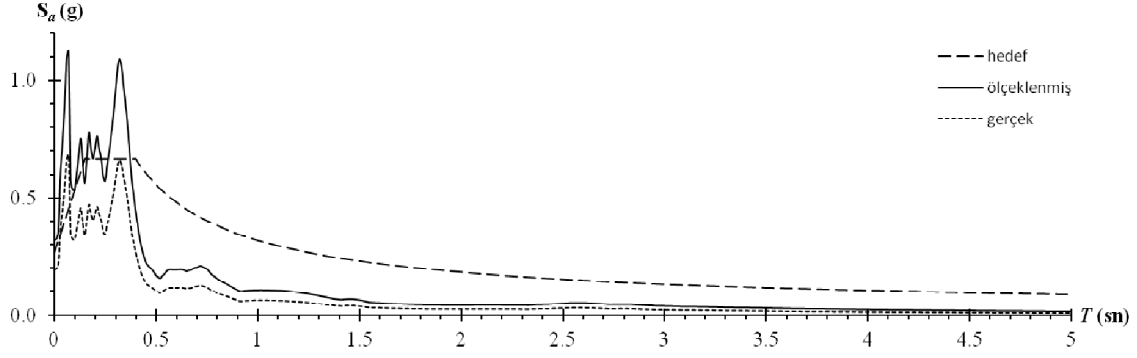
Şekil A.23 : TS8 kaydına ait ölçeklenmiş ve ölçeklenmemiş ivme spektrumları.



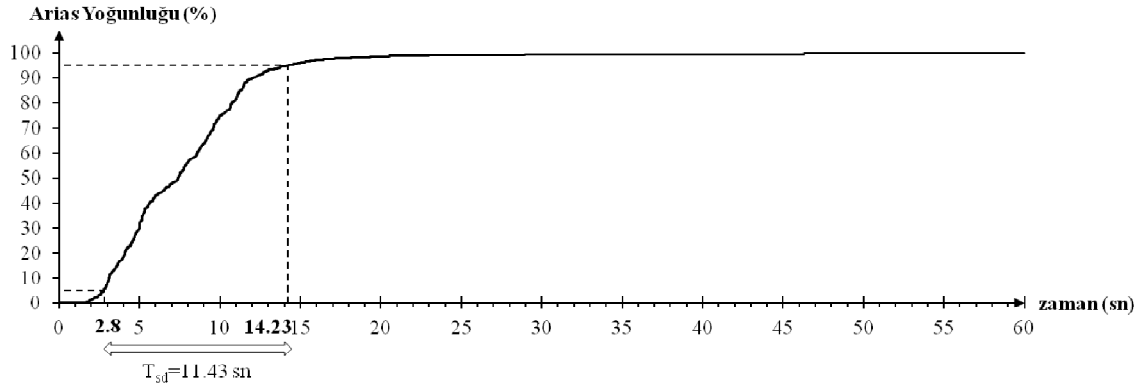
Şekil A.24 : TS8 kaydına ait husid grafiği ve kaydın anlamlı süresi.



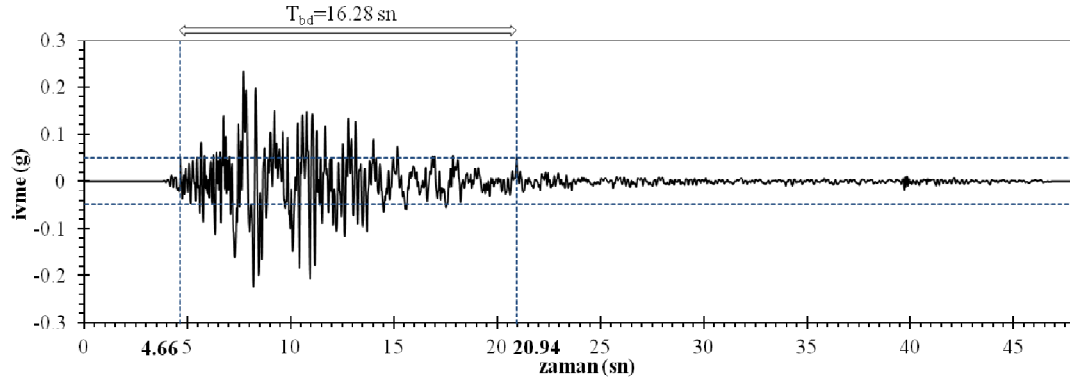
Şekil A.25 : TS9 kaydına ait ivme-zaman grafiği ve kaydın zarf süresi.



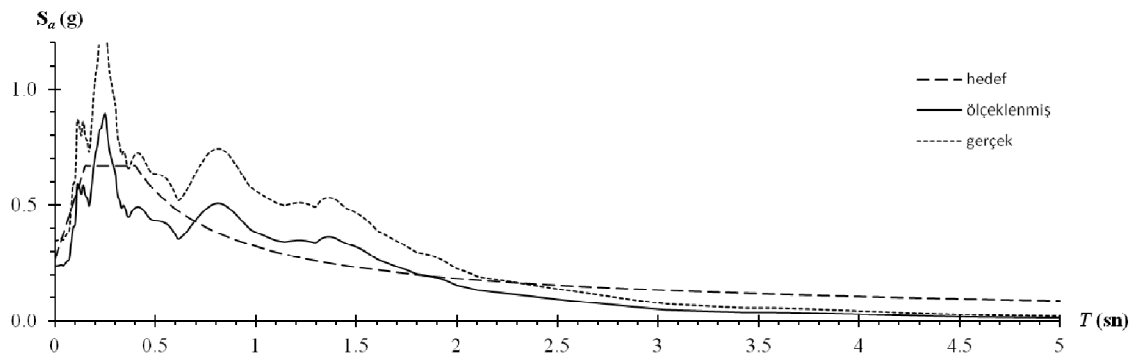
Şekil A.26 : TS9 kaydına ait ölçeklenmiş ve ölçeklenmemiş ivme spektrumları.



Şekil A.27 : TS9 kaydına ait husid grafiği ve kaydın anlamlı süresi.

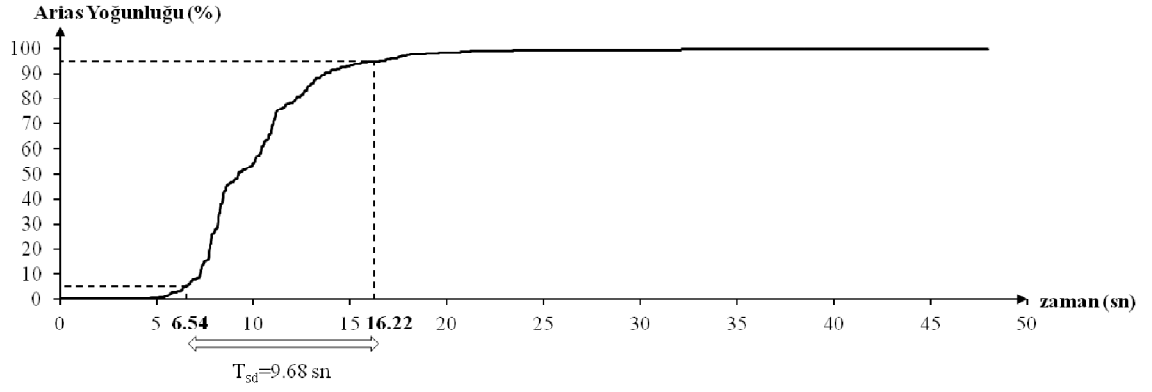


Şekil A.28 : TS10 kaydına ait ivme-zaman grafiği ve kaydın zarf süresi.

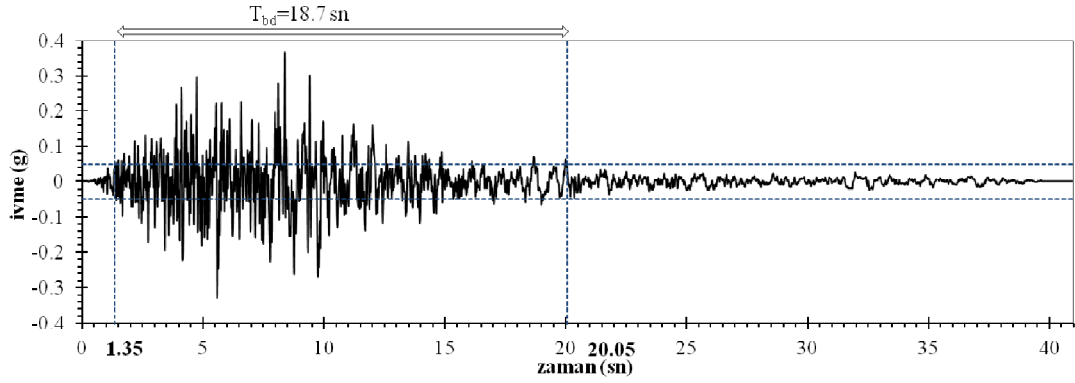


Şekil A.29 : TS10 kaydına ait ölçeklenmiş ve ölçeklenmemiş ivme spektrumları.

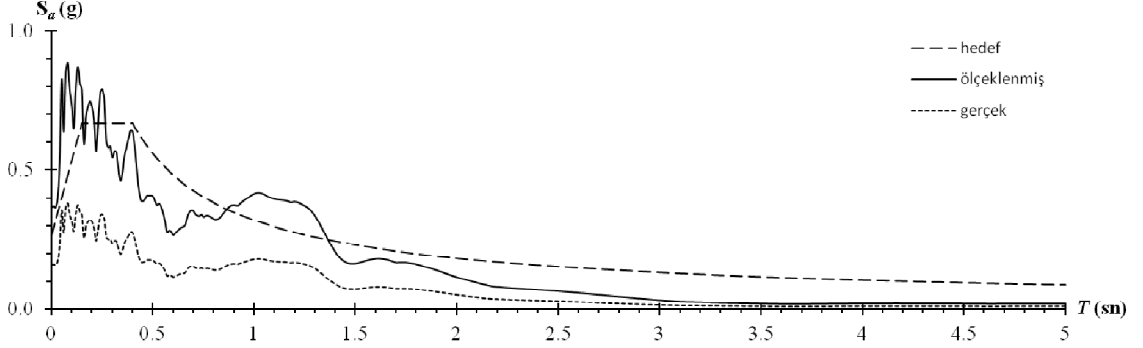




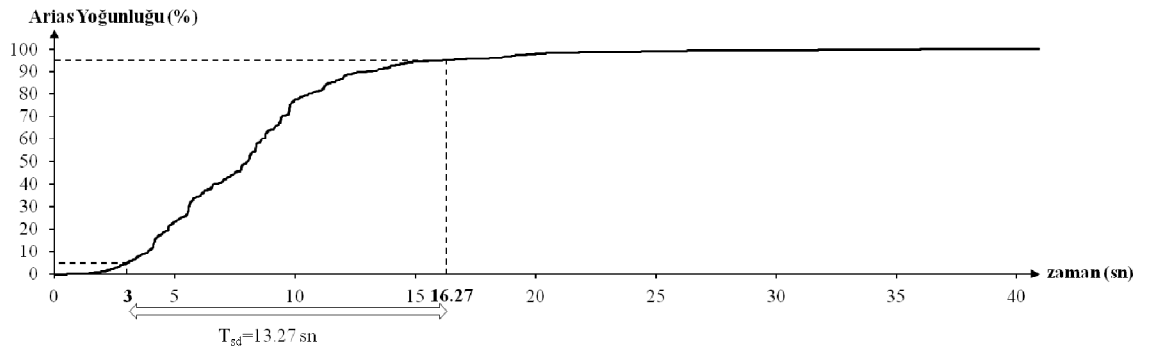
Şekil A.30 : TS10 kaydına ait husid grafiği ve kaydın anlamlı süresi.



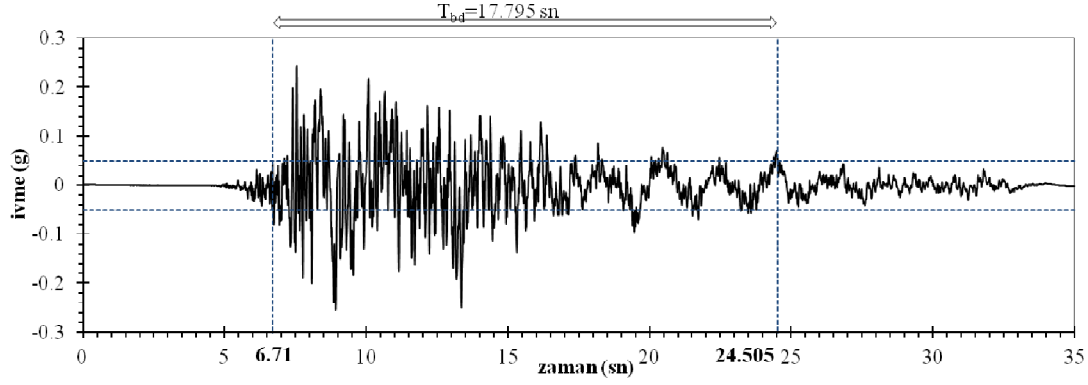
Şekil A.31 : TS11 kaydına ait ivme-zaman grafiği ve kaydın zarf süresi.



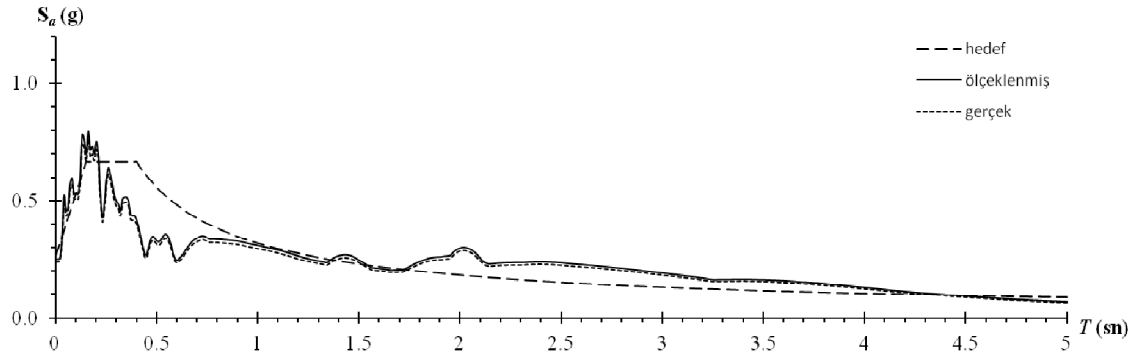
Şekil A.32 : TS11 kaydına ait ölçeklenmiş ve ölçeklenmemiş ivme spektrumları.



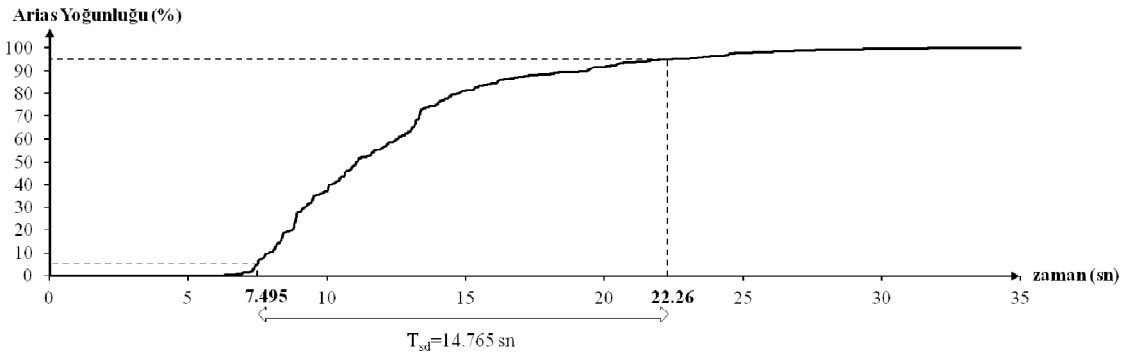
Şekil A.33 : TS11 kaydına ait husid grafiği ve kaydın anlamlı süresi.



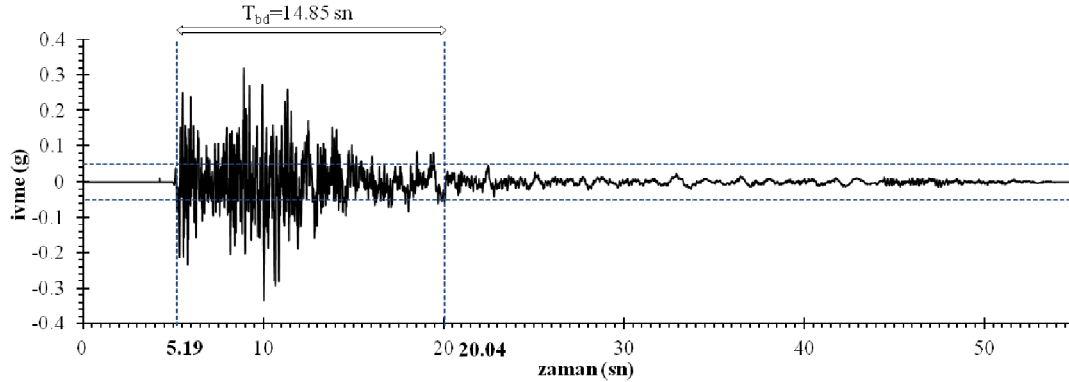
Şekil A.34 : TS12 kaydına ait ivme-zaman grafiği ve kaydın zarf süresi.



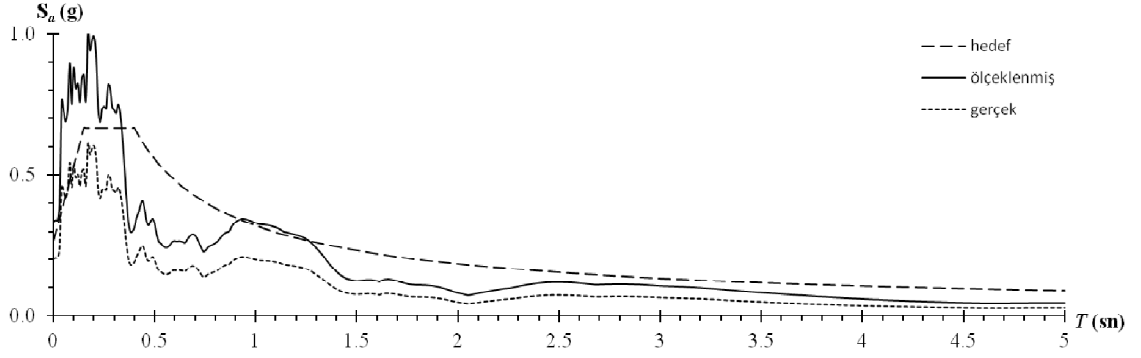
Şekil A.35 : TS12 kaydına ait ölçeklenmiş ve ölçeklenmemiş ivme spektrumları.



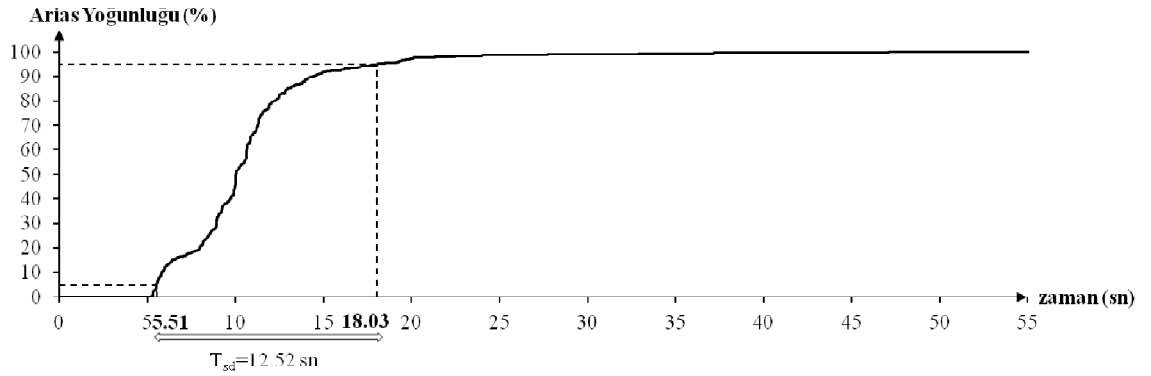
Şekil A.36 : TS12 kaydına ait husid grafiği ve kaydın anlamlı süresi.



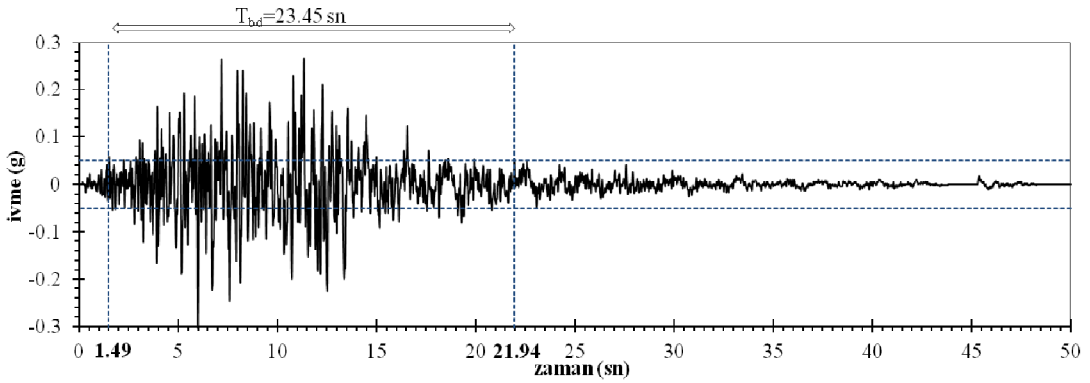
Şekil A.37 : TS13 kaydına ait ivme-zaman grafiği ve kaydın zarf süresi.



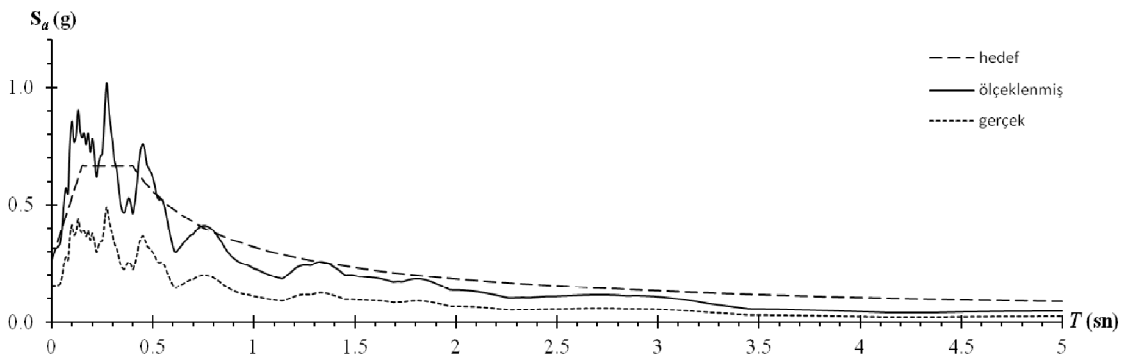
Şekil A.38 : TS13 kaydına ait ölçeklenmiş ve ölçeklenmemiş ivme spektrumları.



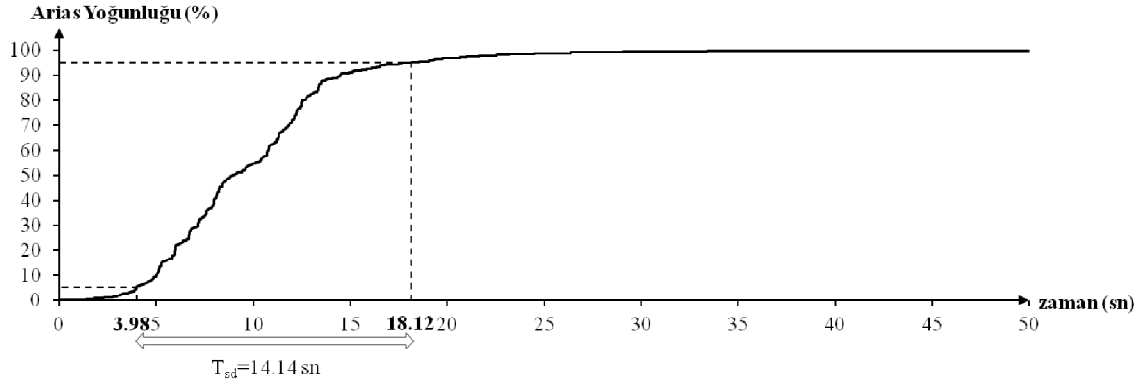
Şekil A.39 : TS13 kaydına ait husid grafiği ve kaydın anlamlı süresi.



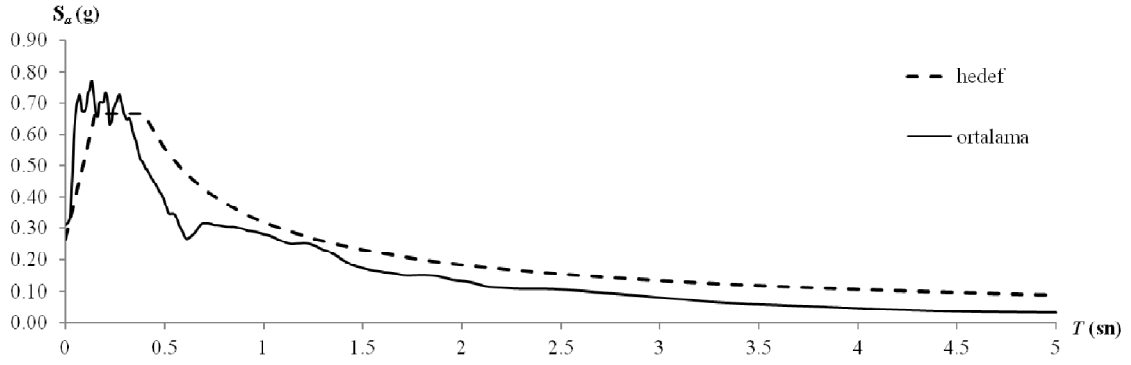
Şekil A.40 : TS14 kaydına ait ivme-zaman grafiği ve kaydın zarf süresi.



Şekil A.41 : TS14 kaydına ait ölçeklenmiş ve ölçeklenmemiş ivme spektrumları.



Şekil A.42 : TS14 kaydına ait husid grafiği ve kaydın anlamlı süresi.



Şekil A.43 : Düşey deprem kayıtlarının ortalamasının ivme spekturumu.

**EK B**

**Çizelge B.1 :** TH1 analizi için kritik kesitlerdeki iç kuvvetlerin karşılaştırılması.

|                         |                   | Mod Birleştirme |         |          | TH1      |             |             |             |             |             |             |         |      |
|-------------------------|-------------------|-----------------|---------|----------|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------|------|
|                         |                   | V (kN)          | M (kNm) | N (kN)   | V (kN)   | $\alpha_V$  | M (kNm)     | $\alpha_M$  | N (kN)      | $\alpha_N$  |             |         |      |
| yüksek kiriş            | K1601-1           | max             | i       | -        | 434.50   | -           | -           | -           | -           | -           | -           |         |      |
|                         |                   |                 | j       | 16.53    | 2277.95  | -           | -           | -           | 1952.88     | 0.86        | -           | -       |      |
|                         |                   | min             | i       | -839.97  | -1277.10 | -           | -667.92     | 0.80        | -830.03     | 0.65        | -           | -       |      |
|                         |                   |                 | j       | -713.59  | -        | -           | -541.54     | 0.76        | -           | -           | -           | -       |      |
|                         | K1601-2           | max             | i       | 1545.95  | 1994.07  | -           | 1422.32     | 0.92        | 1859.36     | 0.93        | -           | -       |      |
|                         |                   |                 | j       | 1628.82  | -        | -           | 1505.19     | 0.92        | -           | -           | -           | -       |      |
|                         |                   | min             | i       | -        | -        | -           | -           | -           | -           | -           | -           | -       |      |
|                         |                   |                 | j       | -        | -3050.92 | -           | -           | -           | -2625.20    | 0.86        | -           | -       |      |
|                         | K1602-1           | max             | i       | -        | -        | -           | -           | -           | -           | -           | -           |         |      |
|                         |                   |                 | j       | -        | 1008.09  | -           | -           | -           | 944.46      | 0.94        | -           | -       |      |
|                         |                   | min             | i       | -2064.86 | -3134.02 | -           | -1766.94    | 0.86        | -2595.59    | 0.83        | -           | -       |      |
|                         |                   |                 | j       | -2009.61 | -        | -           | -1711.69    | 0.85        | -           | -           | -           | -       |      |
| K1602-2                 | max               | i               | 91.21   | 1159.84  | -        | 19.99       | 0.22        | 972.67      | 0.84        | -           | -           |         |      |
|                         |                   | j               | 196.09  | 1161.38  | -        | 124.87      | 0.64        | 913.40      | 0.79        | -           | -           |         |      |
|                         | min               | i               | -197.58 | -        | -        | -119.62     | 0.61        | -           | -           | -           | -           |         |      |
|                         |                   | j               | -92.51  | -        | -        | -14.54      | 0.16        | -           | -           | -           | -           |         |      |
| <b>ortalama</b>         |                   |                 |         |          |          | <b>0.67</b> |             | <b>0.84</b> |             | <b>-</b>    |             |         |      |
| mesnetlik eden kolonlar | S1601             | max             | i       | 122.51   | 24.69    | -580.37     | -           | -           | -           | -           | -1054.39    | 1.82    |      |
|                         |                   |                 | j       | 122.51   | 816.77   | -558.30     | -           | -           | 557.18      | 0.68        | -1032.33    | 1.85    |      |
|                         |                   | min             | i       | -591.52  | -234.33  | -2617.17    | -409.63     | 0.69        | -171.40     | 0.73        | -2168.77    | 0.83    |      |
|                         |                   |                 | j       | -591.52  | -193.91  | -2592.65    | -409.63     | 0.69        | -           | -           | -2144.25    | 0.83    |      |
|                         | S1602             | max             | i       | 547.81   | 151.34   | -1622.84    | 220.53      | 0.40        | 68.49       | 0.45        | -1786.36    | 1.10    |      |
|                         |                   |                 | j       | 547.81   | 942.84   | -1587.20    | 220.53      | 0.40        | 415.51      | 0.44        | -1750.72    | 1.10    |      |
|                         |                   | min             | i       | -623.39  | -168.90  | -3600.18    | -275.24     | 0.44        | -78.86      | 0.47        | -3346.36    | 0.93    |      |
|                         |                   |                 | j       | -623.39  | -826.26  | -3560.57    | -275.24     | 0.44        | -322.95     | 0.39        | -3306.75    | 0.93    |      |
|                         | <b>ortalama</b>   |                 |         |          |          |             | <b>0.51</b> |             | <b>0.53</b> |             | <b>1.47</b> |         |      |
|                         |                   |                 |         |          |          |             |             |             |             |             | <b>0.88</b> |         |      |
|                         | süreksiz kolonlar | S1701           | max     | i        | 47.18    | 51.14       | -415.88     | -           | -           | -           | -           | -685.58 | 1.65 |
|                         |                   |                 |         | j        | 47.18    | 129.82      | -405.47     | -           | -           | 87.70       | 0.68        | -675.18 | 1.67 |
| min                     |                   |                 | i       | -162.57  | -170.98  | -1655.83    | -108.77     | 0.67        | -113.51     | 0.66        | -1390.89    | 0.84    |      |
|                         |                   |                 | j       | -162.57  | -36.18   | -1644.27    | -108.77     | 0.67        | -           | -           | -1379.33    | 0.84    |      |
| S1702                   |                   | max             | i       | 152.33   | 165.15   | -903.36     | 70.82       | 0.46        | 83.50       | 0.51        | -965.22     | 1.07    |      |
|                         |                   |                 | j       | 152.33   | 144.88   | -889.83     | 70.82       | 0.46        | 71.29       | 0.49        | -951.69     | 1.07    |      |
|                         |                   | min             | i       | -159.76  | -152.64  | -1890.56    | -72.72      | 0.46        | -65.16      | 0.43        | -1795.27    | 0.95    |      |
|                         |                   |                 | j       | -159.76  | -118.64  | -1875.53    | -72.72      | 0.46        | -49.43      | 0.42        | -1780.24    | 0.95    |      |
| S1703                   |                   | max             | i       | 116.91   | 107.91   | -651.00     | 39.92       | 0.34        | 28.49       | 0.26        | -798.36     | 1.23    |      |
|                         |                   |                 | j       | 116.91   | 128.30   | -637.48     | 39.92       | 0.34        | 60.25       | 0.47        | -784.83     | 1.23    |      |
|                         |                   | min             | i       | -173.84  | -193.32  | -1808.17    | -90.68      | 0.52        | -107.50     | 0.56        | -1609.03    | 0.89    |      |
|                         |                   |                 | j       | -173.84  | -108.39  | -1793.14    | -90.68      | 0.52        | -45.36      | 0.42        | -1594.00    | 0.89    |      |
| <b>ortalama</b>         |                   |                 |         |          |          | <b>0.49</b> |             | <b>0.49</b> |             | <b>1.32</b> |             |         |      |
|                         |                   |                 |         |          |          |             |             |             |             | <b>0.89</b> |             |         |      |

**Çizelge B.2 :** TH1 analizi için kritik kesitlerdeki iç kuvvetlerin karşılaştırılması.

|                         |                   | Mod Birleştirme |          |          | TH1      |             |             |             |             |             |             |         |      |
|-------------------------|-------------------|-----------------|----------|----------|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------|------|
|                         |                   | V (kN)          | M (kNm)  | N (kN)   | V (kN)   | $\alpha_V$  | M (kNm)     | $\alpha_M$  | N (kN)      | $\alpha_N$  |             |         |      |
| yüksek giriş            | K1603-1           | max             | i        | 709.91   | 2268.92  | -           | 574.35      | 0.81        | 2036.19     | 0.90        | -           | -       |      |
|                         |                   |                 | j        | 836.29   | 444.35   | -           | 700.74      | 0.84        | 32.40       | 0.07        | -           | -       |      |
|                         | min               | i               | -        | -        | -        | -           | -           | -           | -           | -           | -           |         |      |
|                         |                   | j               | -        | -1269.41 | -        | -           | -           | -880.57     | 0.69        | -           | -           |         |      |
|                         | K1603-2           | max             | i        | -        | -        | -           | -           | -           | -           | -           | -           |         |      |
|                         |                   |                 | j        | -        | 1987.82  | -           | -           | -           | 1900.11     | 0.96        | -           | -       |      |
|                         | min               | i               | -1627.18 | -3052.19 | -        | -1465.10    | 0.90        | -2525.13    | 0.83        | -           | -           |         |      |
|                         |                   | j               | -1544.30 | -        | -        | -1382.23    | 0.90        | 1010.08     | -           | -           | -           |         |      |
|                         | K1602-3           | max             | i        | 2004.42  | 1007.20  | -           | 1794.99     | 0.90        | 939.22      | 0.93        | -           | -       |      |
|                         |                   |                 | j        | 2059.67  | -        | -           | 1850.24     | 0.90        | -           | -           | -           | -       |      |
|                         | min               | i               | -        | -        | -        | -           | -           | -           | -           | -           | -           |         |      |
|                         |                   | j               | -        | -3124.55 | -        | -           | -           | -2742.54    | 0.88        | -           | -           |         |      |
| K1602-2                 | max               | i               | 91.21    | 1159.84  | -        | 19.99       | 0.22        | 972.67      | 0.84        | -           | -           |         |      |
|                         |                   | j               | 196.09   | 1161.38  | -        | 124.87      | 0.64        | 913.40      | 0.79        | -           | -           |         |      |
| min                     | i                 | -197.58         | -        | -        | -119.62  | 0.61        | -           | -           | -           | -           |             |         |      |
|                         | j                 | -92.51          | -        | -        | -14.54   | 0.16        | -           | -           | -           | -           |             |         |      |
| <b>ortalama</b>         |                   |                 |          |          |          | <b>0.69</b> |             | <b>0.76</b> |             |             |             |         |      |
| mesnetlik eden kolonlar | S1604             | max             | i        | 588.28   | 233.11   | -564.29     | 433.21      | 0.74        | 181.86      | 0.78        | -924.68     | 1.64    |      |
|                         |                   |                 | j        | 588.28   | 199.69   | -542.23     | 433.21      | 0.74        | -           | -           | -902.61     | 1.66    |      |
|                         | min               | i               | -126.45  | -25.90   | -2598.80 | -           | -           | -           | -           | -2272.29    | 0.87        |         |      |
|                         |                   | j               | -126.45  | -812.23  | -2574.28 | -           | -           | -587.09     | 0.72        | -2247.77    | 0.87        |         |      |
|                         | S1603             | max             | i        | 618.96   | 167.38   | -1615.26    | 321.19      | 0.52        | 93.25       | 0.56        | -1779.70    | 1.10    |      |
|                         |                   |                 | j        | 618.96   | 837.14   | -1579.61    | 321.19      | 0.52        | 359.01      | 0.43        | -1744.05    | 1.10    |      |
|                         | min               | i               | -554.84  | -152.93  | -3591.31 | -240.13     | 0.43        | -67.22      | 0.44        | -3399.40    | 0.95        |         |      |
|                         |                   | j               | -554.84  | -936.50  | -3551.71 | -240.13     | 0.43        | -476.86     | 0.51        | -3359.80    | 0.95        |         |      |
|                         | <b>ortalama</b>   |                 |          |          |          |             | <b>0.56</b> |             | <b>0.57</b> |             | <b>1.38</b> |         |      |
|                         |                   |                 |          |          |          |             |             |             |             |             | <b>0.91</b> |         |      |
|                         | süreksiz kolonlar | S1706           | max      | i        | 161.56   | 169.86      | -405.62     | 115.59      | 0.72        | 121.28      | 0.71        | -616.20 | 1.52 |
|                         |                   |                 |          | j        | 161.56   | 37.14       | -395.22     | 115.59      | 0.72        | -           | -           | -605.79 | 1.53 |
| min                     |                   | i               | -48.42   | -52.47   | -1643.69 | -           | -           | -           | -           | -1456.28    | 0.89        |         |      |
|                         |                   | j               | -48.42   | -129.07  | -1632.13 | -           | -           | -92.57      | 0.72        | -1444.71    | 0.89        |         |      |
| S1705                   |                   | max             | i        | 158.40   | 151.67   | -899.17     | 79.30       | 0.50        | 70.99       | 0.47        | -971.53     | 1.08    |      |
|                         |                   |                 | j        | 158.40   | 120.27   | -885.64     | 79.30       | 0.50        | 50.30       | 0.42        | -958.00     | 1.08    |      |
| min                     |                   | i               | -154.33  | -167.61  | -1885.17 | -70.00      | 0.45        | -81.51      | 0.49        | -1819.76    | 0.97        |         |      |
|                         |                   | j               | -154.33  | -143.76  | -1870.14 | -70.00      | 0.45        | -78.03      | 0.54        | -1804.72    | 0.97        |         |      |
| S1704                   |                   | max             | i        | 172.54   | 191.96   | -647.01     | 102.56      | 0.59        | 121.31      | 0.63        | -788.84     | 1.22    |      |
|                         |                   |                 | j        | 172.54   | 109.99   | -633.48     | 102.56      | 0.59        | 46.48       | 0.42        | -775.31     | 1.22    |      |
| min                     |                   | i               | -118.82  | -109.86  | -1803.76 | -42.94      | 0.36        | -32.96      | 0.30        | -1661.18    | 0.92        |         |      |
|                         |                   | j               | -118.82  | -127.27  | -1788.72 | -42.94      | 0.36        | -68.42      | 0.54        | -1646.15    | 0.92        |         |      |
| <b>ortalama</b>         |                   |                 |          |          |          | <b>0.53</b> |             | <b>0.52</b> |             | <b>1.28</b> |             |         |      |
|                         |                   |                 |          |          |          |             |             |             |             | <b>0.92</b> |             |         |      |

**Çizelge B.3 :** TH2 analizi için kritik kesitlerdeki iç kuvvetlerin karşılaştırılması.

|                         |                   | Mod Birleştirme |          |          | TH2      |            |             |             |             |             |             |         |      |
|-------------------------|-------------------|-----------------|----------|----------|----------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------|------|
|                         |                   | V (kN)          | M (kNm)  | N (kN)   | V (kN)   | $\alpha_V$ | M (kNm)     | $\alpha_M$  | N (kN)      | $\alpha_N$  |             |         |      |
| yüksek giriş            | K1601-1           | max             | i        | -        | 434.50   | -          | -           | -           | 473.04      | 1.09        | -           | -       |      |
|                         |                   |                 | j        | 16.53    | 2277.95  | -          | -           | -           | 2423.24     | 1.06        | -           | -       |      |
|                         | min               | i               | -839.97  | -1277.10 | -        | -950.54    | 1.13        | -1636.38    | 1.28        | -           | -           |         |      |
|                         |                   | j               | -713.59  | -        | -        | -824.16    | 1.15        | -           | -           | -           | -           |         |      |
|                         | K1601-2           | max             | i        | 1545.95  | 1994.07  | -          | 1536.63     | 0.99        | 1994.88     | 1.00        | -           | -       |      |
|                         |                   |                 | j        | 1628.82  | -        | -          | 1619.51     | 0.99        | -           | -           | -           | -       |      |
|                         | min               | i               | -        | -        | -        | -          | -           | -           | -           | -           | -           |         |      |
|                         |                   | j               | -        | -3050.92 | -        | -          | -           | -3151.67    | 1.03        | -           | -           |         |      |
|                         | K1602-1           | max             | i        | -        | -        | -          | -           | -           | -           | -           | -           | -       |      |
|                         |                   |                 | j        | -        | 1008.09  | -          | -           | -           | 961.43      | 0.95        | -           | -       |      |
|                         | min               | i               | -2064.86 | -3134.02 | -        | -2033.88   | 0.98        | -3216.76    | 1.03        | -           | -           |         |      |
|                         |                   | j               | -2009.61 | -        | -        | -1978.63   | 0.98        | -           | -           | -           | -           |         |      |
| K1602-2                 | max               | i               | 91.21    | 1159.84  | -        | 130.40     | 1.43        | 1137.54     | 0.98        | -           | -           |         |      |
|                         |                   | j               | 196.09   | 1161.38  | -        | 240.90     | 1.23        | 1184.54     | 1.02        | -           | -           |         |      |
| min                     | i                 | -197.58         | -        | -        | -265.23  | 1.34       | -           | -           | -           | -           |             |         |      |
|                         | j                 | -92.51          | -        | -        | -154.73  | 1.67       | -           | -           | -           | -           |             |         |      |
| <b>ortalama</b>         |                   |                 |          |          |          |            | <b>1.19</b> | <b>1.05</b> |             |             |             |         |      |
| mesnetlik eden kolonlar | S1601             | max             | i        | 122.51   | 24.69    | -580.37    | 108.40      | 0.88        | 3.85        | 0.16        | -1054.39    | 1.82    |      |
|                         |                   |                 | j        | 122.51   | 816.77   | -558.30    | 108.40      | 0.88        | 1021.49     | 1.25        | -1032.33    | 1.85    |      |
|                         | min               | i               | -591.52  | -234.33  | -2617.17 | -731.42    | 1.24        | -276.77     | 1.18        | -2729.20    | 1.04        |         |      |
|                         |                   | j               | -591.52  | -193.91  | -2592.65 | -731.42    | 1.24        | -188.55     | 0.97        | -2704.68    | 1.04        |         |      |
|                         | S1602             | max             | i        | 547.81   | 151.34   | -1622.84   | 697.98      | 1.27        | 173.34      | 1.15        | -1786.36    | 1.10    |      |
|                         |                   |                 | j        | 547.81   | 942.84   | -1587.20   | 697.98      | 1.27        | 1337.31     | 1.42        | -1750.72    | 1.10    |      |
|                         | min               | i               | -623.39  | -168.90  | -3600.18 | -877.07    | 1.41        | -219.48     | 1.30        | -3378.38    | 0.94        |         |      |
|                         |                   | j               | -623.39  | -826.26  | -3560.57 | -877.07    | 1.41        | -1065.58    | 1.29        | -3338.77    | 0.94        |         |      |
|                         | <b>ortalama</b>   |                 |          |          |          |            |             | <b>1.20</b> | <b>1.09</b> |             | <b>1.47</b> |         |      |
|                         |                   |                 |          |          |          |            |             |             |             |             | <b>0.99</b> |         |      |
|                         | süreksiz kolonlar | S1701           | max      | i        | 47.18    | 51.14      | -415.88     | 48.19       | 1.02        | 52.55       | 1.03        | -685.58 | 1.65 |
|                         |                   |                 |          | j        | 47.18    | 129.82     | -405.47     | 48.19       | 1.02        | 163.90      | 1.26        | -675.18 | 1.67 |
| min                     |                   | i               | -162.57  | -170.98  | -1655.83 | -204.87    | 1.26        | -215.10     | 1.26        | -1685.98    | 1.02        |         |      |
|                         |                   | j               | -162.57  | -36.18   | -1644.27 | -204.87    | 1.26        | -36.60      | 1.01        | -1674.42    | 1.02        |         |      |
| S1702                   |                   | max             | i        | 152.33   | 165.15   | -903.36    | 198.55      | 1.30        | 215.38      | 1.30        | -965.22     | 1.07    |      |
|                         |                   |                 | j        | 152.33   | 144.88   | -889.83    | 198.55      | 1.30        | 206.13      | 1.42        | -951.69     | 1.07    |      |
| min                     |                   | i               | -159.76  | -152.64  | -1890.56 | -235.00    | 1.47        | -228.61     | 1.50        | -1815.08    | 0.96        |         |      |
|                         |                   | j               | -159.76  | -118.64  | -1875.53 | -235.00    | 1.47        | -151.94     | 1.28        | -1800.05    | 0.96        |         |      |
| S1703                   |                   | max             | i        | 116.91   | 107.91   | -651.00    | 144.66      | 1.24        | 128.41      | 1.19        | -798.36     | 1.23    |      |
|                         |                   |                 | j        | 116.91   | 128.30   | -637.48    | 144.66      | 1.24        | 180.73      | 1.41        | -784.83     | 1.23    |      |
| min                     |                   | i               | -173.84  | -193.32  | -1808.17 | -234.02    | 1.35        | -252.21     | 1.30        | -1705.44    | 0.94        |         |      |
|                         |                   | j               | -173.84  | -108.39  | -1793.14 | -234.02    | 1.35        | -139.21     | 1.28        | -1690.41    | 0.94        |         |      |
| <b>ortalama</b>         |                   |                 |          |          |          |            | <b>1.27</b> | <b>1.27</b> |             | <b>1.32</b> |             |         |      |
|                         |                   |                 |          |          |          |            |             |             |             | <b>0.97</b> |             |         |      |

**Çizelge B.4 :** TH2 analizi için kritik kesitlerdeki iç kuvvetlerin karşılaştırılması.

|                         |                   | Mod Birleştirme |          |          | TH1         |             |             |             |         |             |             |         |      |
|-------------------------|-------------------|-----------------|----------|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------|-------------|-------------|---------|------|
|                         |                   | V (kN)          | M (kNm)  | N (kN)   | V (kN)      | $\alpha_V$  | M (kNm)     | $\alpha_M$  | N (kN)  | $\alpha_N$  |             |         |      |
| yüksek giriş            | K1603-1           | max             | i        | 709.91   | 2268.92     | -           | 772.12      | 1.09        | 2328.58 | 1.03        | -           | -       |      |
|                         |                   | j               | 836.29   | 444.35   | -           | 898.50      | 1.07        | 614.85      | 1.38    | -           | -           |         |      |
|                         | min               | i               | -        | -        | -           | -           | -           | -           | -       | -           | -           |         |      |
|                         |                   | j               | -        | -1269.41 | -           | -           | -           | -1492.95    | 1.18    | -           | -           |         |      |
|                         | K1603-2           | max             | i        | -        | -           | -           | -           | -           | -       | -           | -           |         |      |
|                         |                   | j               | -        | 1987.82  | -           | -           | -           | 1954.04     | 0.98    | -           | -           |         |      |
|                         | min               | i               | -1627.18 | -3052.19 | -           | -1657.89    | 1.02        | -3292.69    | 1.08    | -           | -           |         |      |
|                         |                   | j               | -1544.30 | -        | -           | -1575.01    | 1.02        | -           | -       | -           | -           |         |      |
|                         | K1602-3           | max             | i        | 2004.42  | 1007.20     | -           | 1922.63     | 0.96        | 940.34  | 0.93        | -           | -       |      |
|                         |                   | j               | 2059.67  | -        | -           | 1977.88     | 0.96        | -           | -       | -           | -           |         |      |
|                         | min               | i               | -        | -        | -           | -           | -           | -           | -       | -           | -           |         |      |
|                         |                   | j               | -        | -3124.55 | -           | -           | -           | -3100.05    | 0.99    | -           | -           |         |      |
| K1602-2                 | max               | i               | 91.21    | 1159.84  | -           | 130.40      | 1.43        | 1137.54     | 0.98    | -           | -           |         |      |
|                         | j                 | 196.09          | 1161.38  | -        | 240.90      | 1.23        | 1184.54     | 1.02        | -       | -           |             |         |      |
| min                     | i                 | -197.58         | -        | -        | -265.23     | 1.34        | -           | -           | -       | -           |             |         |      |
|                         | j                 | -92.51          | -        | -        | -154.73     | 1.67        | -           | -           | -       | -           |             |         |      |
| <b>ortalama</b>         |                   |                 |          |          | <b>1.18</b> |             | <b>1.06</b> |             |         |             |             |         |      |
| mesnetlik eden kolonlar | S1604             | max             | i        | 588.28   | 233.11      | -564.29     | 674.07      | 1.15        | 258.00  | 1.11        | -924.68     | 1.64    |      |
|                         |                   | j               | 588.28   | 199.69   | -542.23     | 674.07      | 1.15        | 269.94      | 1.35    | -902.61     | 1.66        |         |      |
|                         | min               | i               | -126.45  | -25.90   | -2598.80    | -164.73     | 1.30        | -22.46      | 0.87    | -2609.49    | 1.00        |         |      |
|                         |                   | j               | -126.45  | -812.23  | -2574.28    | -164.73     | 1.30        | -938.48     | 1.16    | -2584.98    | 1.00        |         |      |
|                         | S1603             | max             | i        | 618.96   | 167.38      | -1615.26    | 775.52      | 1.25        | 195.06  | 1.17        | -1779.70    | 1.10    |      |
|                         |                   | j               | 618.96   | 837.14   | -1579.61    | 775.52      | 1.25        | 1226.91     | 1.47    | -1744.05    | 1.10        |         |      |
|                         | min               | i               | -554.84  | -152.93  | -3591.31    | -803.12     | 1.45        | -198.63     | 1.30    | -3419.13    | 0.95        |         |      |
|                         |                   | j               | -554.84  | -936.50  | -3551.71    | -803.12     | 1.45        | -1181.48    | 1.26    | -3379.52    | 0.95        |         |      |
|                         | <b>ortalama</b>   |                 |          |          |             | <b>1.29</b> |             | <b>1.21</b> |         |             | <b>1.38</b> |         |      |
|                         |                   |                 |          |          |             |             |             |             |         |             | <b>0.98</b> |         |      |
|                         | süreksiz kolonlar | S1706           | max      | i        | 161.56      | 169.86      | -405.62     | 187.61      | 1.16    | 196.79      | 1.16        | -616.20 | 1.52 |
|                         |                   |                 | j        | 161.56   | 37.14       | -395.22     | 187.61      | 1.16        | 50.01   | 1.35        | -605.79     | 1.53    |      |
| min                     |                   | i               | -48.42   | -52.47   | -1643.69    | -65.17      | 1.35        | -70.55      | 1.34    | -1617.24    | 0.98        |         |      |
|                         |                   | j               | -48.42   | -129.07  | -1632.13    | -65.17      | 1.35        | -150.29     | 1.16    | -1605.68    | 0.98        |         |      |
| S1705                   |                   | max             | i        | 158.40   | 151.67      | -899.17     | 206.29      | 1.30        | 199.20  | 1.31        | -971.53     | 1.08    |      |
|                         |                   | j               | 158.40   | 120.27   | -885.64     | 206.29      | 1.30        | 176.04      | 1.46    | -958.00     | 1.08        |         |      |
| min                     |                   | i               | -154.33  | -167.61  | -1885.17    | -227.79     | 1.48        | -245.37     | 1.46    | -1809.49    | 0.96        |         |      |
|                         |                   | j               | -154.33  | -143.76  | -1870.14    | -227.79     | 1.48        | -182.44     | 1.27    | -1794.46    | 0.96        |         |      |
| S1704                   |                   | max             | i        | 172.54   | 191.96      | -647.01     | 209.34      | 1.21        | 227.32  | 1.18        | -788.84     | 1.22    |      |
|                         |                   | j               | 172.54   | 109.99   | -633.48     | 209.34      | 1.21        | 160.32      | 1.46    | -775.31     | 1.22        |         |      |
| min                     |                   | i               | -118.82  | -109.86  | -1803.76    | -169.68     | 1.43        | -153.58     | 1.40    | -1697.51    | 0.94        |         |      |
|                         |                   | j               | -118.82  | -127.27  | -1788.72    | -169.68     | 1.43        | -159.96     | 1.26    | -1682.48    | 0.94        |         |      |
| <b>ortalama</b>         |                   |                 |          |          | <b>1.32</b> |             | <b>1.32</b> |             |         | <b>1.28</b> |             |         |      |
|                         |                   |                 |          |          |             |             |             |             |         | <b>0.96</b> |             |         |      |



**Çizelge B.5 :** TH3 analizi için kritik kesitlerdeki iç kuvvetlerin karşılaştırılması.

|                        |                  | Mod Birleştirme |         |          | TH3      |             |             |             |             |             |             |         |      |
|------------------------|------------------|-----------------|---------|----------|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------|------|
|                        |                  | V (kN)          | M (kNm) | N (kN)   | V (kN)   | $\alpha_V$  | M (kNm)     | $\alpha_M$  | N (kN)      | $\alpha_N$  |             |         |      |
| yüksek kiriş           | K1601-1          | max             | i       | -        | 434.50   | -           | -           | -           | 207.43      | 0.48        | -           | -       |      |
|                        |                  |                 | j       | 16.53    | 2277.95  | -           | -           | -           | 2197.09     | 0.96        | -           | -       |      |
|                        |                  | min             | i       | -839.97  | -1277.10 | -           | -806.82     | 0.96        | -1205.03    | 0.94        | -           | -       |      |
|                        |                  |                 | j       | -713.59  | -        | -           | -680.44     | 0.95        | -           | -           | -           | -       |      |
|                        | K1601-2          | max             | i       | 1545.95  | 1994.07  | -           | 1405.34     | 0.91        | 1935.22     | 0.97        | -           | -       |      |
|                        |                  |                 | j       | 1628.82  | -        | -           | 1488.22     | 0.91        | -           | -           | -           | -       |      |
|                        |                  | min             | i       | -        | -        | -           | -           | -           | -           | -           | -           | -       |      |
|                        |                  |                 | j       | -        | -3050.92 | -           | -           | -           | -2652.17    | 0.87        | -           | -       |      |
|                        | K1602-1          | max             | i       | -        | -        | -           | -           | -           | -           | -           | -           | -       |      |
|                        |                  |                 | j       | -        | 1008.09  | -           | -           | -           | 959.87      | 0.95        | -           | -       |      |
|                        |                  | min             | i       | -2064.86 | -3134.02 | -           | -1943.41    | 0.94        | -2961.59    | 0.94        | -           | -       |      |
|                        |                  |                 | j       | -2009.61 | -        | -           | -1888.16    | 0.94        | -           | -           | -           | -       |      |
| K1602-2                | max              | i               | 91.21   | 1159.84  | -        | 42.03       | 0.46        | 959.45      | 0.83        | -           | -           |         |      |
|                        |                  | j               | 196.09  | 1161.38  | -        | 146.91      | 0.75        | 1076.16     | 0.93        | -           | -           |         |      |
|                        | min              | i               | -197.58 | -        | -        | -185.23     | 0.94        | -           | -           | -           | -           |         |      |
|                        |                  | j               | -92.51  | -        | -        | -80.16      | 0.87        | -           | -           | -           | -           |         |      |
| <b>ortalama</b>        |                  |                 |         |          |          | <b>0.86</b> |             | <b>0.88</b> |             | <b>-</b>    |             |         |      |
| mesnetik eden kolonlar | S1601            | max             | i       | 122.51   | 24.69    | -580.37     | 32.39       | 0.26        | -           | -           | -761.83     | 1.31    |      |
|                        |                  |                 | j       | 122.51   | 816.77   | -558.30     | 32.39       | 0.26        | 773.67      | 0.95        | -739.77     | 1.33    |      |
|                        |                  | min             | i       | -591.52  | -234.33  | -2617.17    | -561.12     | 0.95        | -222.33     | 0.95        | -2481.02    | 0.95    |      |
|                        |                  |                 | j       | -591.52  | -193.91  | -2592.65    | -561.12     | 0.95        | -65.67      | 0.34        | -2456.50    | 0.95    |      |
|                        | S1602            | max             | i       | 547.81   | 151.34   | -1622.84    | 361.05      | 0.66        | 95.75       | 0.63        | -1539.26    | 0.95    |      |
|                        |                  |                 | j       | 547.81   | 942.84   | -1587.20    | 361.05      | 0.66        | 854.61      | 0.91        | -1503.61    | 0.95    |      |
|                        |                  | min             | i       | -623.39  | -168.90  | -3600.18    | -564.65     | 0.91        | -147.64     | 0.87        | -3447.88    | 0.96    |      |
|                        |                  |                 | j       | -623.39  | -826.26  | -3560.57    | -564.65     | 0.91        | -545.12     | 0.66        | -3408.28    | 0.96    |      |
|                        | <b>ortalama</b>  |                 |         |          |          |             | <b>0.69</b> |             | <b>0.76</b> |             | <b>1.13</b> |         |      |
|                        |                  |                 |         |          |          |             |             |             |             |             | <b>0.95</b> |         |      |
|                        | sürekli kolonlar | S1701           | max     | i        | 47.18    | 51.14       | -415.88     | 19.51       | 0.41        | 21.65       | 0.42        | -524.64 | 1.26 |
|                        |                  |                 |         | j        | 47.18    | 129.82      | -405.47     | 19.51       | 0.41        | 123.06      | 0.95        | -514.24 | 1.27 |
| min                    |                  |                 | i       | -162.57  | -170.98  | -1655.83    | -153.70     | 0.95        | -161.29     | 0.94        | -1561.50    | 0.94    |      |
|                        |                  |                 | j       | -162.57  | -36.18   | -1644.27    | -153.70     | 0.95        | -14.43      | 0.40        | -1549.94    | 0.94    |      |
| S1702                  |                  | max             | i       | 152.33   | 165.15   | -903.36     | 103.20      | 0.68        | 114.78      | 0.70        | -862.52     | 0.95    |      |
|                        |                  |                 | j       | 152.33   | 144.88   | -889.83     | 103.20      | 0.68        | 133.31      | 0.92        | -848.99     | 0.95    |      |
|                        |                  | min             | i       | -159.76  | -152.64  | -1890.56    | -146.36     | 0.92        | -139.38     | 0.91        | -1821.94    | 0.96    |      |
|                        |                  |                 | j       | -159.76  | -118.64  | -1875.53    | -146.36     | 0.92        | -78.06      | 0.66        | -1806.91    | 0.96    |      |
| S1703                  |                  | max             | i       | 116.91   | 107.91   | -651.00     | 71.69       | 0.61        | 62.16       | 0.58        | -659.87     | 1.01    |      |
|                        |                  |                 | j       | 116.91   | 128.30   | -637.48     | 71.69       | 0.61        | 117.09      | 0.91        | -646.34     | 1.01    |      |
|                        |                  | min             | i       | -173.84  | -193.32  | -1808.17    | -159.57     | 0.92        | -178.11     | 0.92        | -1696.07    | 0.94    |      |
|                        |                  |                 | j       | -173.84  | -108.39  | -1793.14    | -159.57     | 0.92        | -70.47      | 0.65        | -1681.04    | 0.94    |      |
| <b>ortalama</b>        |                  |                 |         |          |          | <b>0.75</b> |             | <b>0.75</b> |             | <b>1.08</b> |             |         |      |
|                        |                  |                 |         |          |          |             |             |             |             | <b>0.95</b> |             |         |      |

**Çizelge B.6 :** TH3 analizi için kritik kesitlerdeki iç kuvvetlerin karşılaştırılması.

|                         |                  | Mod Birleştirme |          |          | TH3      |             |             |             |             |             |             |         |      |
|-------------------------|------------------|-----------------|----------|----------|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------|------|
|                         |                  | V (kN)          | M (kNm)  | N (kN)   | V (kN)   | $\alpha_V$  | M (kNm)     | $\alpha_M$  | N (kN)      | $\alpha_N$  |             |         |      |
| yüksek kiriş            | K1603-1          | max             | i        | 709.91   | 2268.92  | -           | 593.03      | 0.84        | 2035.19     | 0.90        | -           | -       |      |
|                         |                  |                 | j        | 836.29   | 444.35   | -           | 719.42      | 0.86        | 342.25      | 0.77        | -           | -       |      |
|                         | min              | i               | -        | -        | -        | -           | -           | -           | -           | -           | -           |         |      |
|                         |                  | j               | -        | -1269.41 | -        | -           | -           | -986.17     | 0.78        | -           | -           |         |      |
|                         | K1603-2          | max             | i        | -        | -        | -           | -           | -           | -           | -           | -           |         |      |
|                         |                  |                 | j        | -        | 1987.82  | -           | -           | -           | 1862.15     | 0.94        | -           | -       |      |
|                         | min              | i               | -1627.18 | -3052.19 | -        | -1565.50    | 0.96        | -2906.74    | 0.95        | -           | -           |         |      |
|                         |                  | j               | -1544.30 | -        | -        | -1482.62    | 0.96        | -           | -           | -           | -           |         |      |
|                         | K1602-3          | max             | i        | 2004.42  | 1007.20  | -           | 1749.91     | 0.87        | 971.44      | 0.96        | -           | -       |      |
|                         |                  |                 | j        | 2059.67  | -        | -           | 1805.16     | 0.88        | -           | -           | -           | -       |      |
|                         | min              | i               | -        | -        | -        | -           | -           | -           | -           | -           | -           |         |      |
|                         |                  | j               | -        | -3124.55 | -        | -           | -           | -2707.88    | 0.87        | -           | -           |         |      |
| K1602-2                 | max              | i               | 91.21    | 1159.84  | -        | 42.03       | 0.46        | 959.45      | 0.83        | -           | -           |         |      |
|                         |                  | j               | 196.09   | 1161.38  | -        | 146.91      | 0.75        | 1076.16     | 0.93        | -           | -           |         |      |
| min                     | i                | -197.58         | -        | -        | -185.23  | 0.94        | -           | -           | -           | -           |             |         |      |
|                         | j                | -92.51          | -        | -        | -80.16   | 0.87        | -           | -           | -           | -           |             |         |      |
| <b>ortalama</b>         |                  |                 |          |          |          | <b>0.84</b> |             | <b>0.88</b> |             |             |             |         |      |
| mesnetlik eden kolonlar | S1604            | max             | i        | 588.28   | 233.11   | -564.29     | 470.58      | 0.80        | 190.25      | 0.82        | -842.78     | 1.49    |      |
|                         |                  |                 | j        | 588.28   | 199.69   | -542.23     | 470.58      | 0.80        | 136.21      | 0.68        | -820.72     | 1.51    |      |
|                         | min              | i               | -126.45  | -25.90   | -2598.80 | -81.50      | 0.64        | -8.45       | 0.33        | -2260.40    | 0.87        |         |      |
|                         |                  | j               | -126.45  | -812.23  | -2574.28 | -81.50      | 0.64        | -647.21     | 0.80        | -2235.89    | 0.87        |         |      |
|                         | S1603            | max             | i        | 618.96   | 167.38   | -1615.26    | 391.06      | 0.63        | 103.03      | 0.62        | -1604.71    | 0.99    |      |
|                         |                  |                 | j        | 618.96   | 837.14   | -1579.61    | 391.06      | 0.63        | 703.57      | 0.84        | -1569.07    | 0.99    |      |
|                         | min              | i               | -554.84  | -152.93  | -3591.31 | -466.06     | 0.84        | -123.69     | 0.81        | -3365.64    | 0.94        |         |      |
|                         |                  | j               | -554.84  | -936.50  | -3551.71 | -466.06     | 0.84        | -599.62     | 0.64        | -3326.03    | 0.94        |         |      |
|                         | <b>ortalama</b>  |                 |          |          |          |             | <b>0.73</b> |             | <b>0.69</b> |             | <b>1.25</b> |         |      |
|                         |                  |                 |          |          |          |             |             |             |             |             | <b>0.90</b> |         |      |
|                         | sürekli kolonlar | S1706           | max      | i        | 161.56   | 169.86      | -405.62     | 126.38      | 0.78        | 131.73      | 0.78        | -588.30 | 1.45 |
|                         |                  |                 |          | j        | 161.56   | 37.14       | -395.22     | 126.38      | 0.78        | 27.86       | 0.75        | -577.89 | 1.46 |
| min                     |                  | i               | -48.42   | -52.47   | -1643.69 | -36.12      | 0.75        | -38.96      | 0.74        | -1436.08    | 0.87        |         |      |
|                         |                  | j               | -48.42   | -129.07  | -1632.13 | -36.12      | 0.75        | -102.06     | 0.79        | -1424.51    | 0.87        |         |      |
| S1705                   |                  | max             | i        | 158.40   | 151.67   | -899.17     | 104.98      | 0.66        | 98.92       | 0.65        | -888.15     | 0.99    |      |
|                         |                  |                 | j        | 158.40   | 120.27   | -885.64     | 104.98      | 0.66        | 104.97      | 0.87        | -874.62     | 0.99    |      |
| min                     |                  | i               | -154.33  | -167.61  | -1885.17 | -137.60     | 0.89        | -151.91     | 0.91        | -1795.00    | 0.95        |         |      |
|                         |                  | j               | -154.33  | -143.76  | -1870.14 | -137.60     | 0.89        | -97.59      | 0.68        | -1779.97    | 0.95        |         |      |
| S1704                   |                  | max             | i        | 172.54   | 191.96   | -647.01     | 116.90      | 0.68        | 134.65      | 0.70        | -719.44     | 1.11    |      |
|                         |                  |                 | j        | 172.54   | 109.99   | -633.48     | 116.90      | 0.68        | 94.52       | 0.86        | -705.91     | 1.11    |      |
| min                     |                  | i               | -118.82  | -109.86  | -1803.76 | -98.19      | 0.83        | -87.14      | 0.79        | -1610.73    | 0.89        |         |      |
|                         |                  | j               | -118.82  | -127.27  | -1788.72 | -98.19      | 0.83        | -82.93      | 0.65        | -1595.70    | 0.89        |         |      |
| <b>ortalama</b>         |                  |                 |          |          |          | <b>0.76</b> |             | <b>0.76</b> |             | <b>1.19</b> |             |         |      |
|                         |                  |                 |          |          |          |             |             |             |             | <b>0.91</b> |             |         |      |

**Çizelge B.7 :** TH4 analizi için kritik kesitlerdeki iç kuvvetlerin karşılaştırılması.

|                         |                  | Mod Birleştirme |         |          | TH4      |             |             |             |             |             |             |         |      |
|-------------------------|------------------|-----------------|---------|----------|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------|------|
|                         |                  | V (kN)          | M (kNm) | N (kN)   | V (kN)   | $\alpha_V$  | M (kNm)     | $\alpha_M$  | N (kN)      | $\alpha_N$  |             |         |      |
| yüksek kiriş            | K1601-1          | max             | i       | -        | 434.50   | -           | -           | -           | 200.72      | 0.46        | -           | -       |      |
|                         |                  |                 | j       | 16.53    | 2277.95  | -           | -           | -           | 2059.55     | 0.90        | -           | -       |      |
|                         |                  | min             | i       | -839.97  | -1277.10 | -           | -725.21     | 0.86        | -969.20     | 0.76        | -           | -       |      |
|                         |                  |                 | j       | -713.59  | -        | -           | -598.83     | 0.84        | -           | -           | -           | -       |      |
|                         | K1601-2          | max             | i       | 1545.95  | 1994.07  | -           | 1419.96     | 0.92        | 1907.43     | 0.96        | -           | -       |      |
|                         |                  |                 | j       | 1628.82  | -        | -           | 1502.83     | 0.92        | -           | -           | -           | -       |      |
|                         |                  | min             | i       | -        | -        | -           | -           | -           | -           | -           | -           | -       |      |
|                         |                  |                 | j       | -        | -3050.92 | -           | -           | -           | -2701.28    | 0.89        | -           | -       |      |
|                         | K1602-1          | max             | i       | -        | -        | -           | -           | -           | -           | -           | -           | -       |      |
|                         |                  |                 | j       | -        | 1008.09  | -           | -           | -           | 930.96      | 0.92        | -           | -       |      |
|                         |                  | min             | i       | -2064.86 | -3134.02 | -           | -1857.31    | 0.90        | -2763.24    | 0.88        | -           | -       |      |
|                         |                  |                 | j       | -2009.61 | -        | -           | -1802.06    | 0.90        | -           | -           | -           | -       |      |
| K1602-2                 | max              | i               | 91.21   | 1159.84  | -        | 66.23       | 0.73        | 1052.76     | 0.91        | -           | -           |         |      |
|                         |                  | j               | 196.09  | 1161.38  | -        | 171.11      | 0.87        | 981.08      | 0.84        | -           | -           |         |      |
|                         | min              | i               | -197.58 | -        | -        | -142.50     | 0.72        | -           | -           | -           | -           |         |      |
|                         |                  | j               | -92.51  | -        | -        | -37.43      | 0.40        | -           | -           | -           | -           |         |      |
| <b>ortalama</b>         |                  |                 |         |          |          | <b>0.81</b> |             | <b>0.84</b> |             | -           |             |         |      |
| mesnetlik eden kolonlar | S1601            | max             | i       | 122.51   | 24.69    | -580.37     | 27.24       | 0.22        | 2.45        | 0.10        | -896.41     | 1.54    |      |
|                         |                  |                 | j       | 122.51   | 816.77   | -558.30     | 27.24       | 0.22        | 637.04      | 0.78        | -874.35     | 1.57    |      |
|                         |                  | min             | i       | -591.52  | -234.33  | -2617.17    | -467.30     | 0.79        | -192.41     | 0.82        | -2305.16    | 0.88    |      |
|                         |                  |                 | j       | -591.52  | -193.91  | -2592.65    | -467.30     | 0.79        | -45.91      | 0.24        | -2280.65    | 0.88    |      |
|                         | S1602            | max             | i       | 547.81   | 151.34   | -1622.84    | 374.60      | 0.68        | 134.10      | 0.89        | -1821.79    | 1.12    |      |
|                         |                  |                 | j       | 547.81   | 942.84   | -1587.20    | 374.60      | 0.68        | 583.06      | 0.62        | -1786.15    | 1.13    |      |
|                         |                  | min             | i       | -623.39  | -168.90  | -3600.18    | -389.33     | 0.62        | -122.89     | 0.73        | -3459.78    | 0.96    |      |
|                         |                  |                 | j       | -623.39  | -826.26  | -3560.57    | -389.33     | 0.62        | -530.81     | 0.64        | -3420.17    | 0.96    |      |
|                         | <b>ortalama</b>  |                 |         |          |          |             | <b>0.58</b> |             | <b>0.60</b> |             | <b>1.34</b> |         |      |
|                         |                  |                 |         |          |          |             |             |             |             |             | <b>0.92</b> |         |      |
|                         | sürekli kolonlar | S1701           | max     | i        | 47.18    | 51.14       | -415.88     | 23.35       | 0.49        | 26.82       | 0.52        | -599.34 | 1.44 |
|                         |                  |                 |         | j        | 47.18    | 129.82      | -405.47     | 23.35       | 0.49        | 100.90      | 0.78        | -588.93 | 1.45 |
| min                     |                  |                 | i       | -162.57  | -170.98  | -1655.83    | -125.96     | 0.77        | -132.12     | 0.77        | -1497.55    | 0.90    |      |
|                         |                  |                 | j       | -162.57  | -36.18   | -1644.27    | -125.96     | 0.77        | -16.37      | 0.45        | -1485.99    | 0.90    |      |
| S1702                   |                  | max             | i       | 152.33   | 165.15   | -903.36     | 114.14      | 0.75        | 128.12      | 0.78        | -958.84     | 1.06    |      |
|                         |                  |                 | j       | 152.33   | 144.88   | -889.83     | 114.14      | 0.75        | 93.81       | 0.65        | -945.32     | 1.06    |      |
|                         |                  | min             | i       | -159.76  | -152.64  | -1890.56    | -98.76      | 0.62        | -90.81      | 0.59        | -1852.57    | 0.98    |      |
|                         |                  |                 | j       | -159.76  | -118.64  | -1875.53    | -98.76      | 0.62        | -84.94      | 0.72        | -1837.54    | 0.98    |      |
| S1703                   |                  | max             | i       | 116.91   | 107.91   | -651.00     | 83.56       | 0.71        | 73.76       | 0.68        | -816.74     | 1.25    |      |
|                         |                  |                 | j       | 116.91   | 128.30   | -637.48     | 83.56       | 0.71        | 82.26       | 0.64        | -803.21     | 1.26    |      |
|                         |                  | min             | i       | -173.84  | -193.32  | -1808.17    | -118.45     | 0.68        | -136.88     | 0.71        | -1679.57    | 0.93    |      |
|                         |                  |                 | j       | -173.84  | -108.39  | -1793.14    | -118.45     | 0.68        | -80.84      | 0.75        | -1664.54    | 0.93    |      |
| <b>ortalama</b>         |                  |                 |         |          |          | <b>0.67</b> |             | <b>0.67</b> |             | <b>1.26</b> |             |         |      |
|                         |                  |                 |         |          |          |             |             |             |             | <b>0.94</b> |             |         |      |

**Çizelge B.8 :** TH4 analizi için kritik kesitlerdeki iç kuvvetlerin karşılaştırılması.

|                         |                  | Mod Birleştirme |          |          | TH4      |            |             |             |             |             |             |         |      |
|-------------------------|------------------|-----------------|----------|----------|----------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------|------|
|                         |                  | V (kN)          | M (kNm)  | N (kN)   | V (kN)   | $\alpha_V$ | M (kNm)     | $\alpha_M$  | N (kN)      | $\alpha_N$  |             |         |      |
| yüksek kiriş            | K1603-1          | max             | i        | 709.91   | 2268.92  | -          | 632.40      | 0.89        | 2122.94     | 0.94        | -           | -       |      |
|                         |                  |                 | j        | 836.29   | 444.35   | -          | 758.79      | 0.91        | 118.42      | 0.27        | -           | -       |      |
|                         | min              | i               | -        | -        | -        | -          | -           | -           | -           | -           | -           |         |      |
|                         |                  | j               | -        | -1269.41 | -        | -          | -           | -1059.41    | 0.83        | -           | -           |         |      |
|                         | K1603-2          | max             | i        | -        | -        | -          | -           | -           | -           | -           | -           |         |      |
|                         |                  |                 | j        | -        | 1987.82  | -          | -           | -           | 1904.30     | 0.96        | -           | -       |      |
|                         | min              | i               | -1627.18 | -3052.19 | -        | -1496.87   | 0.92        | -2664.73    | 0.87        | -           | -           |         |      |
|                         |                  | j               | -1544.30 | -        | -        | -1413.99   | 0.92        | -           | -           | -           | -           |         |      |
|                         | K1602-3          | max             | i        | 2004.42  | 1007.20  | -          | 1871.19     | 0.93        | 943.82      | 0.94        | -           | -       |      |
|                         |                  |                 | j        | 2059.67  | -        | -          | 1926.44     | 0.94        | -           | -           | -           | -       |      |
|                         | min              | i               | -        | -        | -        | -          | -           | -           | -           | -           | -           |         |      |
|                         |                  | j               | -        | -3124.55 | -        | -          | -           | -2919.69    | 0.93        | -           | -           |         |      |
| K1602-2                 | max              | i               | 91.21    | 1159.84  | -        | 66.23      | 0.73        | 1052.76     | 0.91        | -           | -           |         |      |
|                         |                  | j               | 196.09   | 1161.38  | -        | 171.11     | 0.87        | 981.08      | 0.84        | -           | -           |         |      |
| min                     | i                | -197.58         | -        | -        | -142.50  | 0.72       | -           | -           | -           | -           |             |         |      |
|                         | j                | -92.51          | -        | -        | -37.43   | 0.40       | -           | -           | -           | -           |             |         |      |
| <b>ortalama</b>         |                  |                 |          |          |          |            | <b>0.82</b> | <b>0.83</b> |             |             |             |         |      |
| mesnetlik eden kolonlar | S1604            | max             | i        | 588.28   | 233.11   | -564.29    | 504.87      | 0.86        | 215.75      | 0.93        | -876.24     | 1.55    |      |
|                         |                  |                 | j        | 588.28   | 199.69   | -542.23    | 504.87      | 0.86        | -           | -           | -854.18     | 1.58    |      |
|                         | min              | i               | -126.45  | -25.90   | -2598.80 | -          | -           | -           | -           | -2429.70    | 0.93        |         |      |
|                         |                  | j               | -126.45  | -812.23  | -2574.28 | -          | -           | -680.38     | 0.84        | -2405.18    | 0.93        |         |      |
|                         | S1603            | max             | i        | 618.96   | 167.38   | -1615.26   | 477.08      | 0.77        | 158.78      | 0.95        | -1857.65    | 1.15    |      |
|                         |                  |                 | j        | 618.96   | 837.14   | -1579.61   | 477.08      | 0.77        | 448.79      | 0.54        | -1822.01    | 1.15    |      |
|                         | min              | i               | -554.84  | -152.93  | -3591.31 | -305.24    | 0.55        | -106.66     | 0.70        | -3441.09    | 0.96        |         |      |
|                         |                  | j               | -554.84  | -936.50  | -3551.71 | -305.24    | 0.55        | -688.03     | 0.73        | -3401.48    | 0.96        |         |      |
|                         | <b>ortalama</b>  |                 |          |          |          |            |             | <b>0.73</b> | <b>0.78</b> |             | <b>1.36</b> |         |      |
|                         |                  |                 |          |          |          |            |             |             |             |             | <b>0.95</b> |         |      |
|                         | sürekli kolonlar | S1706           | max      | i        | 161.56   | 169.86     | -405.62     | 140.32      | 0.87        | 148.50      | 0.87        | -585.60 | 1.44 |
|                         |                  |                 |          | j        | 161.56   | 37.14      | -395.22     | 140.32      | 0.87        | 6.78        | 0.18        | -575.20 | 1.46 |
| min                     |                  | i               | -48.42   | -52.47   | -1643.69 | -10.33     | 0.21        | -12.34      | 0.24        | -1553.70    | 0.95        |         |      |
|                         |                  | j               | -48.42   | -129.07  | -1632.13 | -10.33     | 0.21        | -111.09     | 0.86        | -1542.13    | 0.94        |         |      |
| S1705                   |                  | max             | i        | 158.40   | 151.67   | -899.17    | 122.97      | 0.78        | 116.43      | 0.77        | -974.26     | 1.08    |      |
|                         |                  |                 | j        | 158.40   | 120.27   | -885.64    | 122.97      | 0.78        | 66.50       | 0.55        | -960.73     | 1.08    |      |
| min                     |                  | i               | -154.33  | -167.61  | -1885.17 | -90.96     | 0.59        | -104.13     | 0.62        | -1833.93    | 0.97        |         |      |
|                         |                  | j               | -154.33  | -143.76  | -1870.14 | -90.96     | 0.59        | -113.37     | 0.79        | -1818.90    | 0.97        |         |      |
| S1704                   |                  | max             | i        | 172.54   | 191.96   | -647.01    | 145.31      | 0.84        | 165.09      | 0.86        | -820.22     | 1.27    |      |
|                         |                  |                 | j        | 172.54   | 109.99   | -633.48    | 145.31      | 0.84        | 61.41       | 0.56        | -806.69     | 1.27    |      |
| min                     |                  | i               | -118.82  | -109.86  | -1803.76 | -60.71     | 0.51        | -50.90      | 0.46        | -1693.66    | 0.94        |         |      |
|                         |                  | j               | -118.82  | -127.27  | -1788.72 | -60.71     | 0.51        | -103.72     | 0.81        | -1678.63    | 0.94        |         |      |
| <b>ortalama</b>         |                  |                 |          |          |          |            | <b>0.63</b> | <b>0.63</b> |             | <b>1.27</b> |             |         |      |
|                         |                  |                 |          |          |          |            |             |             |             | <b>0.95</b> |             |         |      |

**Çizelge B.9 :** TH5 analizi için kritik kesitlerdeki iç kuvvetlerin karşılaştırılması.

|                         |                  | Mod Birleştirme |         |          | TH5      |             |             |             |             |             |             |         |      |
|-------------------------|------------------|-----------------|---------|----------|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------|------|
|                         |                  | V (kN)          | M (kNm) | N (kN)   | V (kN)   | $\alpha_V$  | M (kNm)     | $\alpha_M$  | N (kN)      | $\alpha_N$  |             |         |      |
| yüksek kiriş            | K1601-1          | max             | i       | -        | 434.50   | -           | -           | -           | 239.48      | 0.55        | -           | -       |      |
|                         |                  |                 | j       | 16.53    | 2277.95  | -           | -           | -           | 2111.96     | 0.93        | -           | -       |      |
|                         |                  | min             | i       | -839.97  | -1277.10 | -           | -754.68     | 0.90        | -1051.61    | 0.82        | -           | -       |      |
|                         |                  |                 | j       | -713.59  | -        | -           | -628.30     | 0.88        | -           | -           | -           | -       |      |
|                         | K1601-2          | max             | i       | 1545.95  | 1994.07  | -           | 1402.83     | 0.91        | 1916.58     | 0.96        | -           | -       |      |
|                         |                  |                 | j       | 1628.82  | -        | -           | 1485.71     | 0.91        | -           | -           | -           | -       |      |
|                         |                  | min             | i       | -        | -        | -           | -           | -           | -           | -           | -           | -       |      |
|                         |                  |                 | j       | -        | -3050.92 | -           | -           | -           | -2675.11    | 0.88        | -           | -       |      |
|                         | K1602-1          | max             | i       | -        | -        | -           | -           | -           | -           | -           | -           | -       |      |
|                         |                  |                 | j       | -        | 1008.09  | -           | -           | -           | 947.02      | 0.94        | -           | -       |      |
|                         |                  | min             | i       | -2064.86 | -3134.02 | -           | -1904.30    | 0.92        | -2831.18    | 0.90        | -           | -       |      |
|                         |                  |                 | j       | -2009.61 | -        | -           | -1849.05    | 0.92        | -           | -           | -           | -       |      |
| K1602-2                 | max              | i               | 91.21   | 1159.84  | -        | 57.48       | 0.63        | 957.92      | 0.83        | -           | -           |         |      |
|                         |                  | j               | 196.09  | 1161.38  | -        | 162.35      | 0.83        | 1015.85     | 0.87        | -           | -           |         |      |
|                         | min              | i               | -197.58 | -        | -        | -157.71     | 0.80        | -           | -           | -           | -           |         |      |
|                         |                  | j               | -92.51  | -        | -        | -52.64      | 0.57        | -           | -           | -           | -           |         |      |
| <b>ortalama</b>         |                  |                 |         |          |          | <b>0.83</b> |             | <b>0.85</b> |             | <b>-</b>    |             |         |      |
| mesnetlik eden kolonlar | S1601            | max             | i       | 122.51   | 24.69    | -580.37     | 43.04       | 0.35        | -           | -           | -811.20     | 1.40    |      |
|                         |                  |                 | j       | 122.51   | 816.77   | -558.30     | 43.04       | 0.35        | 681.05      | 0.83        | -789.13     | 1.41    |      |
|                         |                  | min             | i       | -591.52  | -234.33  | -2617.17    | -500.53     | 0.85        | -207.38     | 0.89        | -2385.16    | 0.91    |      |
|                         |                  |                 | j       | -591.52  | -193.91  | -2592.65    | -500.53     | 0.85        | -81.54      | 0.42        | -2360.64    | 0.91    |      |
|                         | S1602            | max             | i       | 547.81   | 151.34   | -1622.84    | 398.47      | 0.73        | 103.97      | 0.69        | -1832.30    | 1.13    |      |
|                         |                  |                 | j       | 547.81   | 942.84   | -1587.20    | 398.47      | 0.73        | 666.59      | 0.71        | -1796.66    | 1.13    |      |
|                         |                  | min             | i       | -623.39  | -168.90  | -3600.18    | -450.72     | 0.72        | -133.44     | 0.79        | -3453.66    | 0.96    |      |
|                         |                  |                 | j       | -623.39  | -826.26  | -3560.57    | -450.72     | 0.72        | -603.32     | 0.73        | -3414.05    | 0.96    |      |
|                         | <b>ortalama</b>  |                 |         |          |          |             | <b>0.66</b> |             | <b>0.72</b> |             | <b>1.27</b> |         |      |
|                         |                  |                 |         |          |          |             |             |             |             |             | <b>0.94</b> |         |      |
|                         | sürekli kolonlar | S1701           | max     | i        | 47.18    | 51.14       | -415.88     | 23.04       | 0.49        | 25.09       | 0.49        | -563.92 | 1.36 |
|                         |                  |                 |         | j        | 47.18    | 129.82      | -405.47     | 23.04       | 0.49        | 109.34      | 0.84        | -553.52 | 1.37 |
| min                     |                  |                 | i       | -162.57  | -170.98  | -1655.83    | -137.30     | 0.84        | -144.65     | 0.85        | -1521.17    | 0.92    |      |
|                         |                  |                 | j       | -162.57  | -36.18   | -1644.27    | -137.30     | 0.84        | -17.52      | 0.48        | -1509.61    | 0.92    |      |
| S1702                   |                  | max             | i       | 152.33   | 165.15   | -903.36     | 112.87      | 0.74        | 125.00      | 0.76        | -979.79     | 1.08    |      |
|                         |                  |                 | j       | 152.33   | 144.88   | -889.83     | 112.87      | 0.74        | 109.10      | 0.75        | -966.27     | 1.09    |      |
|                         |                  | min             | i       | -159.76  | -152.64  | -1890.56    | -117.77     | 0.74        | -110.69     | 0.73        | -1837.94    | 0.97    |      |
|                         |                  |                 | j       | -159.76  | -118.64  | -1875.53    | -117.77     | 0.74        | -85.72      | 0.72        | -1822.91    | 0.97    |      |
| S1703                   |                  | max             | i       | 116.91   | 107.91   | -651.00     | 80.27       | 0.69        | 70.08       | 0.65        | -784.39     | 1.20    |      |
|                         |                  |                 | j       | 116.91   | 128.30   | -637.48     | 80.27       | 0.69        | 96.20       | 0.75        | -770.86     | 1.21    |      |
|                         |                  | min             | i       | -173.84  | -193.32  | -1808.17    | -135.42     | 0.78        | -154.33     | 0.80        | -1709.51    | 0.95    |      |
|                         |                  |                 | j       | -173.84  | -108.39  | -1793.14    | -135.42     | 0.78        | -78.41      | 0.72        | -1694.48    | 0.94    |      |
| <b>ortalama</b>         |                  |                 |         |          |          | <b>0.71</b> |             | <b>0.71</b> |             | <b>1.22</b> |             |         |      |
|                         |                  |                 |         |          |          |             |             |             |             | <b>0.95</b> |             |         |      |

**Çizelge B.10 :** TH5 analizi için kritik kesitlerdeki iç kuvvetlerin karşılaştırılması.

|                         |                  | Mod Birleştirme |          |          | TH5      |            |             |             |             |             |             |         |      |
|-------------------------|------------------|-----------------|----------|----------|----------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------|------|
|                         |                  | V (kN)          | M (kNm)  | N (kN)   | V (kN)   | $\alpha_V$ | M (kNm)     | $\alpha_M$  | N (kN)      | $\alpha_N$  |             |         |      |
| yüksek kiriş            | K1603-1          | max             | i        | 709.91   | 2268.92  | -          | 609.38      | 0.86        | 2041.08     | 0.90        | -           | -       |      |
|                         |                  |                 | j        | 836.29   | 444.35   | -          | 735.77      | 0.88        | 200.40      | 0.45        | -           | -       |      |
|                         | min              | i               | -        | -        | -        | -          | -           | -           | -           | -           | -           |         |      |
|                         |                  | j               | -        | -1269.41 | -        | -          | -           | -1042.68    | 0.82        | -           | -           |         |      |
|                         | K1603-2          | max             | i        | -        | -        | -          | -           | -           | -           | -           | -           |         |      |
|                         |                  |                 | j        | -        | 1987.82  | -          | -           | -           | 1870.00     | 0.94        | -           | -       |      |
|                         | min              | i               | -1627.18 | -3052.19 | -        | -1536.52   | 0.94        | -2729.88    | 0.89        | -           | -           |         |      |
|                         |                  | j               | -1544.30 | -        | -        | -1453.65   | 0.94        | -           | -           | -           | -           |         |      |
|                         | K1602-3          | max             | i        | 2004.42  | 1007.20  | -          | 1772.17     | 0.88        | 967.47      | 0.96        | -           | -       |      |
|                         |                  |                 | j        | 2059.67  | -        | -          | 1827.42     | 0.89        | -           | -           | -           | -       |      |
|                         | min              | i               | -        | -        | -        | -          | -           | -           | -           | -           | -           |         |      |
|                         |                  | j               | -        | -3124.55 | -        | -          | -           | -2711.51    | 0.87        | -           | -           |         |      |
| K1602-2                 | max              | i               | 91.21    | 1159.84  | -        | 57.48      | 0.63        | 957.92      | 0.83        | -           | -           |         |      |
|                         |                  | j               | 196.09   | 1161.38  | -        | 162.35     | 0.83        | 1015.85     | 0.87        | -           | -           |         |      |
| min                     | i                | -197.58         | -        | -        | -157.71  | 0.80       | -           | -           | -           | -           |             |         |      |
|                         | j                | -92.51          | -        | -        | -52.64   | 0.57       | -           | -           | -           | -           |             |         |      |
| <b>ortalama</b>         |                  |                 |          |          |          |            | <b>0.82</b> | <b>0.84</b> |             |             |             |         |      |
| mesnetlik eden kolonlar | S1604            | max             | i        | 588.28   | 233.11   | -564.29    | 493.34      | 0.84        | 197.54      | 0.85        | -867.54     | 1.54    |      |
|                         |                  |                 | j        | 588.28   | 199.69   | -542.23    | 493.34      | 0.84        | 51.44       | 0.26        | -845.48     | 1.56    |      |
|                         | min              | i               | -126.45  | -25.90   | -2598.80 | -26.55     | 0.21        | -           | -           | -2252.60    | 0.87        |         |      |
|                         |                  | j               | -126.45  | -812.23  | -2574.28 | -26.55     | 0.21        | -678.14     | 0.83        | -2228.08    | 0.87        |         |      |
|                         | S1603            | max             | i        | 618.96   | 167.38   | -1615.26   | 438.18      | 0.71        | 111.68      | 0.67        | -1753.02    | 1.09    |      |
|                         |                  |                 | j        | 618.96   | 837.14   | -1579.61   | 438.18      | 0.71        | 532.10      | 0.64        | -1717.37    | 1.09    |      |
|                         | min              | i               | -554.84  | -152.93  | -3591.31 | -363.20    | 0.65        | -112.58     | 0.74        | -3354.95    | 0.93        |         |      |
|                         |                  | j               | -554.84  | -936.50  | -3551.71 | -363.20    | 0.65        | -666.09     | 0.71        | -3315.34    | 0.93        |         |      |
|                         | <b>ortalama</b>  |                 |          |          |          |            |             | <b>0.60</b> | <b>0.67</b> | <b>1.32</b> | <b>0.90</b> |         |      |
|                         | sürekli kolonlar | S1706           | max      | i        | 161.56   | 169.86     | -405.62     | 133.78      | 0.83        | 139.74      | 0.82        | -582.69 | 1.44 |
|                         |                  |                 |          | j        | 161.56   | 37.14      | -395.22     | 133.78      | 0.83        | 15.11       | 0.41        | -572.29 | 1.45 |
|                         |                  | min             | i        | -48.42   | -52.47   | -1643.69   | -21.03      | 0.43        | -23.79      | 0.45        | -1450.41    | 0.88    |      |
| j                       |                  |                 | -48.42   | -129.07  | -1632.13 | -21.03     | 0.43        | -107.75     | 0.83        | -1438.85    | 0.88        |         |      |
| S1705                   |                  | max             | i        | 158.40   | 151.67   | -899.17    | 115.63      | 0.73        | 109.19      | 0.72        | -939.32     | 1.04    |      |
|                         |                  |                 | j        | 158.40   | 120.27   | -885.64    | 115.63      | 0.73        | 82.16       | 0.68        | -925.79     | 1.05    |      |
| min                     |                  | i               | -154.33  | -167.61  | -1885.17 | -110.25    | 0.71        | -124.11     | 0.74        | -1797.63    | 0.95        |         |      |
|                         |                  | j               | -154.33  | -143.76  | -1870.14 | -110.25    | 0.71        | -107.04     | 0.74        | -1782.60    | 0.95        |         |      |
| S1704                   |                  | max             | i        | 172.54   | 191.96   | -647.01    | 129.12      | 0.75        | 146.08      | 0.76        | -759.84     | 1.17    |      |
|                         |                  |                 | j        | 172.54   | 109.99   | -633.48    | 129.12      | 0.75        | 75.11       | 0.68        | -746.31     | 1.18    |      |
| min                     |                  | i               | -118.82  | -109.86  | -1803.76 | -76.30     | 0.64        | -66.05      | 0.60        | -1640.25    | 0.91        |         |      |
|                         |                  | j               | -118.82  | -127.27  | -1788.72 | -76.30     | 0.64        | -92.80      | 0.73        | -1625.22    | 0.91        |         |      |
| <b>ortalama</b>         |                  |                 |          |          |          |            | <b>0.68</b> | <b>0.68</b> | <b>1.22</b> | <b>0.91</b> |             |         |      |

**Çizelge B.11 :** TH6 analizi için kritik kesitlerdeki iç kuvvetlerin karşılaştırılması.

|                         |                  | Mod Birleştirme |         |          | TH6      |             |             |             |             |             |             |         |      |
|-------------------------|------------------|-----------------|---------|----------|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------|------|
|                         |                  | V (kN)          | M (kNm) | N (kN)   | V (kN)   | $\alpha_V$  | M (kNm)     | $\alpha_M$  | N (kN)      | $\alpha_N$  |             |         |      |
| yüksek kiriş            | K1601-1          | max             | i       | -        | 434.50   | -           | -           | -           | 359.42      | 0.83        | -           | -       |      |
|                         |                  |                 | j       | 16.53    | 2277.95  | -           | -           | -           | 2154.37     | 0.95        | -           | -       |      |
|                         |                  | min             | i       | -839.97  | -1277.10 | -           | -794.00     | 0.95        | -1189.05    | 0.93        | -           | -       |      |
|                         |                  |                 | j       | -713.59  | -        | -           | -667.61     | 0.94        | -           | -           | -           | -       |      |
|                         | K1601-2          | max             | i       | 1545.95  | 1994.07  | -           | 1473.49     | 0.95        | 1899.38     | 0.95        | -           | -       |      |
|                         |                  |                 | j       | 1628.82  | -        | -           | 1556.37     | 0.96        | -           | -           | -           | -       |      |
|                         |                  | min             | i       | -        | -        | -           | -           | -           | -           | -           | -           | -       |      |
|                         |                  |                 | j       | -        | -3050.92 | -           | -           | -           | -2872.96    | 0.94        | -           | -       |      |
|                         | K1602-1          | max             | i       | -        | -        | -           | -           | -           | -           | -           | -           | -       |      |
|                         |                  |                 | j       | -        | 1008.09  | -           | -           | -           | 908.32      | 0.90        | -           | -       |      |
|                         |                  | min             | i       | -2064.86 | -3134.02 | -           | -1852.68    | 0.90        | -2844.41    | 0.91        | -           | -       |      |
|                         |                  |                 | j       | -2009.61 | -        | -           | -1797.43    | 0.89        | -           | -           | -           | -       |      |
| K1602-2                 | max              | i               | 91.21   | 1159.84  | -        | 79.62       | 0.87        | 1028.28     | 0.89        | -           | -           |         |      |
|                         |                  | j               | 196.09  | 1161.38  | -        | 184.49      | 0.94        | 1014.36     | 0.87        | -           | -           |         |      |
|                         | min              | i               | -197.58 | -        | -        | -183.95     | 0.93        | -           | -           | -           | -           |         |      |
|                         |                  | j               | -92.51  | -        | -        | -78.88      | 0.85        | -           | -           | -           | -           |         |      |
| <b>ortalama</b>         |                  |                 |         |          |          | <b>0.92</b> |             | <b>0.91</b> |             | <b>-</b>    |             |         |      |
| mesnetlik eden kolonlar | S1601            | max             | i       | 122.51   | 24.69    | -580.37     | 89.39       | 0.73        | 9.79        | 0.40        | -792.44     | 1.37    |      |
|                         |                  |                 | j       | 122.51   | 816.77   | -558.30     | 89.39       | 0.73        | 762.76      | 0.93        | -770.38     | 1.38    |      |
|                         |                  | min             | i       | -591.52  | -234.33  | -2617.17    | -553.18     | 0.94        | -219.13     | 0.94        | -2399.74    | 0.92    |      |
|                         |                  |                 | j       | -591.52  | -193.91  | -2592.65    | -553.18     | 0.94        | -148.87     | 0.77        | -2375.22    | 0.92    |      |
|                         | S1602            | max             | i       | 547.81   | 151.34   | -1622.84    | 478.88      | 0.87        | 122.91      | 0.81        | -1891.34    | 1.17    |      |
|                         |                  |                 | j       | 547.81   | 942.84   | -1587.20    | 478.88      | 0.87        | 829.90      | 0.88        | -1855.70    | 1.17    |      |
|                         |                  | min             | i       | -623.39  | -168.90  | -3600.18    | -547.81     | 0.88        | -142.47     | 0.84        | -3327.84    | 0.92    |      |
|                         |                  |                 | j       | -623.39  | -826.26  | -3560.57    | -547.81     | 0.88        | -727.09     | 0.88        | -3288.23    | 0.92    |      |
|                         | <b>ortalama</b>  |                 |         |          |          |             | <b>0.85</b> |             | <b>0.81</b> |             | <b>1.27</b> |         |      |
|                         |                  |                 |         |          |          |             |             |             |             |             | <b>0.92</b> |         |      |
|                         | sürekli kolonlar | S1701           | max     | i        | 47.18    | 51.14       | -415.88     | 37.51       | 0.79        | 40.29       | 0.79        | -563.34 | 1.35 |
|                         |                  |                 |         | j        | 47.18    | 129.82      | -405.47     | 37.51       | 0.79        | 121.69      | 0.94        | -552.93 | 1.36 |
| min                     |                  |                 | i       | -162.57  | -170.98  | -1655.83    | -151.83     | 0.93        | -159.20     | 0.93        | -1509.76    | 0.91    |      |
|                         |                  |                 | j       | -162.57  | -36.18   | -1644.27    | -151.83     | 0.93        | -29.09      | 0.80        | -1498.19    | 0.91    |      |
| S1702                   |                  | max             | i       | 152.33   | 165.15   | -903.36     | 138.78      | 0.91        | 152.14      | 0.92        | -1003.39    | 1.11    |      |
|                         |                  |                 | j       | 152.33   | 144.88   | -889.83     | 138.78      | 0.91        | 131.36      | 0.91        | -989.86     | 1.11    |      |
|                         |                  | min             | i       | -159.76  | -152.64  | -1890.56    | -144.73     | 0.91        | -138.30     | 0.91        | -1781.33    | 0.94    |      |
|                         |                  |                 | j       | -159.76  | -118.64  | -1875.53    | -144.73     | 0.91        | -106.51     | 0.90        | -1766.30    | 0.94    |      |
| S1703                   |                  | max             | i       | 116.91   | 107.91   | -651.00     | 99.85       | 0.85        | 89.10       | 0.83        | -848.39     | 1.30    |      |
|                         |                  |                 | j       | 116.91   | 128.30   | -637.48     | 99.85       | 0.85        | 114.58      | 0.89        | -834.87     | 1.31    |      |
|                         |                  | min             | i       | -173.84  | -193.32  | -1808.17    | -155.83     | 0.90        | -173.69     | 0.90        | -1622.89    | 0.90    |      |
|                         |                  |                 | j       | -173.84  | -108.39  | -1793.14    | -155.83     | 0.90        | -95.62      | 0.88        | -1607.86    | 0.90    |      |
| <b>ortalama</b>         |                  |                 |         |          |          | <b>0.88</b> |             | <b>0.88</b> |             | <b>1.26</b> |             |         |      |
|                         |                  |                 |         |          |          |             |             |             |             | <b>0.92</b> |             |         |      |

**Çizelge B.12 :** TH6 analizi için kritik kesitlerdeki iç kuvvetlerin karşılaştırılması.

|                         |                  | Mod Birleştirme |          |          | TH6      |            |             |             |             |             |          |         |      |
|-------------------------|------------------|-----------------|----------|----------|----------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------|---------|------|
|                         |                  | V (kN)          | M (kNm)  | N (kN)   | V (kN)   | $\alpha_V$ | M (kNm)     | $\alpha_M$  | N (kN)      | $\alpha_N$  |          |         |      |
| yüksek kiriş            | K1603-1          | max             | i        | 709.91   | 2268.92  | -          | 666.91      | 0.94        | 2165.64     | 0.95        | -        | -       |      |
|                         |                  |                 | j        | 836.29   | 444.35   | -          | 793.30      | 0.95        | 359.31      | 0.81        | -        | -       |      |
|                         | min              | i               | -        | -        | -        | -          | -           | -           | -           | -           | -        |         |      |
|                         |                  | j               | -        | -1269.41 | -        | -          | -           | -1191.30    | 0.94        | -           | -        |         |      |
|                         | K1603-2          | max             | i        | -        | -        | -          | -           | -           | -           | -           | -        |         |      |
|                         |                  |                 | j        | -        | 1987.82  | -          | -           | -           | 1920.64     | 0.97        | -        | -       |      |
|                         | min              | i               | -1627.18 | -3052.19 | -        | -1526.92   | 0.94        | -2833.40    | 0.93        | -           | -        |         |      |
|                         |                  | j               | -1544.30 | -        | -        | -1444.05   | 0.94        | -           | -           | -           | -        |         |      |
|                         | K1602-3          | max             | i        | 2004.42  | 1007.20  | -          | 1828.41     | 0.91        | 919.12      | 0.91        | -        | -       |      |
|                         |                  |                 | j        | 2059.67  | -        | -          | 1883.66     | 0.91        | -           | -           | -        | -       |      |
|                         | min              | i               | -        | -        | -        | -          | -           | -           | -           | -           | -        |         |      |
|                         |                  | j               | -        | -3124.55 | -        | -          | -           | -2869.33    | 0.92        | -           | -        |         |      |
| K1602-2                 | max              | i               | 91.21    | 1159.84  | -        | 79.62      | 0.87        | 1028.28     | 0.89        | -           | -        |         |      |
|                         |                  | j               | 196.09   | 1161.38  | -        | 184.49     | 0.94        | 1014.36     | 0.87        | -           | -        |         |      |
| min                     | i                | -197.58         | -        | -        | -183.95  | 0.93       | -           | -           | -           | -           |          |         |      |
|                         | j                | -92.51          | -        | -        | -78.88   | 0.85       | -           | -           | -           | -           |          |         |      |
| <b>ortalama</b>         |                  |                 |          |          |          |            | <b>0.92</b> | <b>0.91</b> |             |             |          |         |      |
| mesnetlik eden kolonlar | S1604            | max             | i        | 588.28   | 233.11   | -564.29    | 553.84      | 0.94        | 217.99      | 0.94        | -758.30  | 1.34    |      |
|                         |                  |                 | j        | 588.28   | 199.69   | -542.23    | 553.84      | 0.94        | 148.04      | 0.74        | -736.23  | 1.36    |      |
|                         | min              | i               | -126.45  | -25.90   | -2598.80 | -89.87     | 0.71        | -11.47      | 0.44        | -2405.79    | 0.93     |         |      |
|                         |                  | j               | -126.45  | -812.23  | -2574.28 | -89.87     | 0.71        | -765.06     | 0.94        | -2381.27    | 0.93     |         |      |
|                         | S1603            | max             | i        | 618.96   | 167.38   | -1615.26   | 552.90      | 0.89        | 139.81      | 0.84        | -1877.11 | 1.16    |      |
|                         |                  |                 | j        | 618.96   | 837.14   | -1579.61   | 552.90      | 0.89        | 726.35      | 0.87        | -1841.47 | 1.17    |      |
|                         | min              | i               | -554.84  | -152.93  | -3591.31 | -480.92    | 0.87        | -127.28     | 0.83        | -3321.33    | 0.92     |         |      |
|                         |                  | j               | -554.84  | -936.50  | -3551.71 | -480.92    | 0.87        | -841.59     | 0.90        | -3281.73    | 0.92     |         |      |
|                         | <b>ortalama</b>  |                 |          |          |          |            |             | <b>0.85</b> | <b>0.81</b> | <b>1.26</b> |          |         |      |
|                         |                  |                 |          |          |          |            |             |             |             | <b>0.92</b> |          |         |      |
|                         | sürekli kolonlar | S1706           | max      | i        | 161.56   | 169.86     | -405.62     | 151.46      | 0.94        | 158.57      | 0.93     | -537.63 | 1.33 |
|                         |                  |                 |          | j        | 161.56   | 37.14      | -395.22     | 151.46      | 0.94        | 29.25       | 0.79     | -527.23 | 1.33 |
| min                     |                  | i               | -48.42   | -52.47   | -1643.69 | -38.03     | 0.79        | -41.11      | 0.78        | -1515.37    | 0.92     |         |      |
|                         |                  | j               | -48.42   | -129.07  | -1632.13 | -38.03     | 0.79        | -121.63     | 0.94        | -1503.80    | 0.92     |         |      |
| S1705                   |                  | max             | i        | 158.40   | 151.67   | -899.17    | 144.73      | 0.91        | 138.47      | 0.91        | -1000.17 | 1.11    |      |
|                         |                  |                 | j        | 158.40   | 120.27   | -885.64    | 144.73      | 0.91        | 106.84      | 0.89        | -986.64  | 1.11    |      |
| min                     |                  | i               | -154.33  | -167.61  | -1885.17 | -139.19    | 0.90        | -152.98     | 0.91        | -1793.91    | 0.95     |         |      |
|                         |                  | j               | -154.33  | -143.76  | -1870.14 | -139.19    | 0.90        | -131.59     | 0.92        | -1778.88    | 0.95     |         |      |
| S1704                   |                  | max             | i        | 172.54   | 191.96   | -647.01    | 155.74      | 0.90        | 173.46      | 0.90        | -810.80  | 1.25    |      |
|                         |                  |                 | j        | 172.54   | 109.99   | -633.48    | 155.74      | 0.90        | 96.35       | 0.88        | -797.27  | 1.26    |      |
| min                     |                  | i               | -118.82  | -109.86  | -1803.76 | -101.14    | 0.85        | -90.75      | 0.83        | -1645.03    | 0.91     |         |      |
|                         |                  | j               | -118.82  | -127.27  | -1788.72 | -101.14    | 0.85        | -114.65     | 0.90        | -1630.00    | 0.91     |         |      |
| <b>ortalama</b>         |                  |                 |          |          |          |            | <b>0.88</b> | <b>0.88</b> | <b>1.23</b> |             |          |         |      |
|                         |                  |                 |          |          |          |            |             |             | <b>0.93</b> |             |          |         |      |



**Çizelge B.13 :** TH7 analizi için kritik kesitlerdeki iç kuvvetlerin karşılaştırılması.

|                         |                  | Mod Birleştirme |         |          | TH7      |             |             |             |             |             |             |         |      |
|-------------------------|------------------|-----------------|---------|----------|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------|------|
|                         |                  | V (kN)          | M (kNm) | N (kN)   | V (kN)   | $\alpha_V$  | M (kNm)     | $\alpha_M$  | N (kN)      | $\alpha_N$  |             |         |      |
| yüksek kiriş            | K1601-1          | max             | i       | -        | 434.50   | -           | -           | -           | 359.88      | 0.83        | -           | -       |      |
|                         |                  |                 | j       | 16.53    | 2277.95  | -           | -           | -           | 2114.91     | 0.93        | -           | -       |      |
|                         |                  | min             | i       | -839.97  | -1277.10 | -           | -766.09     | 0.91        | -1100.84    | 0.86        | -           | -       |      |
|                         |                  |                 | j       | -713.59  | -        | -           | -639.70     | 0.90        | -           | -           | -           | -       |      |
|                         | K1601-2          | max             | i       | 1545.95  | 1994.07  | -           | 1465.55     | 0.95        | 1921.99     | 0.96        | -           | -       |      |
|                         |                  |                 | j       | 1628.82  | -        | -           | 1548.42     | 0.95        | -           | -           | -           | -       |      |
|                         |                  | min             | i       | -        | -        | -           | -           | -           | -           | -           | -           | -       |      |
|                         |                  |                 | j       | -        | -3050.92 | -           | -           | -           | -2879.29    | 0.94        | -           | -       |      |
|                         | K1602-1          | max             | i       | -        | -        | -           | -           | -           | -           | -           | -           | -       |      |
|                         |                  |                 | j       | -        | 1008.09  | -           | -           | -           | 951.25      | 0.94        | -           | -       |      |
|                         |                  | min             | i       | -2064.86 | -3134.02 | -           | -1891.19    | 0.92        | -2835.71    | 0.90        | -           | -       |      |
|                         |                  |                 | j       | -2009.61 | -        | -           | -1835.94    | 0.91        | -           | -           | -           | -       |      |
| K1602-2                 | max              | i               | 91.21   | 1159.84  | -        | 79.67       | 0.87        | 1027.12     | 0.89        | -           | -           |         |      |
|                         |                  | j               | 196.09  | 1161.38  | -        | 184.55      | 0.94        | 1013.52     | 0.87        | -           | -           |         |      |
|                         | min              | i               | -197.58 | -        | -        | -167.32     | 0.85        | -           | -           | -           | -           |         |      |
|                         |                  | j               | -92.51  | -        | -        | -62.25      | 0.67        | -           | -           | -           | -           |         |      |
| <b>ortalama</b>         |                  |                 |         |          |          | <b>0.89</b> |             | <b>0.90</b> |             | -           |             |         |      |
| mesnetlik eden kolonlar | S1601            | max             | i       | 122.51   | 24.69    | -580.37     | 88.94       | 0.73        | 6.54        | 0.27        | -801.92     | 1.38    |      |
|                         |                  |                 | j       | 122.51   | 816.77   | -558.30     | 88.94       | 0.73        | 713.25      | 0.87        | -779.86     | 1.40    |      |
|                         |                  | min             | i       | -591.52  | -234.33  | -2617.17    | -518.48     | 0.88        | -207.04     | 0.88        | -2375.77    | 0.91    |      |
|                         |                  |                 | j       | -591.52  | -193.91  | -2592.65    | -518.48     | 0.88        | -151.32     | 0.78        | -2351.25    | 0.91    |      |
|                         | S1602            | max             | i       | 547.81   | 151.34   | -1622.84    | 478.87      | 0.87        | 114.64      | 0.76        | -1791.55    | 1.10    |      |
|                         |                  |                 | j       | 547.81   | 942.84   | -1587.20    | 478.87      | 0.87        | 725.56      | 0.77        | -1755.91    | 1.11    |      |
|                         |                  | min             | i       | -623.39  | -168.90  | -3600.18    | -478.73     | 0.77        | -124.18     | 0.74        | -3408.67    | 0.95    |      |
|                         |                  |                 | j       | -623.39  | -826.26  | -3560.57    | -478.73     | 0.77        | -735.35     | 0.89        | -3369.07    | 0.95    |      |
|                         | <b>ortalama</b>  |                 |         |          |          |             | <b>0.81</b> |             | <b>0.74</b> |             | <b>1.25</b> |         |      |
|                         |                  |                 |         |          |          |             |             |             |             |             | <b>0.93</b> |         |      |
|                         | sürekli kolonlar | S1701           | max     | i        | 47.18    | 51.14       | -415.88     | 36.44       | 0.77        | 38.73       | 0.76        | -563.05 | 1.35 |
|                         |                  |                 |         | j        | 47.18    | 129.82      | -405.47     | 36.44       | 0.77        | 113.25      | 0.87        | -552.65 | 1.36 |
| min                     |                  |                 | i       | -162.57  | -170.98  | -1655.83    | -141.10     | 0.87        | -147.79     | 0.86        | -1510.97    | 0.91    |      |
|                         |                  |                 | j       | -162.57  | -36.18   | -1644.27    | -141.10     | 0.87        | -28.67      | 0.79        | -1499.41    | 0.91    |      |
| S1702                   |                  | max             | i       | 152.33   | 165.15   | -903.36     | 137.66      | 0.90        | 150.78      | 0.91        | -960.18     | 1.06    |      |
|                         |                  |                 | j       | 152.33   | 144.88   | -889.83     | 137.66      | 0.90        | 115.67      | 0.80        | -946.66     | 1.06    |      |
|                         |                  | min             | i       | -159.76  | -152.64  | -1890.56    | -125.54     | 0.79        | -118.49     | 0.78        | -1822.69    | 0.96    |      |
|                         |                  |                 | j       | -159.76  | -118.64  | -1875.53    | -125.54     | 0.79        | -105.81     | 0.89        | -1807.66    | 0.96    |      |
| S1703                   |                  | max             | i       | 116.91   | 107.91   | -651.00     | 98.04       | 0.84        | 86.88       | 0.81        | -795.20     | 1.22    |      |
|                         |                  |                 | j       | 116.91   | 128.30   | -637.48     | 98.04       | 0.84        | 100.50      | 0.78        | -781.67     | 1.23    |      |
|                         |                  | min             | i       | -173.84  | -193.32  | -1808.17    | -139.19     | 0.80        | -157.01     | 0.81        | -1678.54    | 0.93    |      |
|                         |                  |                 | j       | -173.84  | -108.39  | -1793.14    | -139.19     | 0.80        | -94.50      | 0.87        | -1663.51    | 0.93    |      |
| <b>ortalama</b>         |                  |                 |         |          |          | <b>0.83</b> |             | <b>0.83</b> |             | <b>1.22</b> |             |         |      |
|                         |                  |                 |         |          |          |             |             |             |             | <b>0.93</b> |             |         |      |

**Çizelge B.14 :** TH7 analizi için kritik kesitlerdeki iç kuvvetlerin karşılaştırılması.

|                         |                  | Mod Birleştirme |          |          | TH7      |            |             |             |             |             |          |         |      |
|-------------------------|------------------|-----------------|----------|----------|----------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------|---------|------|
|                         |                  | V (kN)          | M (kNm)  | N (kN)   | V (kN)   | $\alpha_V$ | M (kNm)     | $\alpha_M$  | N (kN)      | $\alpha_N$  |          |         |      |
| yüksek kiriş            | K1603-1          | max             | i        | 709.91   | 2268.92  | -          | 665.33      | 0.94        | 2141.99     | 0.94        | -        | -       |      |
|                         |                  |                 | j        | 836.29   | 444.35   | -          | 791.72      | 0.95        | 260.42      | 0.59        | -        | -       |      |
|                         | min              | i               | -        | -        | -        | -          | -           | -           | -           | -           | -        |         |      |
|                         |                  | j               | -        | -1269.41 | -        | -          | -           | -1191.02    | 0.94        | -           | -        |         |      |
|                         | K1603-2          | max             | i        | -        | -        | -          | -           | -           | -           | -           | -        |         |      |
|                         |                  |                 | j        | -        | 1987.82  | -          | -           | -           | 1885.87     | 0.95        | -        | -       |      |
|                         | min              | i               | -1627.18 | -3052.19 | -        | -1531.53   | 0.94        | -2761.86    | 0.90        | -           | -        |         |      |
|                         |                  | j               | -1544.30 | -        | -        | -1448.65   | 0.94        | -           | -           | -           | -        |         |      |
|                         | K1602-3          | max             | i        | 2004.42  | 1007.20  | -          | 1800.96     | 0.90        | 940.67      | 0.93        | -        | -       |      |
|                         |                  |                 | j        | 2059.67  | -        | -          | 1856.21     | 0.90        | -           | -           | -        | -       |      |
|                         | min              | i               | -        | -        | -        | -          | -           | -           | -           | -           | -        |         |      |
|                         |                  | j               | -        | -3124.55 | -        | -          | -           | -2845.52    | 0.91        | -           | -        |         |      |
| K1602-2                 | max              | i               | 91.21    | 1159.84  | -        | 79.67      | 0.87        | 1027.12     | 0.89        | -           | -        |         |      |
|                         |                  | j               | 196.09   | 1161.38  | -        | 184.55     | 0.94        | 1013.52     | 0.87        | -           | -        |         |      |
| min                     | i                | -197.58         | -        | -        | -167.32  | 0.85       | -           | -           | -           | -           |          |         |      |
|                         | j                | -92.51          | -        | -        | -62.25   | 0.67       | -           | -           | -           | -           |          |         |      |
| <b>ortalama</b>         |                  |                 |          |          |          |            | <b>0.89</b> | <b>0.88</b> | <b>-</b>    |             |          |         |      |
| mesnetlik eden kolonlar | S1604            | max             | i        | 588.28   | 233.11   | -564.29    | 553.13      | 0.94        | 214.54      | 0.92        | -850.74  | 1.51    |      |
|                         |                  |                 | j        | 588.28   | 199.69   | -542.23    | 553.13      | 0.94        | 90.88       | 0.46        | -828.68  | 1.53    |      |
|                         | min              | i               | -126.45  | -25.90   | -2598.80 | -49.82     | 0.39        | -           | -           | -2364.10    | 0.91     |         |      |
|                         |                  | j               | -126.45  | -812.23  | -2574.28 | -49.82     | 0.39        | -767.27     | 0.94        | -2339.58    | 0.91     |         |      |
|                         | S1603            | max             | i        | 618.96   | 167.38   | -1615.26   | 551.02      | 0.89        | 131.00      | 0.78        | -1839.41 | 1.14    |      |
|                         |                  |                 | j        | 618.96   | 837.14   | -1579.61   | 551.02      | 0.89        | 622.20      | 0.74        | -1803.77 | 1.14    |      |
|                         | min              | i               | -554.84  | -152.93  | -3591.31 | -411.67    | 0.74        | -108.52     | 0.71        | -3406.27    | 0.95     |         |      |
|                         |                  | j               | -554.84  | -936.50  | -3551.71 | -411.67    | 0.74        | -847.06     | 0.90        | -3366.67    | 0.95     |         |      |
|                         | <b>ortalama</b>  |                 |          |          |          |            |             | <b>0.74</b> | <b>0.78</b> | <b>1.33</b> |          |         |      |
|                         |                  |                 |          |          |          |            |             |             |             | <b>0.93</b> |          |         |      |
|                         | sürekli kolonlar | S1706           | max      | i        | 161.56   | 169.86     | -405.62     | 150.35      | 0.93        | 156.97      | 0.92     | -589.16 | 1.45 |
|                         |                  |                 |          | j        | 161.56   | 37.14      | -395.22     | 150.35      | 0.93        | 19.80       | 0.53     | -578.76 | 1.46 |
| min                     |                  | i               | -48.42   | -52.47   | -1643.69 | -25.97     | 0.54        | -28.24      | 0.54        | -1478.71    | 0.90     |         |      |
|                         |                  | j               | -48.42   | -129.07  | -1632.13 | -25.97     | 0.54        | -121.17     | 0.94        | -1467.15    | 0.90     |         |      |
| S1705                   |                  | max             | i        | 158.40   | 151.67   | -899.17    | 143.24      | 0.90        | 136.72      | 0.90        | -976.42  | 1.09    |      |
|                         |                  |                 | j        | 158.40   | 120.27   | -885.64    | 143.24      | 0.90        | 90.64       | 0.75        | -962.90  | 1.09    |      |
| min                     |                  | i               | -154.33  | -167.61  | -1885.17 | -119.63    | 0.78        | -132.99     | 0.79        | -1809.47    | 0.96     |         |      |
|                         |                  | j               | -154.33  | -143.76  | -1870.14 | -119.63    | 0.78        | -130.58     | 0.91        | -1794.44    | 0.96     |         |      |
| S1704                   |                  | max             | i        | 172.54   | 191.96   | -647.01    | 153.73      | 0.89        | 171.05      | 0.89        | -807.07  | 1.25    |      |
|                         |                  |                 | j        | 172.54   | 109.99   | -633.48    | 153.73      | 0.89        | 82.15       | 0.75        | -793.54  | 1.25    |      |
| min                     |                  | i               | -118.82  | -109.86  | -1803.76 | -84.11     | 0.71        | -73.44      | 0.67        | -1652.09    | 0.92     |         |      |
|                         |                  | j               | -118.82  | -127.27  | -1788.72 | -84.11     | 0.71        | -113.35     | 0.89        | -1637.06    | 0.92     |         |      |
| <b>ortalama</b>         |                  |                 |          |          |          |            | <b>0.79</b> | <b>0.79</b> | <b>1.27</b> |             |          |         |      |
|                         |                  |                 |          |          |          |            |             |             | <b>0.92</b> |             |          |         |      |

**Çizelge B.15 :** Kritik kesitlerdeki ortalama iç kuvvetlerin karşılaştırmaları.

|                         |                  | Mod Birleştirme |         |          | ortalama    |             |             |             |             |             |          |         |      |
|-------------------------|------------------|-----------------|---------|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------|---------|------|
|                         |                  | V (kN)          | M (kNm) | N (kN)   | V (kN)      | $\alpha_V$  | M (kNm)     | $\alpha_M$  | N (kN)      | $\alpha_N$  |          |         |      |
| yüksek kiriş            | K1601-1          | max             | i       | -        | 434.50      | -           | -           | -           | 306.66      | 0.71        | -        | -       |      |
|                         |                  |                 | j       | 16.53    | 2277.95     | -           | -           | -           | 2144.86     | 0.94        | -        | -       |      |
|                         |                  | min             | i       | -839.97  | -1277.10    | -           | -780.75     | 0.93        | -1140.30    | 0.89        | -        | -       |      |
|                         |                  |                 | j       | -713.59  | -           | -           | -654.37     | 0.92        | -           | -           | -        | -       |      |
|                         | K1601-2          | max             | i       | 1545.95  | 1994.07     | -           | 1446.59     | 0.94        | 1919.26     | 0.96        | -        | -       |      |
|                         |                  |                 | j       | 1628.82  | -           | -           | 1529.46     | 0.94        | -           | -           | -        | -       |      |
|                         |                  | min             | i       | -        | -           | -           | -           | -           | -           | -           | -        | -       |      |
|                         |                  |                 | j       | -        | -3050.92    | -           | -           | -           | -2793.95    | 0.92        | -        | -       |      |
|                         | K1602-1          | max             | i       | -        | -           | -           | -           | -           | -           | -           | -        | -       |      |
|                         |                  |                 | j       | -        | 1008.09     | -           | -           | -           | 943.33      | 0.94        | -        | -       |      |
|                         |                  | min             | i       | -2064.86 | -3134.02    | -           | -1892.82    | 0.92        | -2864.07    | 0.91        | -        | -       |      |
|                         |                  |                 | j       | -2009.61 | -           | -           | -1837.57    | 0.91        | -           | -           | -        | -       |      |
| K1602-2                 | max              | i               | 91.21   | 1159.84  | -           | 67.92       | 0.74        | 1019.39     | 0.88        | -           | -        |         |      |
|                         |                  | j               | 196.09  | 1161.38  | -           | 173.60      | 0.89        | 1028.41     | 0.89        | -           | -        |         |      |
|                         | min              | i               | -197.58 | -        | -           | -174.51     | 0.88        | -           | -           | -           | -        |         |      |
|                         |                  | j               | -92.51  | -        | -           | -68.66      | 0.74        | -           | -           | -           | -        |         |      |
| <b>ortalama</b>         |                  |                 |         |          | <b>0.88</b> |             | <b>0.89</b> |             | <b>-</b>    |             |          |         |      |
| mesnetlik eden kolonlar | S1601            | max             | i       | 122.51   | 24.69       | -580.37     | 64.90       | 0.53        | 5.66        | 0.23        | -881.80  | 1.52    |      |
|                         |                  |                 | j       | 122.51   | 816.77      | -558.30     | 64.90       | 0.53        | 735.21      | 0.90        | -859.73  | 1.54    |      |
|                         |                  | min             | i       | -591.52  | -234.33     | -2617.17    | -534.52     | 0.90        | -213.78     | 0.91        | -2406.40 | 0.92    |      |
|                         |                  |                 | j       | -591.52  | -193.91     | -2592.65    | -534.52     | 0.90        | -113.64     | 0.59        | -2381.89 | 0.92    |      |
|                         | S1602            | max             | i       | 547.81   | 151.34      | -1622.84    | 430.05      | 0.79        | 116.17      | 0.77        | -1778.42 | 1.10    |      |
|                         |                  |                 | j       | 547.81   | 942.84      | -1587.20    | 430.05      | 0.79        | 773.22      | 0.82        | -1742.78 | 1.10    |      |
|                         |                  | min             | i       | -623.39  | -168.90     | -3600.18    | -511.93     | 0.82        | -138.42     | 0.82        | -3403.22 | 0.95    |      |
|                         |                  |                 | j       | -623.39  | -826.26     | -3560.57    | -511.93     | 0.82        | -647.17     | 0.78        | -3363.62 | 0.94    |      |
|                         | <b>ortalama</b>  |                 |         |          |             | <b>0.76</b> |             | <b>0.73</b> |             | <b>1.31</b> |          |         |      |
|                         |                  |                 |         |          |             |             |             |             |             | <b>0.93</b> |          |         |      |
|                         | sürekli kolonlar | S1701           | max     | i        | 47.18       | 51.14       | -415.88     | 31.34       | 0.66        | 34.19       | 0.67     | -597.92 | 1.44 |
|                         |                  |                 |         | j        | 47.18       | 129.82      | -405.47     | 31.34       | 0.66        | 117.12      | 0.90     | -587.52 | 1.45 |
| min                     |                  |                 | i       | -162.57  | -170.98     | -1655.83    | -146.22     | 0.90        | -153.38     | 0.90        | -1525.40 | 0.92    |      |
|                         |                  |                 | j       | -162.57  | -36.18      | -1644.27    | -146.22     | 0.90        | -23.78      | 0.66        | -1513.84 | 0.92    |      |
| S1702                   |                  | max             | i       | 152.33   | 165.15      | -903.36     | 125.14      | 0.82        | 138.53      | 0.84        | -956.45  | 1.06    |      |
|                         |                  |                 | j       | 152.33   | 144.88      | -889.83     | 125.14      | 0.82        | 122.95      | 0.85        | -942.92  | 1.06    |      |
|                         |                  | min             | i       | -159.76  | -152.64     | -1890.56    | -134.41     | 0.84        | -127.35     | 0.83        | -1818.12 | 0.96    |      |
|                         |                  |                 | j       | -159.76  | -118.64     | -1875.53    | -134.41     | 0.84        | -94.63      | 0.80        | -1803.09 | 0.96    |      |
| S1703                   |                  | max             | i       | 116.91   | 107.91      | -651.00     | 88.28       | 0.76        | 76.98       | 0.71        | -785.90  | 1.21    |      |
|                         |                  |                 | j       | 116.91   | 128.30      | -637.48     | 88.28       | 0.76        | 107.37      | 0.84        | -772.37  | 1.21    |      |
|                         |                  | min             | i       | -173.84  | -193.32     | -1808.17    | -147.59     | 0.85        | -165.68     | 0.86        | -1671.58 | 0.92    |      |
|                         |                  |                 | j       | -173.84  | -108.39     | -1793.14    | -147.59     | 0.85        | -86.34      | 0.80        | -1656.55 | 0.92    |      |
| <b>ortalama</b>         |                  |                 |         |          | <b>0.81</b> |             | <b>0.80</b> |             | <b>1.24</b> |             |          |         |      |
|                         |                  |                 |         |          |             |             |             |             | <b>0.94</b> |             |          |         |      |

**Çizelge B.16 :** Kritik kesitlerdeki ortalama iç kuvvetlerin karşılaştırmaları.

|                         |                  | Mod Birleştirme |          |          | ortalama |            |             |             |             |             |          |         |      |
|-------------------------|------------------|-----------------|----------|----------|----------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------|---------|------|
|                         |                  | V (kN)          | M (kNm)  | N (kN)   | V (kN)   | $\alpha_V$ | M (kNm)     | $\alpha_M$  | N (kN)      | $\alpha_N$  |          |         |      |
| yüksek kiriş            | K1603-1          | max             | i        | 709.91   | 2268.92  | -          | 644.79      | 0.91        | 2124.52     | 0.94        | -        | -       |      |
|                         |                  |                 | j        | 836.29   | 444.35   | -          | 771.17      | -           | 275.44      | 0.62        | -        | -       |      |
|                         | min              | i               | -        | -        | -        | -          | -           | -           | -           | -           | -        |         |      |
|                         |                  | j               | -        | -1269.41 | -        | -          | -           | -1120.59    | 0.88        | -           | -        |         |      |
|                         | K1603-2          | max             | i        | -        | -        | -          | -           | -           | #SAYI/0!    | -           | -        | -       |      |
|                         |                  |                 | j        | -        | 1987.82  | -          | -           | -           | 1899.59     | 0.96        | -        | -       |      |
|                         | min              | i               | -1627.18 | -3052.19 | -        | -1540.05   | 0.95        | -2816.34    | 0.92        | -           | -        |         |      |
|                         |                  | j               | -1544.30 | -        | -        | -1457.17   | 0.94        | 1010.08     | -           | -           | -        |         |      |
|                         | K1602-3          | max             | i        | 2004.42  | 1007.20  | -          | 1820.04     | 0.91        | 946.01      | 0.94        | -        | -       |      |
|                         |                  |                 | j        | 2059.67  | -        | -          | 1875.29     | 0.91        | -           | -           | -        | -       |      |
|                         | min              | i               | -        | -        | -        | -          | -           | -           | -           | -           | -        |         |      |
|                         |                  | j               | -        | -3124.55 | -        | -          | -           | -2842.36    | 0.91        | -           | -        |         |      |
| K1602-2                 | max              | i               | 91.21    | 1159.84  | -        | 67.92      | 0.74        | 1019.39     | 0.88        | -           | -        |         |      |
|                         |                  | j               | 196.09   | 1161.38  | -        | 173.60     | 0.89        | 1028.41     | 0.89        | -           | -        |         |      |
| min                     | i                | -197.58         | -        | -        | -174.51  | 0.88       | -           | -           | -           | -           |          |         |      |
|                         | j                | -92.51          | -        | -        | -68.66   | 0.74       | -           | -           | -           | -           |          |         |      |
| <b>ortalama</b>         |                  |                 |          |          |          |            | <b>0.87</b> | <b>0.88</b> | <b>-</b>    |             |          |         |      |
| mesnetlik eden kolonlar | S1604            | max             | i        | 588.28   | 233.11   | -564.29    | 526.15      | 0.89        | 210.85      | 0.90        | -863.57  | 1.53    |      |
|                         |                  |                 | j        | 588.28   | 199.69   | -542.23    | 526.15      | 0.89        | 139.30      | 0.70        | -841.50  | 1.55    |      |
|                         | min              | i               | -126.45  | -25.90   | -2598.80 | -82.50     | 0.65        | -14.13      | 0.55        | -2370.62    | 0.91     |         |      |
|                         |                  | j               | -126.45  | -812.23  | -2574.28 | -82.50     | 0.65        | -723.38     | 0.89        | -2346.11    | 0.91     |         |      |
|                         | S1603            | max             | i        | 618.96   | 167.38   | -1615.26   | 500.99      | 0.81        | 133.23      | 0.80        | -1784.47 | 1.10    |      |
|                         |                  |                 | j        | 618.96   | 837.14   | -1579.61   | 500.99      | 0.81        | 659.85      | 0.79        | -1748.83 | 1.11    |      |
|                         | min              | i               | -554.84  | -152.93  | -3591.31 | -438.62    | 0.79        | -120.65     | 0.79        | -3386.83    | 0.94     |         |      |
|                         |                  | j               | -554.84  | -936.50  | -3551.71 | -438.62    | 0.79        | -757.25     | 0.81        | -3347.23    | 0.94     |         |      |
|                         | <b>ortalama</b>  |                 |          |          |          |            |             | <b>0.79</b> | <b>0.78</b> | <b>1.32</b> |          |         |      |
|                         |                  |                 |          |          |          |            |             |             |             | <b>0.93</b> |          |         |      |
|                         | sürekli kolonlar | S1706           | max      | i        | 161.56   | 169.86     | -405.62     | 143.64      | 0.89        | 150.51      | 0.89     | -587.97 | 1.45 |
|                         |                  |                 |          | j        | 161.56   | 37.14      | -395.22     | 143.64      | 0.89        | 24.80       | 0.67     | -577.56 | 1.46 |
| min                     |                  | i               | -48.42   | -52.47   | -1643.69 | -32.77     | 0.68        | -35.83      | 0.68        | -1501.11    | 0.91     |         |      |
|                         |                  | j               | -48.42   | -129.07  | -1632.13 | -32.77     | 0.68        | -115.22     | 0.89        | -1489.55    | 0.91     |         |      |
| S1705                   |                  | max             | i        | 158.40   | 151.67   | -899.17    | 131.02      | 0.83        | 124.28      | 0.82        | -960.20  | 1.07    |      |
|                         |                  |                 | j        | 158.40   | 120.27   | -885.64    | 131.02      | 0.83        | 96.78       | 0.80        | -946.67  | 1.07    |      |
| min                     |                  | i               | -154.33  | -167.61  | -1885.17 | -127.92    | 0.83        | -141.86     | 0.85        | -1808.46    | 0.96     |         |      |
|                         |                  | j               | -154.33  | -143.76  | -1870.14 | -127.92    | 0.83        | -120.09     | 0.84        | -1793.43    | 0.96     |         |      |
| S1704                   |                  | max             | i        | 172.54   | 191.96   | -647.01    | 144.67      | 0.84        | 162.71      | 0.85        | -785.01  | 1.21    |      |
|                         |                  |                 | j        | 172.54   | 109.99   | -633.48    | 144.67      | 0.84        | 88.05       | 0.80        | -771.48  | 1.22    |      |
| min                     |                  | i               | -118.82  | -109.86  | -1803.76 | -90.44     | 0.76        | -79.26      | 0.72        | -1657.21    | 0.92     |         |      |
|                         |                  | j               | -118.82  | -127.27  | -1788.72 | -90.44     | 0.76        | -105.12     | 0.83        | -1642.18    | 0.92     |         |      |
| <b>ortalama</b>         |                  |                 |          |          |          |            | <b>0.80</b> | <b>0.80</b> | <b>1.25</b> |             |          |         |      |
|                         |                  |                 |          |          |          |            |             |             | <b>0.93</b> |             |          |         |      |

**Çizelge B.17 :** TH8 analizi için kritik kesitlerdeki iç kuvvet karşılaştırmaları.

|                         |                 | Mod Birleştirme |         |         | TH8         |             |             |             |             |             |          |      |
|-------------------------|-----------------|-----------------|---------|---------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------|------|
|                         |                 | V (kN)          | M (kNm) | N (kN)  | V (kN)      | $\alpha_V$  | M (kNm)     | $\alpha_M$  | N (kN)      | $\alpha_N$  |          |      |
| kiriş                   | K1615           | max             | i       | 64.47   | 180.01      | -           | 19.64       | 0.30        | 83.37       | 0.46        | -        | -    |
|                         |                 |                 | j       | 129.33  | 185.02      | -           | 84.51       | 0.65        | 102.58      | 0.55        | -        | -    |
|                         | min             | i               | -146.80 | -256.15 | -           | -105.46     | 0.72        | -167.04     | 0.65        | -           | -        |      |
|                         |                 | j               | -73.36  | -200.53 | -           | -32.02      | 0.44        | -111.14     | 0.55        | -           | -        |      |
|                         | K1617           | max             | i       | 125.62  | 336.21      | -           | 32.52       | 0.26        | 137.54      | 0.41        | -        | -    |
|                         |                 |                 | j       | 238.04  | 432.41      | -           | 144.94      | 0.61        | 217.95      | 0.50        | -        | -    |
| min                     | i               | -277.11         | -484.64 | -       | -189.25     | 0.68        | -297.12     | 0.61        | -           | -           |          |      |
|                         | j               | -147.84         | -471.22 | -       | -59.98      | 0.41        | -243.95     | 0.52        | -           | -           |          |      |
| <b>ortalama</b>         |                 |                 |         |         | <b>0.51</b> |             | <b>0.53</b> |             | <b>-</b>    |             |          |      |
| mesnetlik eden kolonlar | S1601           | max             | i       | 78.98   | 82.67       | -603.79     | 35.65       | 0.45        | 36.48       | 0.44        | -1026.81 | 1.70 |
|                         |                 |                 | j       | 78.98   | 87.48       | -581.73     | 35.65       | 0.45        | 58.48       | 0.67        | -1004.75 | 1.73 |
|                         | min             | i               | -118.31 | -123.42 | -2593.74    | -78.43      | 0.66        | -81.21      | 0.66        | -2202.81    | 0.85     |      |
|                         |                 | j               | -118.31 | -58.42  | -2569.22    | -78.43      | 0.66        | -26.80      | 0.46        | -2178.29    | 0.85     |      |
|                         | S1602           | max             | i       | 176.20  | 164.51      | -1052.36    | 66.96       | 0.38        | 61.27       | 0.37        | -1597.46 | 1.52 |
|                         |                 |                 | j       | 176.20  | 238.14      | -1016.71    | 66.96       | 0.38        | 147.55      | 0.62        | -1561.82 | 1.54 |
|                         | min             | i               | -276.25 | -254.59 | -4170.66    | -173.24     | 0.63        | -160.09     | 0.63        | -3681.44    | 0.88     |      |
|                         |                 | j               | -276.25 | -150.62 | -4131.06    | -173.24     | 0.63        | -57.58      | 0.38        | -3641.84    | 0.88     |      |
|                         | <b>ortalama</b> |                 |         |         |             | <b>0.53</b> |             | <b>0.53</b> |             | <b>1.62</b> |          |      |
|                         |                 |                 |         |         |             |             |             |             |             | <b>0.87</b> |          |      |
| sürekli kolonlar        | S1701           | max             | i       | 35.58   | 30.81       | -389.94     | 14.95       | 0.42        | 13.66       | 0.44        | -659.16  | 1.69 |
|                         |                 |                 | j       | 35.58   | 63.11       | -379.53     | 14.95       | 0.42        | 43.58       | 0.69        | -648.75  | 1.71 |
|                         | min             | i               | -57.36  | -43.18  | -1681.77    | -38.78      | 0.68        | -28.16      | 0.65        | -1434.93    | 0.85     |      |
|                         |                 | j               | -57.36  | -35.20  | -1670.20    | -38.78      | 0.68        | -13.99      | 0.40        | -1423.37    | 0.85     |      |
|                         | S1702           | max             | i       | 21.68   | 25.33       | -724.24     | 5.19        | 0.24        | 11.25       | 0.44        | -917.23  | 1.27 |
|                         |                 |                 | j       | 21.68   | 77.41       | -710.72     | 5.19        | 0.24        | 60.79       | 0.79        | -903.70  | 1.27 |
|                         | min             | i               | -56.66  | -28.49  | -2069.68    | -41.73      | 0.74        | -16.44      | 0.58        | -1895.04    | 0.92     |      |
|                         |                 | j               | -56.66  | -15.86  | -2054.64    | -41.73      | 0.74        | -           | -           | -1880.00    | 0.92     |      |
|                         | S1703           | max             | i       | 43.70   | 23.43       | -350.39     | 19.88       | 0.46        | 9.43        | 0.40        | -692.91  | 1.98 |
|                         |                 |                 | j       | 43.70   | 80.28       | -336.86     | 19.88       | 0.46        | 50.93       | 0.63        | -679.38  | 2.02 |
|                         | min             | i               | -59.05  | -30.13  | -2108.78    | -37.27      | 0.63        | -18.01      | 0.60        | -1805.98    | 0.86     |      |
|                         |                 | j               | -59.05  | -58.58  | -2093.75    | -37.27      | 0.63        | -27.35      | 0.47        | -1790.95    | 0.86     |      |
| <b>ortalama</b>         |                 |                 |         |         | <b>0.53</b> |             | <b>0.55</b> |             | <b>1.66</b> |             |          |      |
|                         |                 |                 |         |         |             |             |             |             | <b>0.87</b> |             |          |      |

**Çizelge B.18 :** TH8 analizi için kritik kesitlerdeki iç kuvvet karşılaştırmaları.

|                         |                  | Mod Birleştirme |         |         | TH8     |            |             |             |             |             |          |         |      |
|-------------------------|------------------|-----------------|---------|---------|---------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------|---------|------|
|                         |                  | V (kN)          | M (kNm) | N (kN)  | V (kN)  | $\alpha_V$ | M (kNm)     | $\alpha_M$  | N (kN)      | $\alpha_N$  |          |         |      |
| kiriş                   | K1613            | max             | i       | 64.22   | 179.48  | -          | 22.45       | 0.35        | 89.50       | 0.50        | -        | -       |      |
|                         |                  |                 | j       | 128.86  | 186.09  | -          | 87.08       | 0.68        | 96.14       | 0.52        | -        | -       |      |
|                         |                  | min             | i       | -147.34 | -257.32 | -          | -102.25     | 0.69        | -160.13     | 0.62        | -        | -       |      |
|                         |                  |                 | j       | -73.66  | -200.05 | -          | -28.57      | 0.39        | -116.66     | 0.58        | -        | -       |      |
|                         | K1616            | max             | i       | 125.09  | 335.11  | -          | 41.49       | 0.33        | 156.73      | 0.47        | -        | -       |      |
|                         |                  |                 | j       | 237.08  | 433.66  | -          | 153.48      | 0.65        | 211.91      | 0.49        | -        | -       |      |
|                         |                  | min             | i       | -278.05 | -486.59 | -          | -187.22     | 0.67        | -292.80     | 0.60        | -        | -       |      |
|                         |                  |                 | j       | -148.34 | -468.84 | -          | -57.51      | 0.39        | -264.74     | 0.56        | -        | -       |      |
| <b>ortalama</b>         |                  |                 |         |         |         |            | <b>0.52</b> | <b>0.54</b> | <b>-</b>    |             |          |         |      |
| mesnetlik eden kolonlar | S1609            | max             | i       | 118.82  | 123.96  | -605.61    | 75.29       | 0.63        | 77.71       | 0.63        | -973.30  | 1.61    |      |
|                         |                  |                 | j       | 118.82  | 58.27   | -583.54    | 75.29       | 0.63        | 28.59       | 0.49        | -951.23  | 1.63    |      |
|                         |                  | min             | i       | -78.74  | -82.38  | -2597.41   | -38.02      | 0.48        | -40.31      | 0.49        | -2191.14 | 0.84    |      |
|                         |                  |                 | j       | -78.74  | -87.83  | -2572.89   | -38.02      | 0.48        | -55.92      | 0.64        | -2166.62 | 0.84    |      |
|                         | S1610            | max             | i       | 277.34  | 255.67  | -1056.00   | 170.86      | 0.62        | 154.61      | 0.60        | -1529.67 | 1.45    |      |
|                         |                  |                 | j       | 277.34  | 150.14  | -1020.36   | 170.86      | 0.62        | 67.26       | 0.45        | -1494.03 | 1.46    |      |
|                         |                  | min             | i       | -175.61 | -163.95 | -4177.67   | -77.59      | 0.44        | -70.46      | 0.43        | -3642.67 | 0.87    |      |
|                         |                  |                 | j       | -175.61 | -238.99 | -4138.07   | -77.59      | 0.44        | -148.67     | 0.62        | -3603.07 | 0.87    |      |
|                         | <b>ortalama</b>  |                 |         |         |         |            |             | <b>0.54</b> | <b>0.54</b> | <b>1.54</b> |          |         |      |
|                         |                  |                 |         |         |         |            |             |             |             | <b>0.86</b> |          |         |      |
|                         | sürekli kolonlar | S1711           | max     | i       | 57.63   | 43.42      | -391.22     | 36.88       | 0.64        | 26.20       | 0.60     | -627.78 | 1.60 |
|                         |                  |                 |         | j       | 57.63   | 35.09      | -380.81     | 36.88       | 0.64        | 15.61       | 0.44     | -617.37 | 1.62 |
| min                     |                  |                 | i       | -35.48  | -30.73  | -1684.25   | -16.93      | 0.48        | -15.71      | 0.51        | -1423.17 | 0.84    |      |
|                         |                  |                 | j       | -35.48  | -63.38  | -1672.69   | -16.93      | 0.48        | -42.04      | 0.66        | -1411.60 | 0.84    |      |
| S1712                   |                  | max             | i       | 56.83   | 28.63   | -725.51    | 40.48       | 0.71        | 14.58       | 0.51        | -891.90  | 1.23    |      |
|                         |                  |                 | j       | 56.83   | 15.76   | -711.98    | 40.48       | 0.71        | -           | -           | -878.37  | 1.23    |      |
|                         |                  | min             | i       | -21.57  | -25.23  | -2072.07   | -6.65       | 0.31        | -13.18      | 0.52        | -1882.04 | 0.91    |      |
|                         |                  |                 | j       | -21.57  | -77.58  | -2057.04   | -6.65       | 0.31        | -60.31      | 0.78        | -1867.01 | 0.91    |      |
| S1713                   |                  | max             | i       | 59.31   | 30.28   | -352.59    | 35.71       | 0.60        | 16.33       | 0.54        | -648.60  | 1.84    |      |
|                         |                  |                 | j       | 59.31   | 58.39   | -339.06    | 35.71       | 0.60        | 30.00       | 0.51        | -635.07  | 1.87    |      |
|                         |                  | min             | i       | -43.55  | -23.34  | -2113.06   | -21.76      | 0.50        | -11.19      | 0.48        | -1779.44 | 0.84    |      |
|                         |                  |                 | j       | -43.55  | -80.61  | -2098.03   | -21.76      | 0.50        | -49.73      | 0.62        | -1764.41 | 0.84    |      |
| <b>ortalama</b>         |                  |                 |         |         |         |            | <b>0.54</b> | <b>0.56</b> | <b>1.57</b> |             |          |         |      |
|                         |                  |                 |         |         |         |            |             |             | <b>0.86</b> |             |          |         |      |

**Çizelge B.19 :** TH9 analizi için kritik kesitlerdeki iç kuvvet karşılaştırmaları.

|                         |                 | Mod Birleştirme |         |         | TH9         |             |             |             |             |             |          |      |
|-------------------------|-----------------|-----------------|---------|---------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------|------|
|                         |                 | V (kN)          | M (kNm) | N (kN)  | V (kN)      | $\alpha_V$  | M (kNm)     | $\alpha_M$  | N (kN)      | $\alpha_N$  |          |      |
| kiriş                   | K1615           | max             | i       | 64.47   | 180.01      | -           | 87.71       | 1.36        | 230.25      | 1.28        | -        | -    |
|                         |                 |                 | j       | 129.33  | 185.02      | -           | 152.58      | 1.18        | 175.54      | 0.95        | -        | -    |
|                         |                 | min             | i       | -146.80 | -256.15     | -           | -142.14     | 0.97        | -246.28     | 0.96        | -        | -    |
|                         |                 |                 | j       | -73.36  | -200.53     | -           | -68.69      | 0.94        | -246.77     | 1.23        | -        | -    |
|                         | K1617           | max             | i       | 125.62  | 336.21      | -           | 157.39      | 1.25        | 404.24      | 1.20        | -        | -    |
|                         |                 |                 | j       | 238.04  | 432.41      | -           | 269.81      | 1.13        | 392.96      | 0.91        | -        | -    |
|                         |                 | min             | i       | -277.11 | -484.64     | -           | -260.94     | 0.94        | -450.07     | 0.93        | -        | -    |
|                         |                 |                 | j       | -147.84 | -471.22     | -           | -131.66     | 0.89        | -548.54     | 1.16        | -        | -    |
| <b>ortalama</b>         |                 |                 |         |         | <b>1.08</b> |             | <b>1.08</b> |             | <b>--</b>   |             |          |      |
| mesnetlik eden kolonlar | S1601           | max             | i       | 78.98   | 82.67       | -603.79     | 102.35      | 1.30        | 104.64      | 1.27        | -649.56  | 1.08 |
|                         |                 |                 | j       | 78.98   | 87.48       | -581.73     | 102.35      | 1.30        | 84.51       | 0.97        | -627.50  | 1.08 |
|                         |                 | min             | i       | -118.31 | -123.42     | -2593.74    | -114.09     | 0.96        | -119.02     | 0.96        | -2448.52 | 0.94 |
|                         |                 |                 | j       | -118.31 | -58.42      | -2569.22    | -114.09     | 0.96        | -77.03      | 1.32        | -2424.00 | 0.94 |
|                         | S1602           | max             | i       | 176.20  | 164.51      | -1052.36    | 212.12      | 1.20        | 191.65      | 1.16        | -936.10  | 0.89 |
|                         |                 |                 | j       | 176.20  | 238.14      | -1016.71    | 212.12      | 1.20        | 219.67      | 0.92        | -900.46  | 0.89 |
|                         |                 | min             | i       | -276.25 | -254.59     | -4170.66    | -256.80     | 0.93        | -236.15     | 0.93        | -4090.95 | 0.98 |
|                         |                 |                 | j       | -276.25 | -150.62     | -4131.06    | -256.80     | 0.93        | -184.86     | 1.23        | -4051.34 | 0.98 |
|                         | <b>ortalama</b> |                 |         |         |             | <b>1.10</b> |             | <b>1.09</b> |             | <b>0.98</b> |          |      |
|                         |                 |                 |         |         |             |             |             |             |             | <b>0.96</b> |          |      |
| sürekli kolonlar        | S1701           | max             | i       | 35.58   | 30.81       | -389.94     | 45.50       | 1.28        | 37.94       | 1.23        | -417.29  | 1.07 |
|                         |                 |                 | j       | 35.58   | 63.11       | -379.53     | 45.50       | 1.28        | 61.09       | 0.97        | -406.88  | 1.07 |
|                         |                 | min             | i       | -57.36  | -43.18      | -1681.77    | -55.32      | 0.96        | -41.25      | 0.96        | -1592.51 | 0.95 |
|                         |                 |                 | j       | -57.36  | -35.20      | -1670.20    | -55.32      | 0.96        | -46.23      | 1.31        | -1580.95 | 0.95 |
|                         | S1702           | max             | i       | 21.68   | 25.33       | -724.24     | 28.29       | 1.30        | 28.06       | 1.11        | -705.78  | 0.97 |
|                         |                 |                 | j       | 21.68   | 77.41       | -710.72     | 28.29       | 1.30        | 75.32       | 0.97        | -692.25  | 0.97 |
|                         |                 | min             | i       | -56.66  | -28.49      | -2069.68    | -54.78      | 0.97        | -26.02      | 0.91        | -2032.27 | 0.98 |
|                         |                 |                 | j       | -56.66  | -15.86      | -2054.64    | -54.78      | 0.97        | -24.28      | 1.53        | -2017.24 | 0.98 |
|                         | S1703           | max             | i       | 43.70   | 23.43       | -350.39     | 53.91       | 1.23        | 25.40       | 1.08        | -306.39  | 0.87 |
|                         |                 |                 | j       | 43.70   | 80.28       | -336.86     | 53.91       | 1.23        | 77.22       | 0.96        | -292.86  | 0.87 |
|                         |                 | min             | i       | -59.05  | -30.13      | -2108.78    | -56.56      | 0.96        | -27.41      | 0.91        | -2045.65 | 0.97 |
|                         |                 |                 | j       | -59.05  | -58.58      | -2093.75    | -56.56      | 0.96        | -74.34      | 1.27        | -2030.62 | 0.97 |
| <b>ortalama</b>         |                 |                 |         |         | <b>1.12</b> |             | <b>1.10</b> |             | <b>0.97</b> |             |          |      |
|                         |                 |                 |         |         |             |             |             |             | <b>0.97</b> |             |          |      |

**Çizelge B.20 :** TH9 analizi için kritik kesitlerdeki iç kuvvet karşılaştırmaları.

|                         |                  | Mod Birleştirme |         |         | TH9     |            |             |             |             |             |          |         |      |
|-------------------------|------------------|-----------------|---------|---------|---------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------|---------|------|
|                         |                  | V (kN)          | M (kNm) | N (kN)  | V (kN)  | $\alpha_V$ | M (kNm)     | $\alpha_M$  | N (kN)      | $\alpha_N$  |          |         |      |
| kiriş                   | K1613            | max             | i       | 64.22   | 179.48  | -          | 60.87       | 0.95        | 172.37      | 0.96        | -        | -       |      |
|                         |                  |                 | j       | 128.86  | 186.09  | -          | 125.50      | 0.97        | 234.73      | 1.26        | -        | -       |      |
|                         |                  | min             | i       | -147.34 | -257.32 | -          | -171.76     | 1.17        | -310.02     | 1.20        | -        | -       |      |
|                         |                  |                 | j       | -73.66  | -200.05 | -          | -98.08      | 1.33        | -193.25     | 0.97        | -        | -       |      |
|                         | K1616            | max             | i       | 125.09  | 335.11  | -          | 100.67      | 0.80        | 283.05      | 0.84        | -        | -       |      |
|                         |                  |                 | j       | 237.08  | 433.66  | -          | 212.66      | 0.90        | 491.94      | 1.13        | -        | -       |      |
|                         |                  | min             | i       | -278.05 | -486.59 | -          | -302.04     | 1.09        | -538.05     | 1.11        | -        | -       |      |
|                         |                  |                 | j       | -148.34 | -468.84 | -          | -172.33     | 1.16        | -409.16     | 0.87        | -        | -       |      |
| <b>ortalama</b>         |                  |                 |         |         |         |            | <b>1.05</b> | <b>1.04</b> | <b>-</b>    |             |          |         |      |
| mesnetlik eden kolonlar | S1609            | max             | i       | 118.82  | 123.96  | -605.61    | 143.26      | 1.21        | 147.00      | 1.19        | -823.86  | 1.36    |      |
|                         |                  |                 | j       | 118.82  | 58.27   | -583.54    | 143.26      | 1.21        | 55.86       | 0.96        | -801.80  | 1.37    |      |
|                         |                  | min             | i       | -78.74  | -82.38  | -2597.41   | -75.71      | 0.96        | -79.17      | 0.96        | -2495.34 | 0.96    |      |
|                         |                  |                 | j       | -78.74  | -87.83  | -2572.89   | -75.71      | 0.96        | -107.28     | 1.22        | -2470.82 | 0.96    |      |
|                         | S1610            | max             | i       | 277.34  | 255.67  | -1056.00   | 303.85      | 1.10        | 274.47      | 1.07        | -1170.62 | 1.11    |      |
|                         |                  |                 | j       | 277.34  | 150.14  | -1020.36   | 303.85      | 1.10        | 125.12      | 0.83        | -1134.98 | 1.11    |      |
|                         |                  | min             | i       | -175.61 | -163.95 | -4177.67   | -145.89     | 0.83        | -135.60     | 0.83        | -4290.94 | 1.03    |      |
|                         |                  |                 | j       | -175.61 | -238.99 | -4138.07   | -145.89     | 0.83        | -264.87     | 1.11        | -4251.34 | 1.03    |      |
|                         | <b>ortalama</b>  |                 |         |         |         |            |             | <b>1.02</b> | <b>1.02</b> | <b>1.24</b> |          |         |      |
|                         | <b>0.99</b>      |                 |         |         |         |            |             |             |             |             |          |         |      |
|                         | sürekli kolonlar | S1711           | max     | i       | 57.63   | 43.42      | -391.22     | 67.91       | 1.18        | 50.80       | 1.17     | -522.08 | 1.33 |
|                         |                  |                 |         | j       | 57.63   | 35.09      | -380.81     | 67.91       | 1.18        | 33.55       | 0.96     | -511.67 | 1.34 |
| min                     |                  |                 | i       | -35.48  | -30.73  | -1684.25   | -33.85      | 0.95        | -29.08      | 0.95        | -1627.49 | 0.97    |      |
|                         |                  |                 | j       | -35.48  | -63.38  | -1672.69   | -33.85      | 0.95        | -74.84      | 1.18        | -1615.92 | 0.97    |      |
| S1712                   |                  | max             | i       | 56.83   | 28.63   | -725.51    | 62.83       | 1.11        | 31.01       | 1.08        | -779.79  | 1.07    |      |
|                         |                  |                 | j       | 56.83   | 15.76   | -711.98    | 62.83       | 1.11        | 12.90       | 0.82        | -766.26  | 1.08    |      |
|                         |                  | min             | i       | -21.57  | -25.23  | -2072.07   | -18.94      | 0.88        | -22.34      | 0.89        | -2090.86 | 1.01    |      |
|                         |                  |                 | j       | -21.57  | -77.58  | -2057.04   | -18.94      | 0.88        | -85.22      | 1.10        | -2075.83 | 1.01    |      |
| S1713                   |                  | max             | i       | 59.31   | 30.28   | -352.59    | 68.57       | 1.16        | 31.69       | 1.05        | -443.68  | 1.26    |      |
|                         |                  |                 | j       | 59.31   | 58.39   | -339.06    | 68.57       | 1.16        | 53.93       | 0.92        | -430.16  | 1.27    |      |
|                         |                  | min             | i       | -43.55  | -23.34  | -2113.06   | -39.93      | 0.92        | -19.94      | 0.85        | -2146.56 | 1.02    |      |
|                         |                  |                 | j       | -43.55  | -80.61  | -2098.03   | -39.93      | 0.92        | -95.16      | 1.18        | -2131.52 | 1.02    |      |
| <b>ortalama</b>         |                  |                 |         |         |         |            | <b>1.03</b> | <b>1.01</b> | <b>1.23</b> |             |          |         |      |
| <b>1.00</b>             |                  |                 |         |         |         |            |             |             |             |             |          |         |      |



**Çizelge B.21 :** TH10 analizi için kritik kesitlerdeki iç kuvvet karşılaştırmaları.

|                         |                 | Mod Birleştirme |         |         | TH10        |             |         |             |             |             |             |      |
|-------------------------|-----------------|-----------------|---------|---------|-------------|-------------|---------|-------------|-------------|-------------|-------------|------|
|                         |                 | V (kN)          | M (kNm) | N (kN)  | V (kN)      | $\alpha_V$  | M (kNm) | $\alpha_M$  | N (kN)      | $\alpha_N$  |             |      |
| kiriş                   | K1615           | max             | i       | 64.47   | 180.01      | -           | 49.86   | 0.77        | 148.53      | 0.83        | -           | -    |
|                         |                 |                 | j       | 129.33  | 185.02      | -           | 114.73  | 0.89        | 164.34      | 0.89        | -           | -    |
|                         | min             | i               | -146.80 | -256.15 | -           | -136.48     | 0.93    | -234.00     | 0.91        | -           | -           |      |
|                         |                 | j               | -73.36  | -200.53 | -           | -63.04      | 0.86    | -171.40     | 0.85        | -           | -           |      |
|                         | K1617           | max             | i       | 125.62  | 336.21      | -           | 79.93   | 0.64        | 238.90      | 0.71        | -           | -    |
|                         |                 |                 | j       | 238.04  | 432.41      | -           | 192.35  | 0.81        | 330.73      | 0.76        | -           | -    |
| min                     | i               | -277.11         | -484.64 | -       | -235.51     | 0.85        | -395.99 | 0.82        | -           | -           |             |      |
|                         | j               | -147.84         | -471.22 | -       | -106.24     | 0.72        | -359.51 | 0.76        | -           | -           |             |      |
| <b>ortalama</b>         |                 |                 |         |         | <b>0.81</b> |             |         | <b>0.82</b> |             | <b>-</b>    |             |      |
| mesnetlik eden kolonlar | S1601           | max             | i       | 78.98   | 82.67       | -603.79     | 65.42   | 0.83        | 66.46       | 0.80        | -912.80     | 1.51 |
|                         |                 |                 | j       | 78.98   | 87.48       | -581.73     | 65.42   | 0.83        | 78.22       | 0.89        | -890.74     | 1.53 |
|                         | min             | i               | -118.31 | -123.42 | -2593.74    | -108.17     | 0.91    | -113.79     | 0.92        | -2317.57    | 0.89        |      |
|                         |                 | j               | -118.31 | -58.42  | -2569.22    | -108.17     | 0.91    | -50.48      | 0.86        | -2293.05    | 0.89        |      |
|                         | S1602           | max             | i       | 176.20  | 164.51      | -1052.36    | 121.80  | 0.69        | 109.45      | 0.67        | -1341.72    | 1.27 |
|                         |                 |                 | j       | 176.20  | 238.14      | -1016.71    | 121.80  | 0.69        | 191.47      | 0.80        | -1306.07    | 1.28 |
|                         | min             | i               | -276.25 | -254.59 | -4170.66    | -226.96     | 0.82    | -211.38     | 0.83        | -3995.40    | 0.96        |      |
|                         |                 | j               | -276.25 | -150.62 | -4131.06    | -226.96     | 0.82    | -106.75     | 0.71        | -3955.79    | 0.96        |      |
|                         | <b>ortalama</b> |                 |         |         |             | <b>0.81</b> |         |             | <b>0.81</b> |             | <b>1.40</b> |      |
|                         |                 |                 |         |         |             |             |         |             |             |             | <b>0.93</b> |      |
| sürekli kolonlar        | S1701           | max             | i       | 35.58   | 30.81       | -389.94     | 28.08   | 0.79        | 23.88       | 0.78        | -585.80     | 1.50 |
|                         |                 |                 | j       | 35.58   | 63.11       | -379.53     | 28.08   | 0.79        | 58.49       | 0.93        | -575.39     | 1.52 |
|                         | min             | i               | -57.36  | -43.18  | -1681.77    | -53.09      | 0.93    | -39.73      | 0.92        | -1518.68    | 0.90        |      |
|                         |                 | j               | -57.36  | -35.20  | -1670.20    | -53.09      | 0.93    | -28.06      | 0.80        | -1507.12    | 0.90        |      |
|                         | S1702           | max             | i       | 21.68   | 25.33       | -724.24     | 14.38   | 0.66        | 17.64       | 0.70        | -815.97     | 1.13 |
|                         |                 |                 | j       | 21.68   | 77.41       | -710.72     | 14.38   | 0.66        | 71.09       | 0.92        | -802.44     | 1.13 |
|                         | min             | i               | -56.66  | -28.49  | -2069.68    | -51.59      | 0.91    | -24.35      | 0.85        | -2000.09    | 0.97        |      |
|                         |                 | j               | -56.66  | -15.86  | -2054.64    | -51.59      | 0.91    | -8.95       | 0.56        | -1985.05    | 0.97        |      |
|                         | S1703           | max             | i       | 43.70   | 23.43       | -350.39     | 33.66   | 0.77        | 15.34       | 0.65        | -554.76     | 1.58 |
|                         |                 |                 | j       | 43.70   | 80.28       | -336.86     | 33.66   | 0.77        | 70.16       | 0.87        | -541.23     | 1.61 |
|                         | min             | i               | -59.05  | -30.13  | -2108.78    | -51.65      | 0.87    | -25.40      | 0.84        | -1981.54    | 0.94        |      |
|                         |                 | j               | -59.05  | -58.58  | -2093.75    | -51.65      | 0.87    | -46.93      | 0.80        | -1966.51    | 0.94        |      |
| <b>ortalama</b>         |                 |                 |         |         | <b>0.82</b> |             |         | <b>0.80</b> |             | <b>1.41</b> |             |      |
|                         |                 |                 |         |         |             |             |         |             |             | <b>0.94</b> |             |      |

**Çizelge B.22 :** TH10 analizi için kritik kesitlerdeki iç kuvvet karşılaştırmaları.

|                         |                  | Mod Birleştirme |         |         | TH10    |            |             |             |             |             |          |         |      |
|-------------------------|------------------|-----------------|---------|---------|---------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------|---------|------|
|                         |                  | V (kN)          | M (kNm) | N (kN)  | V (kN)  | $\alpha_V$ | M (kNm)     | $\alpha_M$  | N (kN)      | $\alpha_N$  |          |         |      |
| kiriş                   | K1613            | max             | i       | 64.22   | 179.48  | -          | 51.98       | 0.81        | 153.28      | 0.85        | -        | -       |      |
|                         |                  |                 | j       | 128.86  | 186.09  | -          | 116.61      | 0.90        | 154.36      | 0.83        | -        | -       |      |
|                         |                  | min             | i       | -147.34 | -257.32 | -          | -131.46     | 0.89        | -223.15     | 0.87        | -        | -       |      |
|                         |                  |                 | j       | -73.66  | -200.05 | -          | -57.78      | 0.78        | -175.43     | 0.88        | -        | -       |      |
|                         | K1616            | max             | i       | 125.09  | 335.11  | -          | 97.52       | 0.78        | 276.34      | 0.82        | -        | -       |      |
|                         |                  |                 | j       | 237.08  | 433.66  | -          | 209.51      | 0.88        | 352.10      | 0.81        | -        | -       |      |
|                         |                  | min             | i       | -278.05 | -486.59 | -          | -244.66     | 0.88        | -415.41     | 0.85        | -        | -       |      |
|                         |                  |                 | j       | -148.34 | -468.84 | -          | -114.96     | 0.77        | -401.48     | 0.86        | -        | -       |      |
| <b>ortalama</b>         |                  |                 |         |         |         |            | <b>0.84</b> | <b>0.85</b> | <b>-</b>    |             |          |         |      |
| mesnetlik eden kolonlar | S1609            | max             | i       | 118.82  | 123.96  | -605.61    | 104.15      | 0.88        | 106.69      | 0.86        | -762.93  | 1.26    |      |
|                         |                  |                 | j       | 118.82  | 58.27   | -583.54    | 104.15      | 0.88        | 47.65       | 0.82        | -740.86  | 1.27    |      |
|                         |                  | min             | i       | -78.74  | -82.38  | -2597.41   | -66.89      | 0.85        | -71.08      | 0.86        | -2397.77 | 0.92    |      |
|                         |                  |                 | j       | -78.74  | -87.83  | -2572.89   | -66.89      | 0.85        | -78.62      | 0.90        | -2373.26 | 0.92    |      |
|                         | S1610            | max             | i       | 277.34  | 255.67  | -1056.00   | 237.71      | 0.86        | 212.32      | 0.83        | -1195.57 | 1.13    |      |
|                         |                  |                 | j       | 277.34  | 150.14  | -1020.36   | 237.71      | 0.86        | 118.53      | 0.79        | -1159.92 | 1.14    |      |
|                         |                  | min             | i       | -175.61 | -163.95 | -4177.67   | -143.27     | 0.82        | -135.77     | 0.83        | -3953.98 | 0.95    |      |
|                         |                  |                 | j       | -175.61 | -238.99 | -4138.07   | -143.27     | 0.82        | -210.31     | 0.88        | -3914.38 | 0.95    |      |
|                         | <b>ortalama</b>  |                 |         |         |         |            |             | <b>0.85</b> | <b>0.85</b> | <b>1.20</b> |          |         |      |
|                         |                  |                 |         |         |         |            |             |             |             | <b>0.93</b> |          |         |      |
|                         | sürekli kolonlar | S1711           | max     | i       | 57.63   | 43.42      | -391.22     | 49.71       | 0.86        | 36.18       | 0.83     | -489.65 | 1.25 |
|                         |                  |                 |         | j       | 57.63   | 35.09      | -380.81     | 49.71       | 0.86        | 29.74       | 0.85     | -479.24 | 1.26 |
| min                     |                  |                 | i       | -35.48  | -30.73  | -1684.25   | -30.57      | 0.86        | -26.81      | 0.87        | -1551.47 | 0.92    |      |
|                         |                  |                 | j       | -35.48  | -63.38  | -1672.69   | -30.57      | 0.86        | -55.78      | 0.88        | -1539.90 | 0.92    |      |
| S1712                   |                  | max             | i       | 56.83   | 28.63   | -725.51    | 50.55       | 0.89        | 21.50       | 0.75        | -779.14  | 1.07    |      |
|                         |                  |                 | j       | 56.83   | 15.76   | -711.98    | 50.55       | 0.89        | 10.98       | 0.70        | -765.61  | 1.08    |      |
|                         |                  | min             | i       | -21.57  | -25.23  | -2072.07   | -17.71      | 0.82        | -21.78      | 0.86        | -1988.54 | 0.96    |      |
|                         |                  |                 | j       | -21.57  | -77.58  | -2057.04   | -17.71      | 0.82        | -72.22      | 0.93        | -1973.51 | 0.96    |      |
| S1713                   |                  | max             | i       | 59.31   | 30.28   | -352.59    | 50.58       | 0.85        | 23.03       | 0.76        | -448.35  | 1.27    |      |
|                         |                  |                 | j       | 59.31   | 58.39   | -339.06    | 50.58       | 0.85        | 50.50       | 0.86        | -434.82  | 1.28    |      |
|                         |                  | min             | i       | -43.55  | -23.34  | -2113.06   | -37.92      | 0.87        | -19.64      | 0.84        | -1957.38 | 0.93    |      |
|                         |                  |                 | j       | -43.55  | -80.61  | -2098.03   | -37.92      | 0.87        | -70.59      | 0.88        | -1942.35 | 0.93    |      |
| <b>ortalama</b>         |                  |                 |         |         |         |            | <b>0.86</b> | <b>0.83</b> | <b>1.20</b> |             |          |         |      |
|                         |                  |                 |         |         |         |            |             |             | <b>0.94</b> |             |          |         |      |

**Çizelge B.23 :** TH11 analizi için kritik kesitlerdeki iç kuvvet karşılaştırmaları.

|                         |                 |         | Mod Birleştirme |          |          | TH11        |             |             |             |          |             |             |
|-------------------------|-----------------|---------|-----------------|----------|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------|-------------|-------------|
|                         |                 |         | V (kN)          | M (kNm)  | N (kN)   | V (kN)      | $\alpha_V$  | M (kNm)     | $\alpha_M$  | N (kN)   | $\alpha_N$  |             |
| kiriş                   | K1615           | max     | i               | 64.47    | 180.01   | -           | 21.50       | 0.33        | 87.68       | 0.49     | -           | -           |
|                         |                 |         | j               | 129.33   | 185.02   | -           | 86.36       | 0.67        | 96.88       | 0.52     | -           | -           |
|                         | min             | i       | -146.80         | -256.15  | -        | -102.89     | 0.70        | -162.03     | 0.63        | -        | -           |             |
|                         |                 | j       | -73.36          | -200.53  | -        | -29.44      | 0.40        | -114.54     | 0.57        | -        | -           |             |
|                         | K1617           | max     | i               | 125.62   | 336.21   | -           | 42.89       | 0.34        | 159.57      | 0.47     | -           | -           |
|                         |                 |         | j               | 238.04   | 432.41   | -           | 155.32      | 0.65        | 237.03      | 0.55     | -           | -           |
| min                     | i               | -277.11 | -484.64         | -        | -196.86  | 0.71        | -313.27     | 0.65        | -           | -        |             |             |
|                         | j               | -147.84 | -471.22         | -        | -67.59   | 0.46        | -269.39     | 0.57        | -           | -        |             |             |
| <b>ortalama</b>         |                 |         |                 |          |          | <b>0.53</b> |             | <b>0.56</b> |             |          | -           |             |
| mesnetlik eden kolonlar | S1601           | max     | i               | 78.98    | 82.67    | -603.79     | 36.20       | 0.46        | 45.82       | 0.55     | -925.88     | 1.53        |
|                         |                 |         | j               | 78.98    | 87.48    | -581.73     | 36.20       | 0.46        | 53.49       | 0.61     | -903.81     | 1.55        |
|                         | min             | i       | -118.31         | -123.42  | -2593.74 | -73.27      | 0.62        | -85.96      | 0.70        | -2455.29 | 0.95        |             |
|                         |                 | j       | -118.31         | -58.42   | -2569.22 | -73.27      | 0.62        | -24.47      | 0.42        | -2430.77 | 0.95        |             |
|                         | S1602           | max     | i               | 176.20   | 164.51   | -1052.36    | 79.71       | 0.45        | 74.86       | 0.46     | -1327.14    | 1.26        |
|                         |                 |         | j               | 176.20   | 238.14   | -1016.71    | 79.71       | 0.45        | 157.07      | 0.66     | -1291.50    | 1.27        |
|                         | min             | i       | -276.25         | -254.59  | -4170.66 | -182.97     | 0.66        | -190.37     | 0.75        | -4029.78 | 0.97        |             |
|                         |                 | j       | -276.25         | -150.62  | -4131.06 | -182.97     | 0.66        | -66.62      | 0.44        | -3990.17 | 0.97        |             |
|                         | <b>ortalama</b> |         |                 |          |          |             | <b>0.55</b> |             | <b>0.57</b> |          |             | <b>1.40</b> |
|                         |                 |         |                 |          |          |             |             |             |             |          |             | <b>0.96</b> |
| sürekli kolonlar        | S1701           | max     | i               | 35.58    | 30.81    | -389.94     | 19.47       | 0.55        | 19.93       | 0.65     | -580.59     | 1.49        |
|                         |                 |         | j               | 35.58    | 63.11    | -379.53     | 19.47       | 0.55        | 44.19       | 0.70     | -570.18     | 1.50        |
|                         | min             | i       | -57.36          | -43.18   | -1681.77 | -41.98      | 0.73        | -33.48      | 0.78        | -1610.08 | 0.96        |             |
|                         |                 | j       | -57.36          | -35.20   | -1670.20 | -41.98      | 0.73        | -16.09      | 0.46        | -1598.52 | 0.96        |             |
|                         | S1702           | max     | i               | 21.68    | 25.33    | -724.24     | 7.84        | 0.36        | 19.31       | 0.76     | -803.62     | 1.11        |
|                         |                 |         | j               | 21.68    | 77.41    | -710.72     | 7.84        | 0.36        | 61.18       | 0.79     | -790.09     | 1.11        |
|                         | min             | i       | -56.66          | -28.49   | -2069.68 | -45.82      | 0.81        | -25.22      | 0.89        | -2048.24 | 0.99        |             |
|                         |                 | j       | -56.66          | -15.86   | -2054.64 | -45.82      | 0.81        | -           | -           | -2033.21 | 0.99        |             |
|                         | S1703           | max     | i               | 43.70    | 23.43    | -350.39     | 22.11       | 0.51        | 17.27       | 0.74     | -521.83     | 1.49        |
|                         |                 |         | j               | 43.70    | 80.28    | -336.86     | 22.11       | 0.51        | 50.89       | 0.63     | -508.30     | 1.51        |
| min                     | i               | -59.05  | -30.13          | -2108.78 | -41.52   | 0.70        | -26.98      | 0.90        | -2035.11    | 0.97     |             |             |
|                         | j               | -59.05  | -58.58          | -2093.75 | -41.52   | 0.70        | -28.99      | 0.49        | -2020.08    | 0.96     |             |             |
| <b>ortalama</b>         |                 |         |                 |          |          | <b>0.61</b> |             | <b>0.71</b> |             |          | <b>1.37</b> |             |
|                         |                 |         |                 |          |          |             |             |             |             |          | <b>0.97</b> |             |

**Çizelge B.24 :** TH11 analizi için kritik kesitlerdeki iç kuvvet karşılaştırmaları.

|                         |                  | Mod Birleştirme |         |         | TH11    |            |             |             |             |             |             |             |      |
|-------------------------|------------------|-----------------|---------|---------|---------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------|
|                         |                  | V (kN)          | M (kNm) | N (kN)  | V (kN)  | $\alpha_V$ | M (kNm)     | $\alpha_M$  | N (kN)      | $\alpha_N$  |             |             |      |
| kiriş                   | K1613            | max             | i       | 64.22   | 179.48  | -          | 23.31       | 0.36        | 91.69       | 0.51        | -           | -           |      |
|                         |                  |                 | j       | 128.86  | 186.09  | -          | 87.95       | 0.68        | 99.23       | 0.53        | -           | -           |      |
|                         |                  | min             | i       | -147.34 | -257.32 | -          | -103.78     | 0.70        | -163.40     | 0.64        | -           | -           |      |
|                         |                  |                 | j       | -73.66  | -200.05 | -          | -30.10      | 0.41        | -118.06     | 0.59        | -           | -           |      |
|                         | K1616            | max             | i       | 125.09  | 335.11  | -          | 25.62       | 0.20        | 122.57      | 0.37        | -           | -           |      |
|                         |                  |                 | j       | 237.08  | 433.66  | -          | 137.61      | 0.58        | 230.32      | 0.53        | -           | -           |      |
|                         |                  | min             | i       | -278.05 | -486.59 | -          | -194.55     | 0.70        | -307.94     | 0.63        | -           | -           |      |
|                         |                  |                 | j       | -148.34 | -468.84 | -          | -64.85      | 0.44        | -226.30     | 0.48        | -           | -           |      |
| <b>ortalama</b>         |                  |                 |         |         |         |            | <b>0.51</b> | <b>0.54</b> |             |             |             |             |      |
| mesnetlik eden kolonlar | S1609            | max             | i       | 118.82  | 123.96  | -605.61    | 76.44       | 0.64        | 84.05       | 0.68        | -912.85     | 1.51        |      |
|                         |                  |                 | j       | 118.82  | 58.27   | -583.54    | 76.44       | 0.64        | 26.77       | 0.46        | -890.78     | 1.53        |      |
|                         |                  | min             | i       | -78.74  | -82.38  | -2597.41   | -36.70      | 0.47        | -47.59      | 0.58        | -2392.12    | 0.92        |      |
|                         |                  |                 | j       | -78.74  | -87.83  | -2572.89   | -36.70      | 0.47        | -55.98      | 0.64        | -2367.61    | 0.92        |      |
|                         | S1610            | max             | i       | 277.34  | 255.67  | -1056.00   | 181.15      | 0.65        | 187.66      | 0.73        | -1358.53    | 1.29        |      |
|                         |                  |                 | j       | 277.34  | 150.14  | -1020.36   | 181.15      | 0.65        | 41.84       | 0.28        | -1322.89    | 1.30        |      |
|                         |                  | min             | i       | -175.61 | -163.95 | -4177.67   | -59.26      | 0.34        | -76.30      | 0.47        | -3905.64    | 0.93        |      |
|                         |                  |                 | j       | -175.61 | -238.99 | -4138.07   | -59.26      | 0.34        | -146.86     | 0.61        | -3866.04    | 0.93        |      |
|                         | <b>ortalama</b>  |                 |         |         |         |            |             | <b>0.53</b> | <b>0.56</b> |             | <b>1.40</b> | <b>0.93</b> |      |
|                         | sürekli kolonlar | S1711           | max     | i       | 57.63   | 43.42      | -391.22     | 40.34       | 0.70        | 31.71       | 0.73        | -562.12     | 1.44 |
|                         |                  |                 |         | j       | 57.63   | 35.09      | -380.81     | 40.34       | 0.70        | 17.23       | 0.49        | -551.72     | 1.45 |
|                         |                  |                 | min     | i       | -35.48  | -30.73     | -1684.25    | -21.03      | 0.59        | -21.68      | 0.71        | -1563.55    | 0.93 |
| j                       |                  |                 |         | -35.48  | -63.38  | -1672.69   | -21.03      | 0.59        | -42.92      | 0.68        | -1551.99    | 0.93        |      |
| S1712                   |                  | max             | i       | 56.83   | 28.63   | -725.51    | 44.85       | 0.79        | 23.72       | 0.83        | -815.89     | 1.12        |      |
|                         |                  |                 | j       | 56.83   | 15.76   | -711.98    | 44.85       | 0.79        | -           | -           | -802.36     | 1.13        |      |
|                         |                  | min             | i       | -21.57  | -25.23  | -2072.07   | -8.89       | 0.41        | -20.94      | 0.83        | -2000.89    | 0.97        |      |
|                         |                  |                 | j       | -21.57  | -77.58  | -2057.04   | -8.89       | 0.41        | -60.37      | 0.78        | -1985.86    | 0.97        |      |
| S1713                   |                  | max             | i       | 59.31   | 30.28   | -352.59    | 40.71       | 0.69        | 25.81       | 0.85        | -529.80     | 1.50        |      |
|                         |                  |                 | j       | 59.31   | 58.39   | -339.06    | 40.71       | 0.69        | 25.23       | 0.43        | -516.27     | 1.52        |      |
|                         |                  | min             | i       | -43.55  | -23.34  | -2113.06   | -23.51      | 0.54        | -18.54      | 0.79        | -1967.79    | 0.93        |      |
|                         |                  |                 | j       | -43.55  | -80.61  | -2098.03   | -23.51      | 0.54        | -50.08      | 0.62        | -1952.76    | 0.93        |      |
| <b>ortalama</b>         |                  |                 |         |         |         |            | <b>0.62</b> | <b>0.70</b> |             | <b>1.36</b> | <b>0.94</b> |             |      |

**Çizelge B.25 :** TH12 analizi için kritik kesitlerdeki iç kuvvet karşılaştırmaları.

|                         |                 |     | Mod Birleştirme |         |         | TH12        |             |             |             |             |             |      |
|-------------------------|-----------------|-----|-----------------|---------|---------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------|
|                         |                 |     | V (kN)          | M (kNm) | N (kN)  | V (kN)      | $\alpha_V$  | M (kNm)     | $\alpha_M$  | N (kN)      | $\alpha_N$  |      |
| kiriş                   | K1615           | max | i               | 64.47   | 180.01  | -           | 14.55       | 0.23        | 72.50       | 0.40        | -           | -    |
|                         |                 |     | j               | 129.33  | 185.02  | -           | 79.41       | 0.61        | 119.50      | 0.65        | -           | -    |
|                         |                 | min | i               | -146.80 | -256.15 | -           | -113.88     | 0.78        | -185.05     | 0.72        | -           | -    |
|                         |                 |     | j               | -73.36  | -200.53 | -           | -40.44      | 0.55        | -100.87     | 0.50        | -           | -    |
|                         | K1617           | max | i               | 125.62  | 336.21  | -           | 24.29       | 0.19        | 119.63      | 0.36        | -           | -    |
|                         |                 |     | j               | 238.04  | 432.41  | -           | 136.72      | 0.57        | 224.87      | 0.52        | -           | -    |
|                         |                 | min | i               | -277.11 | -484.64 | -           | -192.08     | 0.69        | -303.16     | 0.63        | -           | -    |
|                         |                 |     | j               | -147.84 | -471.22 | -           | -62.81      | 0.42        | -224.24     | 0.48        | -           | -    |
| <b>ortalama</b>         |                 |     |                 |         |         | <b>0.51</b> |             | <b>0.53</b> |             | -           |             |      |
| mesnetlik eden kolonlar | S1601           | max | i               | 78.98   | 82.67   | -603.79     | 29.98       | 0.38        | 33.31       | 0.40        | -955.84     | 1.58 |
|                         |                 |     | j               | 78.98   | 87.48   | -581.73     | 29.98       | 0.38        | 66.01       | 0.75        | -933.78     | 1.61 |
|                         |                 | min | i               | -118.31 | -123.42 | -2593.74    | -86.87      | 0.73        | -88.18      | 0.71        | -2294.20    | 0.88 |
|                         |                 |     | j               | -118.31 | -58.42  | -2569.22    | -86.87      | 0.73        | -20.57      | 0.35        | -2269.69    | 0.88 |
|                         | S1602           | max | i               | 176.20  | 164.51  | -1052.36    | 57.52       | 0.33        | 60.60       | 0.37        | -1505.42    | 1.43 |
|                         |                 |     | j               | 176.20  | 238.14  | -1016.71    | 57.52       | 0.33        | 153.52      | 0.64        | -1469.77    | 1.45 |
|                         |                 | min | i               | -276.25 | -254.59 | -4170.66    | -176.42     | 0.64        | -168.90     | 0.66        | -3799.71    | 0.91 |
|                         |                 |     | j               | -276.25 | -150.62 | -4131.06    | -176.42     | 0.64        | -41.49      | 0.28        | -3760.10    | 0.91 |
|                         | <b>ortalama</b> |     |                 |         |         |             | <b>0.52</b> |             | <b>0.52</b> |             | <b>1.52</b> |      |
|                         |                 |     |                 |         |         |             |             |             |             |             | <b>0.90</b> |      |
| sürekli kolonlar        | S1701           | max | i               | 35.58   | 30.81   | -389.94     | 13.95       | 0.39        | 13.93       | 0.45        | -604.94     | 1.55 |
|                         |                 |     | j               | 35.58   | 63.11   | -379.53     | 13.95       | 0.39        | 47.18       | 0.75        | -594.54     | 1.57 |
|                         |                 | min | i               | -57.36  | -43.18  | -1681.77    | -41.31      | 0.72        | -29.89      | 0.69        | -1500.97    | 0.89 |
|                         |                 |     | j               | -57.36  | -35.20  | -1670.20    | -41.31      | 0.72        | -12.01      | 0.34        | -1489.41    | 0.89 |
|                         | S1702           | max | i               | 21.68   | 25.33   | -724.24     | 4.98        | 0.23        | 13.62       | 0.54        | -872.33     | 1.20 |
|                         |                 |     | j               | 21.68   | 77.41   | -710.72     | 4.98        | 0.23        | 62.66       | 0.81        | -858.80     | 1.21 |
|                         |                 | min | i               | -56.66  | -28.49  | -2069.68    | -42.64      | 0.75        | -20.78      | 0.73        | -1945.48    | 0.94 |
|                         |                 |     | j               | -56.66  | -15.86  | -2054.64    | -42.64      | 0.75        | 4.02        | -           | -1930.44    | 0.94 |
|                         | S1703           | max | i               | 43.70   | 23.43   | -350.39     | 18.70       | 0.43        | 11.52       | 0.49        | -629.82     | 1.80 |
|                         |                 |     | j               | 43.70   | 80.28   | -336.86     | 18.70       | 0.43        | 54.60       | 0.68        | -616.29     | 1.83 |
|                         |                 | min | i               | -59.05  | -30.13  | -2108.78    | -38.29      | 0.65        | -22.45      | 0.75        | -1897.66    | 0.90 |
|                         |                 |     | j               | -59.05  | -58.58  | -2093.75    | -38.29      | 0.65        | -23.13      | 0.39        | -1882.63    | 0.90 |
| <b>ortalama</b>         |                 |     |                 |         |         | <b>0.53</b> |             | <b>0.60</b> |             | <b>1.53</b> |             |      |
|                         |                 |     |                 |         |         |             |             |             |             | <b>0.91</b> |             |      |

**Çizelge B.26 :** TH12 analizi için kritik kesitlerdeki iç kuvvet karşılaştırmaları.

|                         |                  | Mod Birleştirme |         |         | TH12    |             |             |             |         |             |             |             |      |
|-------------------------|------------------|-----------------|---------|---------|---------|-------------|-------------|-------------|---------|-------------|-------------|-------------|------|
|                         |                  | V (kN)          | M (kNm) | N (kN)  | V (kN)  | $\alpha_V$  | M (kNm)     | $\alpha_M$  | N (kN)  | $\alpha_N$  |             |             |      |
| kiriş                   | K1613            | max             | i       | 64.22   | 179.48  | -           | 27.46       | 0.43        | 100.29  | 0.56        | -           | -           |      |
|                         |                  |                 | j       | 128.86  | 186.09  | -           | 92.09       | 0.71        | 85.21   | 0.46        | -           | -           |      |
|                         |                  | min             | i       | -147.34 | -257.32 | -           | -96.82      | 0.66        | -148.59 | 0.58        | -           | -           |      |
|                         |                  |                 | j       | -73.66  | -200.05 | -           | -23.14      | 0.31        | -126.67 | 0.63        | -           | -           |      |
|                         | K1616            | max             | i       | 125.09  | 335.11  | -           | 62.97       | 0.50        | 202.71  | 0.60        | -           | -           |      |
|                         |                  |                 | j       | 237.08  | 433.66  | -           | 174.96      | 0.74        | 188.63  | 0.43        | -           | -           |      |
|                         |                  | min             | i       | -278.05 | -486.59 | -           | -177.61     | 0.64        | -272.10 | 0.56        | -           | -           |      |
|                         |                  |                 | j       | -148.34 | -468.84 | -           | -47.90      | 0.32        | -317.01 | 0.68        | -           | -           |      |
| <b>ortalama</b>         |                  |                 |         |         |         | <b>0.54</b> | <b>0.56</b> |             |         |             |             |             |      |
| mesnetlik eden kolonlar | S1609            | max             | i       | 118.82  | 123.96  | -605.61     | 69.30       | 0.58        | 74.59   | 0.60        | -881.73     | 1.46        |      |
|                         |                  |                 | j       | 118.82  | 58.27   | -583.54     | 69.30       | 0.58        | 34.09   | 0.59        | -859.67     | 1.47        |      |
|                         |                  | min             | i       | -78.74  | -82.38  | -2597.41    | -43.86      | 0.56        | -43.77  | 0.53        | -2238.85    | 0.86        |      |
|                         |                  |                 | j       | -78.74  | -87.83  | -2572.89    | -43.86      | 0.56        | -49.31  | 0.56        | -2214.33    | 0.86        |      |
|                         | S1610            | max             | i       | 277.34  | 255.67  | -1056.00    | 159.87      | 0.58        | 150.78  | 0.59        | -1388.33    | 1.31        |      |
|                         |                  |                 | j       | 277.34  | 150.14  | -1020.36    | 159.87      | 0.58        | 92.68   | 0.62        | -1352.68    | 1.33        |      |
|                         |                  | min             | i       | -175.61 | -163.95 | -4177.67    | -102.71     | 0.58        | -89.63  | 0.55        | -3679.73    | 0.88        |      |
|                         |                  |                 | j       | -175.61 | -238.99 | -4138.07    | -102.71     | 0.58        | -133.78 | 0.56        | -3640.12    | 0.88        |      |
|                         | <b>ortalama</b>  |                 |         |         |         |             | <b>0.58</b> | <b>0.57</b> |         |             | <b>1.39</b> |             |      |
|                         |                  |                 |         |         |         |             |             |             |         |             |             | <b>0.87</b> |      |
|                         | sürekli kolonlar | S1711           | max     | i       | 57.63   | 43.42       | -391.22     | 35.95       | 0.62    | 26.51       | 0.61        | -576.33     | 1.47 |
|                         |                  |                 |         | j       | 57.63   | 35.09       | -380.81     | 35.95       | 0.62    | 17.69       | 0.50        | -565.93     | 1.49 |
| min                     |                  |                 | i       | -35.48  | -30.73  | -1684.25    | -18.15      | 0.51        | -17.84  | 0.58        | -1462.54    | 0.87        |      |
|                         |                  |                 | j       | -35.48  | -63.38  | -1672.69    | -18.15      | 0.51        | -39.99  | 0.63        | -1450.98    | 0.87        |      |
| S1712                   |                  | max             | i       | 56.83   | 28.63   | -725.51     | 39.82       | 0.70        | 17.54   | 0.61        | -825.07     | 1.14        |      |
|                         |                  |                 | j       | 56.83   | 15.76   | -711.98     | 39.82       | 0.70        | 3.74    | 0.24        | -811.54     | 1.14        |      |
|                         |                  | min             | i       | -21.57  | -25.23  | -2072.07    | -9.05       | 0.42        | -17.02  | 0.67        | -1908.34    | 0.92        |      |
|                         |                  |                 | j       | -21.57  | -77.58  | -2057.04    | -9.05       | 0.42        | -57.93  | 0.75        | -1893.30    | 0.92        |      |
| S1713                   |                  | max             | i       | 59.31   | 30.28   | -352.59     | 34.13       | 0.58        | 19.34   | 0.64        | -557.51     | 1.58        |      |
|                         |                  |                 | j       | 59.31   | 58.39   | -339.06     | 34.13       | 0.58        | 36.05   | 0.62        | -543.98     | 1.60        |      |
|                         |                  | min             | i       | -43.55  | -23.34  | -2113.06    | -25.60      | 0.59        | -14.86  | 0.64        | -1825.08    | 0.86        |      |
|                         |                  |                 | j       | -43.55  | -80.61  | -2098.03    | -25.60      | 0.59        | -45.67  | 0.57        | -1810.05    | 0.86        |      |
| <b>ortalama</b>         |                  |                 |         |         |         | <b>0.57</b> | <b>0.59</b> |             |         | <b>1.40</b> |             |             |      |
|                         |                  |                 |         |         |         |             |             |             |         |             | <b>0.88</b> |             |      |

**Çizelge B.27 :** TH13 analizi için kritik kesitlerdeki iç kuvvet karşılaştırmaları.

|                         |                 | Mod Birleştirme |         |         | TH13        |             |         |             |             |             |             |      |
|-------------------------|-----------------|-----------------|---------|---------|-------------|-------------|---------|-------------|-------------|-------------|-------------|------|
|                         |                 | V (kN)          | M (kNm) | N (kN)  | V (kN)      | $\alpha_V$  | M (kNm) | $\alpha_M$  | N (kN)      | $\alpha_N$  |             |      |
| kiriş                   | K1615           | max             | i       | 64.47   | 180.01      | -           | 50.07   | 0.78        | 149.03      | 0.83        | -           | -    |
|                         |                 |                 | j       | 129.33  | 185.02      | -           | 114.94  | 0.89        | 171.00      | 0.92        | -           | -    |
|                         | min             | i               | -146.80 | -256.15 | -           | -139.83     | 0.95    | -241.24     | 0.94        | -           | -           |      |
|                         |                 | j               | -73.36  | -200.53 | -           | -66.39      | 0.90    | -171.77     | 0.86        | -           | -           |      |
|                         | K1617           | max             | i       | 125.62  | 336.21      | -           | 92.66   | 0.74        | 266.08      | 0.79        | -           | -    |
|                         |                 |                 | j       | 238.04  | 432.41      | -           | 205.09  | 0.86        | 364.63      | 0.84        | -           | -    |
| min                     | i               | -277.11         | -484.64 | -       | -249.37     | 0.90        | -425.51 | 0.88        | -           | -           |             |      |
|                         | j               | -147.84         | -471.22 | -       | -120.10     | 0.81        | -390.59 | 0.83        | -           | -           |             |      |
| <b>ortalama</b>         |                 |                 |         |         | <b>0.85</b> |             |         | <b>0.86</b> |             | <b>-</b>    |             |      |
| mesnetlik eden kolonlar | S1601           | max             | i       | 78.98   | 82.67       | -603.79     | 65.74   | 0.83        | 66.56       | 0.81        | -835.15     | 1.38 |
|                         |                 |                 | j       | 78.98   | 87.48       | -581.73     | 65.74   | 0.83        | 82.22       | 0.94        | -813.08     | 1.40 |
|                         | min             | i               | -118.31 | -123.42 | -2593.74    | -111.78     | 0.94    | -116.18     | 0.94        | -2366.67    | 0.91        |      |
|                         |                 | j               | -118.31 | -58.42  | -2569.22    | -111.78     | 0.94    | -50.12      | 0.86        | -2342.16    | 0.91        |      |
|                         | S1602           | max             | i       | 176.20  | 164.51      | -1052.36    | 137.05  | 0.78        | 122.33      | 0.74        | -1305.61    | 1.24 |
|                         |                 |                 | j       | 176.20  | 238.14      | -1016.71    | 137.05  | 0.78        | 208.62      | 0.88        | -1269.97    | 1.25 |
|                         | min             | i               | -276.25 | -254.59 | -4170.66    | -243.10     | 0.88    | -222.88     | 0.88        | -4016.81    | 0.96        |      |
|                         |                 | j               | -276.25 | -150.62 | -4131.06    | -243.10     | 0.88    | -120.93     | 0.80        | -3977.21    | 0.96        |      |
|                         | <b>ortalama</b> |                 |         |         |             | <b>0.86</b> |         |             | <b>0.86</b> |             | <b>1.32</b> |      |
|                         |                 |                 |         |         |             |             |         |             |             |             | <b>0.94</b> |      |
| sürekli kolonlar        | S1701           | max             | i       | 35.58   | 30.81       | -389.94     | 28.35   | 0.80        | 24.10       | 0.78        | -541.01     | 1.39 |
|                         |                 |                 | j       | 35.58   | 63.11       | -379.53     | 28.35   | 0.80        | 59.95       | 0.95        | -530.61     | 1.40 |
|                         | min             | i               | -57.36  | -43.18  | -1681.77    | -54.17      | 0.94    | -40.26      | 0.93        | -1541.92    | 0.92        |      |
|                         |                 | j               | -57.36  | -35.20  | -1670.20    | -54.17      | 0.94    | -28.34      | 0.81        | -1530.36    | 0.92        |      |
|                         | S1702           | max             | i       | 21.68   | 25.33       | -724.24     | 15.69   | 0.72        | 18.44       | 0.73        | -825.51     | 1.14 |
|                         |                 |                 | j       | 21.68   | 77.41       | -710.72     | 15.69   | 0.72        | 73.56       | 0.95        | -811.98     | 1.14 |
|                         | min             | i               | -56.66  | -28.49  | -2069.68    | -53.07      | 0.94    | -24.63      | 0.86        | -2003.46    | 0.97        |      |
|                         |                 | j               | -56.66  | -15.86  | -2054.64    | -53.07      | 0.94    | -10.71      | 0.68        | -1988.43    | 0.97        |      |
|                         | S1703           | max             | i       | 43.70   | 23.43       | -350.39     | 35.46   | 0.81        | 16.31       | 0.70        | -520.44     | 1.49 |
|                         |                 |                 | j       | 43.70   | 80.28       | -336.86     | 35.46   | 0.81        | 74.27       | 0.93        | -506.91     | 1.50 |
|                         | min             | i               | -59.05  | -30.13  | -2108.78    | -54.09      | 0.92    | -25.81      | 0.86        | -1997.13    | 0.95        |      |
|                         |                 | j               | -59.05  | -58.58  | -2093.75    | -54.09      | 0.92    | -49.40      | 0.84        | -1982.10    | 0.95        |      |
| <b>ortalama</b>         |                 |                 |         |         | <b>0.85</b> |             |         | <b>0.83</b> |             | <b>1.34</b> |             |      |
|                         |                 |                 |         |         |             |             |         |             |             | <b>0.94</b> |             |      |

**Çizelge B.28 :** TH13 analizi için kritik kesitlerdeki iç kuvvet karşılaştırmaları.

|                         |                  | Mod Birleştirme |         |         | TH13    |            |             |             |             |             |          |         |      |
|-------------------------|------------------|-----------------|---------|---------|---------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------|---------|------|
|                         |                  | V (kN)          | M (kNm) | N (kN)  | V (kN)  | $\alpha_V$ | M (kNm)     | $\alpha_M$  | N (kN)      | $\alpha_N$  |          |         |      |
| kiriş                   | K1613            | max             | i       | 64.22   | 179.48  | -          | 57.03       | 0.89        | 164.10      | 0.91        | -        | -       |      |
|                         |                  |                 | j       | 128.86  | 186.09  | -          | 121.66      | 0.94        | 160.25      | 0.86        | -        | -       |      |
|                         |                  | min             | i       | -147.34 | -257.32 | -          | -134.37     | 0.91        | -229.34     | 0.89        | -        | -       |      |
|                         |                  |                 | j       | -73.66  | -200.05 | -          | -60.70      | 0.82        | -185.58     | 0.93        | -        | -       |      |
|                         | K1616            | max             | i       | 125.09  | 335.11  | -          | 99.66       | 0.80        | 280.90      | 0.84        | -        | -       |      |
|                         |                  |                 | j       | 237.08  | 433.66  | -          | 211.65      | 0.89        | 329.33      | 0.76        | -        | -       |      |
|                         |                  | min             | i       | -278.05 | -486.59 | -          | -235.41     | 0.85        | -395.85     | 0.81        | -        | -       |      |
|                         |                  |                 | j       | -148.34 | -468.84 | -          | -105.71     | 0.71        | -406.71     | 0.87        | -        | -       |      |
| <b>ortalama</b>         |                  |                 |         |         |         |            | <b>0.85</b> | <b>0.86</b> | <b>-</b>    |             |          |         |      |
| mesnetlik eden kolonlar | S1609            | max             | i       | 118.82  | 123.96  | -605.61    | 106.87      | 0.90        | 109.14      | 0.88        | -799.12  | 1.32    |      |
|                         |                  |                 | j       | 118.82  | 58.27   | -583.54    | 106.87      | 0.90        | 52.86       | 0.91        | -777.06  | 1.33    |      |
|                         |                  | min             | i       | -78.74  | -82.38  | -2597.41   | -72.03      | 0.91        | -74.99      | 0.91        | -2353.38 | 0.91    |      |
|                         |                  |                 | j       | -78.74  | -87.83  | -2572.89   | -72.03      | 0.91        | -80.55      | 0.92        | -2328.86 | 0.91    |      |
|                         | S1610            | max             | i       | 277.34  | 255.67  | -1056.00   | 226.47      | 0.82        | 203.34      | 0.80        | -1191.89 | 1.13    |      |
|                         |                  |                 | j       | 277.34  | 150.14  | -1020.36   | 226.47      | 0.82        | 123.17      | 0.82        | -1156.25 | 1.13    |      |
|                         |                  | min             | i       | -175.61 | -163.95 | -4177.67   | -145.09     | 0.83        | -134.36     | 0.82        | -3961.32 | 0.95    |      |
|                         |                  |                 | j       | -175.61 | -238.99 | -4138.07   | -145.09     | 0.83        | -198.88     | 0.83        | -3921.71 | 0.95    |      |
|                         | <b>ortalama</b>  |                 |         |         |         |            |             | <b>0.86</b> | <b>0.86</b> | <b>1.23</b> |          |         |      |
|                         | <b>0.93</b>      |                 |         |         |         |            |             |             |             |             |          |         |      |
|                         | sürekli kolonlar | S1711           | max     | i       | 57.63   | 43.42      | -391.22     | 50.84       | 0.88        | 37.02       | 0.85     | -508.39 | 1.30 |
|                         |                  |                 |         | j       | 57.63   | 35.09      | -380.81     | 50.84       | 0.88        | 31.85       | 0.91     | -497.98 | 1.31 |
| min                     |                  |                 | i       | -35.48  | -30.73  | -1684.25   | -32.21      | 0.91        | -27.73      | 0.90        | -1535.72 | 0.91    |      |
|                         |                  |                 | j       | -35.48  | -63.38  | -1672.69   | -32.21      | 0.91        | -57.04      | 0.90        | -1524.15 | 0.91    |      |
| S1712                   |                  | max             | i       | 56.83   | 28.63   | -725.51    | 50.04       | 0.88        | 21.74       | 0.76        | -783.45  | 1.08    |      |
|                         |                  |                 | j       | 56.83   | 15.76   | -711.98    | 50.04       | 0.88        | 12.22       | 0.78        | -769.92  | 1.08    |      |
|                         |                  | min             | i       | -21.57  | -25.23  | -2072.07   | -18.23      | 0.85        | -21.51      | 0.85        | -1994.26 | 0.96    |      |
|                         |                  |                 | j       | -21.57  | -77.58  | -2057.04   | -18.23      | 0.85        | -71.41      | 0.92        | -1979.23 | 0.96    |      |
| S1713                   |                  | max             | i       | 59.31   | 30.28   | -352.59    | 49.93       | 0.84        | 23.15       | 0.76        | -453.78  | 1.29    |      |
|                         |                  |                 | j       | 59.31   | 58.39   | -339.06    | 49.93       | 0.84        | 52.63       | 0.90        | -440.25  | 1.30    |      |
|                         |                  | min             | i       | -43.55  | -23.34  | -2113.06   | -38.82      | 0.89        | -19.19      | 0.82        | -1961.12 | 0.93    |      |
|                         |                  |                 | j       | -43.55  | -80.61  | -2098.03   | -38.82      | 0.89        | -70.04      | 0.87        | -1946.09 | 0.93    |      |
| <b>ortalama</b>         |                  |                 |         |         |         |            | <b>0.87</b> | <b>0.85</b> | <b>1.23</b> |             |          |         |      |
| <b>0.93</b>             |                  |                 |         |         |         |            |             |             |             |             |          |         |      |



**Çizelge B.29 :** TH14 analizi için kritik kesitlerdeki iç kuvvet karşılaştırmaları.

|                         |                 | Mod Birleştirme |         |         | TH14        |             |         |             |             |             |             |      |
|-------------------------|-----------------|-----------------|---------|---------|-------------|-------------|---------|-------------|-------------|-------------|-------------|------|
|                         |                 | V (kN)          | M (kNm) | N (kN)  | V (kN)      | $\alpha_V$  | M (kNm) | $\alpha_M$  | N (kN)      | $\alpha_N$  |             |      |
| kiriş                   | K1615           | max             | i       | 64.47   | 180.01      | -           | 64.47   | 1.00        | 180.04      | 1.00        | -           | -    |
|                         |                 |                 | j       | 129.33  | 185.02      | -           | 129.33  | 1.00        | 140.15      | 0.76        | -           | -    |
|                         | min             | i               | -146.80 | -256.15 | -           | -124.43     | 0.85    | -208.16     | 0.81        | -           | -           |      |
|                         |                 | j               | -73.36  | -200.53 | -           | -50.98      | 0.69    | -200.50     | 1.00        | -           | -           |      |
|                         | K1617           | max             | i       | 125.62  | 336.21      | -           | 115.76  | 0.92        | 315.62      | 0.94        | -           | -    |
|                         |                 |                 | j       | 238.04  | 432.41      | -           | 228.19  | 0.96        | 342.79      | 0.79        | -           | -    |
| min                     | i               | -277.11         | -484.64 | -       | -240.31     | 0.87        | -405.88 | 0.84        | -           | -           |             |      |
|                         | j               | -147.84         | -471.22 | -       | -111.04     | 0.75        | -446.72 | 0.95        | -           | -           |             |      |
| <b>ortalama</b>         |                 |                 |         |         | <b>0.88</b> |             |         | <b>0.89</b> |             | <b>-</b>    |             |      |
| mesnetlik eden kolonlar | S1601           | max             | i       | 78.98   | 82.67       | -603.79     | 79.94   | 1.01        | 81.20       | 0.98        | -764.45     | 1.27 |
|                         |                 |                 | j       | 78.98   | 87.48       | -581.73     | 79.94   | 1.01        | 69.74       | 0.80        | -742.38     | 1.28 |
|                         | min             | i               | -118.31 | -123.42 | -2593.74    | -96.49      | 0.82    | -101.53     | 0.82        | -2466.80    | 0.95        |      |
|                         |                 | j               | -118.31 | -58.42  | -2569.22    | -96.49      | 0.82    | -60.70      | 1.04        | -2442.28    | 0.95        |      |
|                         | S1602           | max             | i       | 176.20  | 164.51      | -1052.36    | 164.28  | 0.93        | 147.39      | 0.90        | -1156.53    | 1.10 |
|                         |                 |                 | j       | 176.20  | 238.14      | -1016.71    | 164.28  | 0.93        | 198.06      | 0.83        | -1120.89    | 1.10 |
|                         | min             | i               | -276.25 | -254.59 | -4170.66    | -233.08     | 0.84    | -215.65     | 0.85        | -3997.90    | 0.96        |      |
|                         |                 | j               | -276.25 | -150.62 | -4131.06    | -233.08     | 0.84    | -144.21     | 0.96        | -3958.30    | 0.96        |      |
|                         | <b>ortalama</b> |                 |         |         |             | <b>0.90</b> |         |             | <b>0.90</b> |             | <b>1.19</b> |      |
|                         |                 |                 |         |         |             |             |         |             |             |             | <b>0.95</b> |      |
| sürekli kolonlar        | S1701           | max             | i       | 35.58   | 30.81       | -389.94     | 34.66   | 0.97        | 29.30       | 0.95        | -490.80     | 1.26 |
|                         |                 |                 | j       | 35.58   | 63.11       | -379.53     | 34.66   | 0.97        | 53.10       | 0.84        | -480.39     | 1.27 |
|                         | min             | i               | -57.36  | -43.18  | -1681.77    | -48.08      | 0.84    | -35.85      | 0.83        | -1598.58    | 0.95        |      |
|                         |                 | j               | -57.36  | -35.20  | -1670.20    | -48.08      | 0.84    | -35.09      | 1.00        | -1587.02    | 0.95        |      |
|                         | S1702           | max             | i       | 21.68   | 25.33       | -724.24     | 20.19   | 0.93        | 23.25       | 0.92        | -775.57     | 1.07 |
|                         |                 |                 | j       | 21.68   | 77.41       | -710.72     | 20.19   | 0.93        | 69.97       | 0.90        | -762.04     | 1.07 |
|                         | min             | i               | -56.66  | -28.49  | -2069.68    | -50.31      | 0.89    | -23.11      | 0.81        | -2012.00    | 0.97        |      |
|                         |                 | j               | -56.66  | -15.86  | -2054.64    | -50.31      | 0.89    | -15.85      | 1.00        | -1996.97    | 0.97        |      |
|                         | S1703           | max             | i       | 43.70   | 23.43       | -350.39     | 42.22   | 0.97        | 20.93       | 0.89        | -424.51     | 1.21 |
|                         |                 |                 | j       | 43.70   | 80.28       | -336.86     | 42.22   | 0.97        | 67.03       | 0.84        | -410.98     | 1.22 |
|                         | min             | i               | -59.05  | -30.13  | -2108.78    | -49.62      | 0.84    | -24.76      | 0.82        | -1998.14    | 0.95        |      |
|                         |                 | j               | -59.05  | -58.58  | -2093.75    | -49.62      | 0.84    | -58.89      | 1.01        | -1983.11    | 0.95        |      |
| <b>ortalama</b>         |                 |                 |         |         | <b>0.91</b> |             |         | <b>0.90</b> |             | <b>1.18</b> |             |      |
|                         |                 |                 |         |         |             |             |         |             |             | <b>0.96</b> |             |      |

**Çizelge B.30 :** TH14 analizi için kritik kesitlerdeki iç kuvvet karşılaştırmaları.

|                         |                  | Mod Birleştirme |         |         | TH14    |            |             |             |             |             |          |         |      |
|-------------------------|------------------|-----------------|---------|---------|---------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------|---------|------|
|                         |                  | V (kN)          | M (kNm) | N (kN)  | V (kN)  | $\alpha_V$ | M (kNm)     | $\alpha_M$  | N (kN)      | $\alpha_N$  |          |         |      |
| kiriş                   | K1613            | max             | i       | 64.22   | 179.48  | -          | 45.45       | 0.71        | 139.07      | 0.77        | -        | -       |      |
|                         |                  |                 | j       | 128.86  | 186.09  | -          | 110.08      | 0.85        | 187.79      | 1.01        | -        | -       |      |
|                         |                  | min             | i       | -147.34 | -257.32 | -          | -148.19     | 1.01        | -259.13     | 1.01        | -        | -       |      |
|                         |                  |                 | j       | -73.66  | -200.05 | -          | -74.51      | 1.01        | -162.54     | 0.81        | -        | -       |      |
|                         | K1616            | max             | i       | 125.09  | 335.11  | -          | 60.68       | 0.49        | 197.57      | 0.59        | -        | -       |      |
|                         |                  |                 | j       | 237.08  | 433.66  | -          | 172.67      | 0.73        | 392.51      | 0.91        | -        | -       |      |
|                         |                  | min             | i       | -278.05 | -486.59 | -          | -261.38     | 0.94        | -451.48     | 0.93        | -        | -       |      |
|                         |                  |                 | j       | -148.34 | -468.84 | -          | -131.67     | 0.89        | -311.68     | 0.66        | -        | -       |      |
| <b>ortalama</b>         |                  |                 |         |         |         |            | <b>0.83</b> | <b>0.84</b> | <b>-</b>    |             |          |         |      |
| mesnetlik eden kolonlar | S1609            | max             | i       | 118.82  | 123.96  | -605.61    | 120.55      | 1.01        | 123.26      | 0.99        | -955.35  | 1.58    |      |
|                         |                  |                 | j       | 118.82  | 58.27   | -583.54    | 120.55      | 1.01        | 43.07       | 0.74        | -933.29  | 1.60    |      |
|                         |                  | min             | i       | -78.74  | -82.38  | -2597.41   | -60.14      | 0.76        | -63.68      | 0.77        | -2392.48 | 0.92    |      |
|                         |                  |                 | j       | -78.74  | -87.83  | -2572.89   | -60.14      | 0.76        | -90.71      | 1.03        | -2367.96 | 0.92    |      |
|                         | S1610            | max             | i       | 277.34  | 255.67  | -1056.00   | 256.90      | 0.93        | 230.61      | 0.90        | -1371.79 | 1.30    |      |
|                         |                  |                 | j       | 277.34  | 150.14  | -1020.36   | 256.90      | 0.93        | 80.36       | 0.54        | -1336.15 | 1.31    |      |
|                         |                  | min             | i       | -175.61 | -163.95 | -4177.67   | -99.01      | 0.56        | -95.38      | 0.58        | -4100.59 | 0.98    |      |
|                         |                  |                 | j       | -175.61 | -238.99 | -4138.07   | -99.01      | 0.56        | -225.39     | 0.94        | -4060.98 | 0.98    |      |
|                         | <b>ortalama</b>  |                 |         |         |         |            |             | <b>0.82</b> | <b>0.81</b> | <b>1.45</b> |          |         |      |
|                         | <b>0.95</b>      |                 |         |         |         |            |             |             |             |             |          |         |      |
|                         | sürekli kolonlar | S1711           | max     | i       | 57.63   | 43.42      | -391.22     | 56.95       | 0.99        | 42.23       | 0.97     | -614.25 | 1.57 |
|                         |                  |                 |         | j       | 57.63   | 35.09      | -380.81     | 56.95       | 0.99        | 26.37       | 0.75     | -603.84 | 1.59 |
| min                     |                  |                 | i       | -35.48  | -30.73  | -1684.25   | -27.33      | 0.77        | -24.19      | 0.79        | -1568.16 | 0.93    |      |
|                         |                  |                 | j       | -35.48  | -63.38  | -1672.69   | -27.33      | 0.77        | -63.55      | 1.00        | -1556.60 | 0.93    |      |
| S1712                   |                  | max             | i       | 56.83   | 28.63   | -725.51    | 54.77       | 0.96        | 26.11       | 0.91        | -849.65  | 1.17    |      |
|                         |                  |                 | j       | 56.83   | 15.76   | -711.98    | 54.77       | 0.96        | 5.21        | 0.33        | -836.12  | 1.17    |      |
|                         |                  | min             | i       | -21.57  | -25.23  | -2072.07   | -12.83      | 0.59        | -18.53      | 0.73        | -2039.52 | 0.98    |      |
|                         |                  |                 | j       | -21.57  | -77.58  | -2057.04   | -12.83      | 0.59        | -76.82      | 0.99        | -2024.49 | 0.98    |      |
| S1713                   |                  | max             | i       | 59.31   | 30.28   | -352.59    | 56.88       | 0.96        | 27.09       | 0.89        | -562.53  | 1.60    |      |
|                         |                  |                 | j       | 59.31   | 58.39   | -339.06    | 56.88       | 0.96        | 41.03       | 0.70        | -549.00  | 1.62    |      |
|                         |                  | min             | i       | -43.55  | -23.34  | -2113.06   | -30.78      | 0.71        | -15.90      | 0.68        | -2042.05 | 0.97    |      |
|                         |                  |                 | j       | -43.55  | -80.61  | -2098.03   | -30.78      | 0.71        | -79.65      | 0.99        | -2027.02 | 0.97    |      |
| <b>ortalama</b>         |                  |                 |         |         |         |            | <b>0.83</b> | <b>0.81</b> | <b>1.45</b> |             |          |         |      |
| <b>0.96</b>             |                  |                 |         |         |         |            |             |             |             |             |          |         |      |

**Çizelge B.31 :** Kritik kesitlerdeki ortalama iç kuvvetlerin karşılaştırmaları.

|                         |                  | Mod Birleştirme |         |         | ortalama    |             |             |             |             |             |          |         |      |
|-------------------------|------------------|-----------------|---------|---------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------|---------|------|
|                         |                  | V (kN)          | M (kNm) | N (kN)  | V (kN)      | $\alpha_V$  | M (kNm)     | $\alpha_M$  | N (kN)      | $\alpha_N$  |          |         |      |
| kiriş                   | K1615            | max             | i       | 64.47   | 180.01      | -           | 43.97       | 0.68        | 135.92      | 0.76        | -        | -       |      |
|                         |                  |                 | j       | 129.33  | 185.02      | -           | 108.84      | 0.84        | 138.57      | 0.75        | -        | -       |      |
|                         |                  | min             | i       | -146.80 | -256.15     | -           | -123.59     | 0.84        | -206.26     | 0.81        | -        | -       |      |
|                         |                  |                 | j       | -73.36  | -200.53     | -           | -50.14      | 0.68        | -159.57     | 0.80        | -        | -       |      |
|                         | K1617            | max             | i       | 125.62  | 336.21      | -           | 77.92       | 0.62        | 234.51      | 0.70        | -        | -       |      |
|                         |                  |                 | j       | 238.04  | 432.41      | -           | 190.35      | 0.80        | 301.57      | 0.70        | -        | -       |      |
|                         |                  | min             | i       | -277.11 | -484.64     | -           | -223.47     | 0.81        | -370.14     | 0.76        | -        | -       |      |
|                         |                  |                 | j       | -147.84 | -471.22     | -           | -94.20      | 0.64        | -354.71     | 0.75        | -        | -       |      |
| <b>ortalama</b>         |                  |                 |         |         | <b>0.74</b> |             | <b>0.75</b> |             | <b>-</b>    |             |          |         |      |
| mesnetlik eden kolonlar | S1601            | max             | i       | 78.98   | 82.67       | -603.79     | 59.33       | 0.75        | 62.07       | 0.75        | -867.21  | 1.44    |      |
|                         |                  |                 | j       | 78.98   | 87.48       | -581.73     | 59.33       | 0.75        | 70.38       | 0.80        | -845.15  | 1.45    |      |
|                         |                  | min             | i       | -118.31 | -123.42     | -2593.74    | -95.59      | 0.81        | -100.84     | 0.82        | -2364.55 | 0.91    |      |
|                         |                  |                 | j       | -118.31 | -58.42      | -2569.22    | -95.59      | 0.81        | -44.31      | 0.76        | -2340.03 | 0.91    |      |
|                         | S1602            | max             | i       | 176.20  | 164.51      | -1052.36    | 119.92      | 0.68        | 109.65      | 0.67        | -1310.00 | 1.24    |      |
|                         |                  |                 | j       | 176.20  | 238.14      | -1016.71    | 119.92      | 0.68        | 182.28      | 0.77        | -1274.35 | 1.25    |      |
|                         |                  | min             | i       | -276.25 | -254.59     | -4170.66    | -213.22     | 0.77        | -200.77     | 0.79        | -3944.57 | 0.95    |      |
|                         |                  |                 | j       | -276.25 | -150.62     | -4131.06    | -213.22     | 0.77        | -103.20     | 0.69        | -3904.97 | 0.95    |      |
|                         | <b>ortalama</b>  |                 |         |         |             | <b>0.75</b> |             | <b>0.75</b> |             | <b>1.35</b> |          |         |      |
|                         |                  |                 |         |         |             |             |             |             |             | <b>0.93</b> |          |         |      |
|                         | sürekli kolonlar | S1701           | max     | i       | 35.58       | 30.81       | -389.94     | 26.42       | 0.74        | 23.25       | 0.75     | -554.23 | 1.42 |
|                         |                  |                 |         | j       | 35.58       | 63.11       | -379.53     | 26.42       | 0.74        | 52.51       | 0.83     | -543.82 | 1.43 |
| min                     |                  |                 | i       | -57.36  | -43.18      | -1681.77    | -47.53      | 0.83        | -35.52      | 0.82        | -1542.52 | 0.92    |      |
|                         |                  |                 | j       | -57.36  | -35.20      | -1670.20    | -47.53      | 0.83        | -25.69      | 0.73        | -1530.96 | 0.92    |      |
| S1702                   |                  | max             | i       | 21.68   | 25.33       | -724.24     | 13.79       | 0.64        | 18.80       | 0.74        | -816.57  | 1.13    |      |
|                         |                  |                 | j       | 21.68   | 77.41       | -710.72     | 13.79       | 0.64        | 67.80       | 0.88        | -803.04  | 1.13    |      |
|                         |                  | min             | i       | -56.66  | -28.49      | -2069.68    | -48.56      | 0.86        | -22.93      | 0.81        | -1990.94 | 0.96    |      |
|                         |                  |                 | j       | -56.66  | -15.86      | -2054.64    | -48.56      | 0.86        | -11.15      | 0.70        | -1975.91 | 0.96    |      |
| S1703                   |                  | max             | i       | 43.70   | 23.43       | -350.39     | 32.28       | 0.74        | 16.60       | 0.71        | -521.52  | 1.49    |      |
|                         |                  |                 | j       | 43.70   | 80.28       | -336.86     | 32.28       | 0.74        | 63.59       | 0.79        | -507.99  | 1.51    |      |
|                         |                  | min             | i       | -59.05  | -30.13      | -2108.78    | -47.00      | 0.80        | -24.40      | 0.81        | -1965.89 | 0.93    |      |
|                         |                  |                 | j       | -59.05  | -58.58      | -2093.75    | -47.00      | 0.80        | -44.15      | 0.75        | -1950.86 | 0.93    |      |
| <b>ortalama</b>         |                  |                 |         |         | <b>0.77</b> |             | <b>0.78</b> |             | <b>1.35</b> |             |          |         |      |
|                         |                  |                 |         |         |             |             |             |             | <b>0.94</b> |             |          |         |      |

**Çizelge B.32 :** Kritik kesitlerdeki ortalama iç kuvvetlerin karşılaştırmaları.

|                         |                  | Mod Birleştirme |         |         | ortalama |            |             |             |             |             |          |         |      |
|-------------------------|------------------|-----------------|---------|---------|----------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------|---------|------|
|                         |                  | V (kN)          | M (kNm) | N (kN)  | V (kN)   | $\alpha_V$ | M (kNm)     | $\alpha_M$  | N (kN)      | $\alpha_N$  |          |         |      |
| kiriş                   | K1613            | max             | i       | 64.22   | 179.48   | -          | 41.22       | 0.64        | 130.04      | 0.72        | -        | -       |      |
|                         |                  |                 | j       | 128.86  | 186.09   | -          | 105.85      | 0.82        | 145.39      | 0.78        | -        | -       |      |
|                         |                  | min             | i       | -147.34 | -257.32  | -          | -126.95     | 0.86        | -213.39     | 0.83        | -        | -       |      |
|                         |                  |                 | j       | -73.66  | -200.05  | -          | -53.27      | 0.72        | -154.03     | 0.77        | -        | -       |      |
|                         | K1616            | max             | i       | 125.09  | 335.11   | -          | 69.80       | 0.56        | 217.12      | 0.65        | -        | -       |      |
|                         |                  |                 | j       | 237.08  | 433.66   | -          | 181.79      | 0.77        | 313.82      | 0.72        | -        | -       |      |
|                         |                  | min             | i       | -278.05 | -486.59  | -          | -228.98     | 0.82        | -381.94     | 0.78        | -        | -       |      |
|                         |                  |                 | j       | -148.34 | -468.84  | -          | -99.28      | 0.67        | -333.87     | 0.71        | -        | -       |      |
| <b>ortalama</b>         |                  |                 |         |         |          |            | <b>0.73</b> | <b>0.75</b> | <b>-</b>    |             |          |         |      |
| mesnetlik eden kolonlar | S1609            | max             | i       | 118.82  | 123.96   | -605.61    | 99.41       | 0.84        | 103.21      | 0.83        | -872.73  | 1.44    |      |
|                         |                  |                 | j       | 118.82  | 58.27    | -583.54    | 99.41       | 0.84        | 41.27       | 0.71        | -850.67  | 1.46    |      |
|                         |                  | min             | i       | -78.74  | -82.38   | -2597.41   | -56.19      | 0.71        | -60.08      | 0.73        | -2351.58 | 0.91    |      |
|                         |                  |                 | j       | -78.74  | -87.83   | -2572.89   | -56.19      | 0.71        | -74.05      | 0.84        | -2327.06 | 0.90    |      |
|                         | S1610            | max             | i       | 277.34  | 255.67   | -1056.00   | 219.54      | 0.79        | 201.97      | 0.79        | -1315.20 | 1.25    |      |
|                         |                  |                 | j       | 277.34  | 150.14   | -1020.36   | 219.54      | 0.79        | 92.71       | 0.62        | -1279.56 | 1.25    |      |
|                         |                  | min             | i       | -175.61 | -163.95  | -4177.67   | -110.40     | 0.63        | -105.36     | 0.64        | -3933.55 | 0.94    |      |
|                         |                  |                 | j       | -175.61 | -238.99  | -4138.07   | -110.40     | 0.63        | -189.82     | 0.79        | -3893.95 | 0.94    |      |
|                         | <b>ortalama</b>  |                 |         |         |          |            |             | <b>0.74</b> | <b>0.74</b> | <b>1.35</b> |          |         |      |
|                         |                  |                 |         |         |          |            |             |             |             | <b>0.92</b> |          |         |      |
|                         | sürekli kolonlar | S1711           | max     | i       | 57.63    | 43.42      | -391.22     | 48.37       | 0.84        | 35.81       | 0.82     | -557.23 | 1.42 |
|                         |                  |                 |         | j       | 57.63    | 35.09      | -380.81     | 48.37       | 0.84        | 24.58       | 0.70     | -546.82 | 1.44 |
| min                     |                  |                 | i       | -35.48  | -30.73   | -1684.25   | -25.72      | 0.72        | -23.29      | 0.76        | -1533.15 | 0.91    |      |
|                         |                  |                 | j       | -35.48  | -63.38   | -1672.69   | -25.72      | 0.72        | -53.74      | 0.85        | -1521.59 | 0.91    |      |
| S1712                   |                  | max             | i       | 56.83   | 28.63    | -725.51    | 49.05       | 0.86        | 22.32       | 0.78        | -817.84  | 1.13    |      |
|                         |                  |                 | j       | 56.83   | 15.76    | -711.98    | 49.05       | 0.86        | 9.01        | 0.57        | -804.31  | 1.13    |      |
|                         |                  | min             | i       | -21.57  | -25.23   | -2072.07   | -13.19      | 0.61        | -19.33      | 0.77        | -1986.35 | 0.96    |      |
|                         |                  |                 | j       | -21.57  | -77.58   | -2057.04   | -13.19      | 0.61        | -69.18      | 0.89        | -1971.32 | 0.96    |      |
| S1713                   |                  | max             | i       | 59.31   | 30.28    | -352.59    | 48.07       | 0.81        | 23.78       | 0.79        | -520.61  | 1.48    |      |
|                         |                  |                 | j       | 59.31   | 58.39    | -339.06    | 48.07       | 0.81        | 41.34       | 0.71        | -507.08  | 1.50    |      |
|                         |                  | min             | i       | -43.55  | -23.34   | -2113.06   | -31.19      | 0.72        | -17.04      | 0.73        | -1954.20 | 0.92    |      |
|                         |                  |                 | j       | -43.55  | -80.61   | -2098.03   | -31.19      | 0.72        | -65.84      | 0.82        | -1939.17 | 0.92    |      |
| <b>ortalama</b>         |                  |                 |         |         |          |            | <b>0.76</b> | <b>0.77</b> | <b>1.35</b> |             |          |         |      |
|                         |                  |                 |         |         |          |            |             |             | <b>0.93</b> |             |          |         |      |

## ÖZGEÇMİŞ

**Ad Soyad:** Ferhat Uğur BOZAT  
**Doğum Yeri ve Tarihi:** Eskişehir/1988  
**Adres:** Mehmetçik cad. Bülbül sok. 4/3 Şişli/İstanbul  
**E-Posta:** fubozat@hotmail.com  
**Lisans:** Yıldız Teknik Üniversitesi