

**T.C.  
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÖNGERME HALATLI KOMPOZİT KİRİŞLERİN YAPISAL  
DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

**Yusuf ÖZTÜRK**

**Danışman  
Doç. Dr. İlyas Devran ÇELİK**

**DOKTORA TEZİ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
ISPARTA - 2024**

© 2024 [Yusuf ÖZTÜRK]

## İÇİNDEKİLER

|                                                                                                | Sayfa |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| İÇİNDEKİLER .....                                                                              | i     |
| ÖZET.....                                                                                      | iii   |
| ABSTRACT.....                                                                                  | v     |
| TEŞEKKÜR.....                                                                                  | vii   |
| ŞEKİLLER DİZİNİ.....                                                                           | viii  |
| ÇİZELGELER DİZİNİ .....                                                                        | x     |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....                                                           | xi    |
| 1. GİRİŞ .....                                                                                 | 1     |
| 2. YÖNETMELİKLERİN İNCELENMESİ .....                                                           | 3     |
| 2.1. Çelik-Beton Kompozit Kirişleri Oluşturan Elemanların Boyutlandırma<br>Kıstasları .....    | 4     |
| 2.1.1. Kayma çivisi .....                                                                      | 4     |
| 2.1.2. Beton tabliye ve etkin beton tabliye genişliği .....                                    | 6     |
| 2.1.3. Çelik profil kiriş .....                                                                | 7     |
| 2.1.4. Enine donatı .....                                                                      | 12    |
| 2.2. Malzeme Özellikleri .....                                                                 | 12    |
| 2.2.1. Kayma çivisi .....                                                                      | 12    |
| 2.2.2. Beton.....                                                                              | 12    |
| 2.2.3. Yapısal çelik .....                                                                     | 13    |
| 2.2.4. Donatı .....                                                                            | 13    |
| 2.3. Çelik-Beton Kompozit Kirişlerin Yönetmeliklere Göre Tasarım<br>Hesaplamaları .....        | 13    |
| 2.3.1. Eğilmeye göre tasarım .....                                                             | 15    |
| 2.3.1.1. Pozitif moment.....                                                                   | 15    |
| 2.3.1.2. Negatif moment .....                                                                  | 19    |
| 2.3.2. Dikey kesmeye göre tasarım .....                                                        | 20    |
| 2.3.3. Kayma bağlantı elemanlarının dayanımına göre tasarım .....                              | 21    |
| 2.3.4. Boyuna kesme dayanımına göre tasarım .....                                              | 23    |
| 2.3.5. Çelik kiriş alt başlığının yanal burkulma durumuna göre<br>tasarımı .....               | 24    |
| 3. KAYNAK ÖZETLERİ .....                                                                       | 26    |
| 4. MATERYAL VE METOD .....                                                                     | 35    |
| 4.1. Modelleme Teknikleri .....                                                                | 35    |
| 4.1.1. Eleman tipi.....                                                                        | 35    |
| 4.1.2. Bağlantı elemanları.....                                                                | 36    |
| 4.1.2.1. Gömülü eleman .....                                                                   | 37    |
| 4.1.2.2. Sürtünmeli arayüz bağlantısı .....                                                    | 38    |
| 4.1.2.3. Kaynaklı bağlantı .....                                                               | 38    |
| 4.1.3. Malzeme modelleri .....                                                                 | 39    |
| 4.1.4. Ayırıklaştırma, sınır şartları ve yükleme düzeneği.....                                 | 44    |
| 4.2. Sonlu Eleman Modellerinin Doğrulanması .....                                              | 46    |
| 4.2.1. Çelik ve arkadaşları (2020) .....                                                       | 46    |
| 4.2.2. Chen ve Gu (2005) .....                                                                 | 51    |
| 5. ÖNGERME HALATLI ÇELİK-BETON KOMPOZİT KİRİŞLERDE<br>ETKİN PARAMETRELERİN ARAŞTIRILMASI ..... | 53    |

|                                                                                                                                                                    |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.1. Ardgermeli Çelik-Beton Kompozit Kirişlerde Kesme Bağlantı<br>Derecesi ve Başlangıç Ardgerme Oranının İncelenmesi .....                                        | 53  |
| 5.1.1. Öngerme halatlı çelik-beton kompozit kirişlerde kısmi bağlantı<br>derecesi ve halat germe oranının yük-sehim ilişkisine etkisinin<br>değerlendirilmesi..... | 57  |
| 5.2. Ardgermeli Çelik-Beton Kompozit Kirişlerde Donatı Yerleşiminin<br>Yapısal Davranışa Etkisinin İncelenmesi .....                                               | 62  |
| 5.3. Ardgermeli Çelik-Beton Kompozit Kirişlerde Öngerme Halatı<br>Yerleşiminin Yapısal Davranışa Etkisinin İncelenmesi .....                                       | 67  |
| 5.4. Parametrik Modeller.....                                                                                                                                      | 75  |
| 6. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA .....                                                                                                                           | 81  |
| 6.1. Yük-Sehim ve Moment-Sehim Grafiklerinin İncelenmesi .....                                                                                                     | 82  |
| 6.2. Çelik Profil Kirişlerin Yük Taşıma Kapasitesine Etkisinin<br>Değerlendirilmesi .....                                                                          | 89  |
| 6.3. Beton Tabliye Yüksekliğinin Yük Taşıma Kapasitesine Etkisinin<br>Değerlendirilmesi .....                                                                      | 91  |
| 6.4. Öngerme Halatının Yük Taşıma Kapasitesine Etkisinin<br>Değerlendirilmesi .....                                                                                | 92  |
| 6.5. Denklem Önerisi .....                                                                                                                                         | 99  |
| 7. SONUÇ VE ÖNERİLER .....                                                                                                                                         | 103 |
| KAYNAKLAR .....                                                                                                                                                    | 106 |
| EKLER.....                                                                                                                                                         | 112 |
| EK A. Parametrik Sonlu Eleman Modellerinin Analiz Sonuçları.....                                                                                                   | 112 |
| ÖZGEÇMİŞ .....                                                                                                                                                     | 132 |

## ÖZET

### Doktora Tezi

## ÖNGERME HALATLI KOMPOZİT KİRİŞLERİN YAPISAL DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

**Yusuf ÖZTÜRK**

**Süleyman Demirel Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Doç. Dr. İlyas Devran ÇELİK**

Son yıllarda yüksek katlı binalarda ve köprü türü yapılarda ekonomik olmasından dolayı çelik-beton kompozit kirişlerin kullanılması artış göstermiştir. Tasarımcılar tarafından beton basınç dayanımı yüksek çekme dayanımı düşük bir malzeme olarak kabul edilmektedir. Yapısal çeliğin ise çekme ve basınç etkisi altında benzer davranış göstereceği düşünülmektedir. Ancak, basınç etkisi altındaki çelik kirişlerde yerel burkulma problemleri görülebilmektedir. Bu nedenler, tasarımcıları beton ve çelik malzemenin birlikte tasarlandığı kompozit kesitli kirişlere yönlendirmektedir. Kompozit kesitli kirişler, betonarme döşemenin basınç etkisinde yapısal çelik kirişin ise çekme etkisinde çalıştırılması ile betonarme yapılara göre daha hafif yapı tasarımına imkân sağlamaktadırlar. Bu hafiflik sayesinde, daha geniş açıklıklar daha az kiriş yüksekliği ile geçilebilmektedir. Ancak, beton ve çelik gibi iki farklı malzeme kullanılarak oluşturulan kompozit kesitin verimli çalışabilmesi için beton tabliye ve çelik kiriş arasındaki yük aktarımının sağlanması gereklidir. Kompozit kirişlerde beton tabliye ile çelik kiriş arasındaki yük aktarımı kayma çivileri ile sağlanmaktadır. Kiriş boyunca kullanılacak kayma çivisi sayısı kompozit kirişin kesme bağlantı derecesini ve buna bağlı olarak yapısal davranışını değiştirmektedir. Kompozit kirişlerde beton ezilmesi, boyuna kesme, kayma çivisi kopması gibi farklı göçme durumları oluşabilmektedir. Bu göçme durumları tasarım aşamalarında eleman boyutlarının ve malzeme özelliklerinin seçimine göre değişkenlik göstermektedir.

Çelik-beton kompozit kirişler farklı malzemelerin bir arada çalıştırılarak ekonomik kesitler elde edilebilmesine olanak sağlamaktadır. Bu ekonomik kesitlere öngerme halatı eklenerek daha verimli kesitler elde edilebilmektedir. Ancak, zaten birçok elemanın bir araya getirilmesinden dolayı farklı göçme durumlarına sahip olan çelik-beton kompozit kirişlere öngerme halatı eklendiğinde kompozit kirişlerin göçme durumlarında da değişiklikler meydana gelmektedir. Öngerme halatlı çelik-beton kompozit kirişlerin geleneksel çelik-beton kompozit kirişlere kıyasla yapısal davranışındaki bu değişiklikleri belirleyebilmek amacıyla bu tez çalışmasında sonlu eleman analizlerine dayanan detaylı bir çalışma yürütülmüştür. Sonlu eleman modelleri oluşturulurken malzeme hasar parametreleri dikkate alınmıştır ve doğrusal olmayan statik analizler gerçekleştirilmiştir. Sonlu eleman modellerinin oluşturulmasında kullanılan modelleme tekniği, literatürde kabul görmüş 2 adet deneysel çalışma ile doğrulanmıştır.

Doğrulan modelleme tekniği ile öngerme halatlı kompozit kirişlerin yapısal davranışını ve kapasitesini etkileyebilecek etkin boyutsal parametreleri (halat yerleşimi, enine donatı yerleşimi, bağlantı derecesi, ardgerme oranı) belirleyebilmek için sonlu eleman modelleri oluşturulmuştur. Oluşturulan sonlu eleman modelleri 4 noktalı eğilme için analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarında, enine donatılar kayma çivilerinin arkasında konumlandırılırsa boyuna kesme davranışının iyileştirilebileceği bulunmuştur. Açıklık ortasında çekme bölgesine yerleştirilen öngerme halatının beton tabliyede sıkıştırma etkisi oluşturarak beton ezilme hasarını daha erken oluşturduğu tespit edilmiştir. Öngerme halatlı kompozit kirişler için etkin halat yerleşimi, donatı yerleşimi ve bağlantı derecesi belirlenmiştir.

Etkin boyutlar belirlendikten sonra parametrik çalışma için 600 adet sonlu eleman modeli analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarında, malzeme hasar parametreleri detaylı incelenerek göçme durumlarına ait veriler elde edilmiştir. Elde edilen veriler kullanılarak öngerme halatlı kompozit kirişlerin kapasitesini 3 boyutlu modellemeye ihtiyaç duymadan hesaplanabilmesine olanak sağlayan denklem önerisinde bulunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Ardgerme, kompozit kiriş, öngerme halatı, kayma çivisi, sonlu elemanlar metodu

**2024, 133 sayfa**

## **ABSTRACT**

**Ph.D. Thesis**

### **INVESTIGATION OF STRUCTURAL BEHAVIOR OF COMPOSITE BEAMS WITH PRESTRESSING STRAND**

**Yusuf ÖZTÜRK**

**Süleyman Demirel University  
Graduate School Of Natural and Applied Sciences  
Department of Civil Engineering**

**Supervisor: Assoc. Prof. Dr. İlyas Devran ÇELİK**

In recent years, the use of steel-concrete composite beams in high-rise buildings and bridge type structures has increased due to its economic cost. Concrete is considered by designers as a material with high compressive strength and low tensile strength. Structural steel is thought to show similar behavior under tensile and compressive effects. However, local buckling problems can be observed in steel beams under compression. These reasons lead designers to composite section beams where concrete and steel materials are used together in design. Composite section beams allow the design of lighter structures compared to reinforced concrete structures by operating the reinforced concrete slab in compression and the structural steel beam in tension. Thanks to this lightness, wider spans can be crossed with less beam height. However, load transfer between the concrete deck and the steel beam must be ensured in order for the composite section formed by using two different materials such as concrete and steel to work efficiently. In composite beams, the load transfer between the concrete deck and the steel beam is provided by shear nails. The number of shear nails to be used along the beam changes the shear connection degree of the composite beam and accordingly its structural behavior. Different collapse conditions such as concrete crushing, longitudinal shear, shear nail rupture can occur in composite beams. These failure modes vary according to the selection of element dimensions and material properties during the design stages.

Steel-concrete composite beams allow economical sections to be obtained by combining different materials. By adding prestressing strands to these economical sections, more efficient sections can be obtained. However, when prestressing is added to steel-concrete composite beams, which already have different collapse conditions due to the combination of many elements, changes occur in the collapse conditions of the composite beams. In order to determine these changes in the structural behavior of prestressed steel-concrete composite beams compared to conventional steel-concrete composite beams, a detailed study based on finite element analysis was carried out in this thesis. The material damage parameters were considered while constructing the finite element models and nonlinear static analyses were performed. The modeling technique used in the creation of finite element models has been validated with 2 experimental studies accepted in the literature.

With the validated modeling technique, finite element models were created to determine the effective dimensional parameters (rope placement, transverse reinforcement placement, connection degree, post-tensioning ratio) that can affect the structural behavior and capacity of prestressed composite beams. The finite element models were analyzed for 4-point bending. In the analysis results, it was found that the longitudinal shear behavior can be improved if the transverse reinforcement is located behind the shear nails. It was found that the prestressing strand placed in the tension zone in the center of the span created a compression effect on the concrete deck and caused concrete crushing damage earlier. Effective rope placement, reinforcement placement and connection degree were determined for prestressed composite beams.

After determining the effective dimensions, 600 finite element models were analyzed for parametric study. In the analysis results, material damage parameters were analyzed in detail and data on collapse conditions were obtained. Using the obtained data, an equation is proposed to calculate the capacity of prestressed composite beams without the need for 3D modeling.

**Keywords:** Post-tensioning, composite beam, prestressed strand, stud, finite element method

**2024, 133 pages**

## TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan Değerli Danışman Hocam Doç. Dr. İlyas Devran ÇELİK'e teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması için bana fırsat sağlayan YÖK 100/2000 Öncelikli Alanlar Programına teşekkür ederim.

Abaqus programı ile tanışmama vesile olan ve yardımlarını esirgemeyen arkadaşım Dr. Öğretim Üyesi Gökhan Barış SAKCALI'ya teşekkür ederim.

Tez çalışmam sırasında arkadaşlıklarıyla yardımlarını esirgemeyen Kılıç Yasin ARSLAN, Mehmet Erkan EFE, Sena GÜVEN, Gülsüm Beyza YAVUZ, Seher Eda ÖZBAŞ ve Münire FINDIK'a teşekkür ederim.

Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan, destekleriyle her zaman yanımda olan aileme ve eşime sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Yusuf ÖZTÜRK  
ISPARTA, 2024

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|                                                                                                                        | Sayfa |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Şekil 2. 1. Çelik-beton kompozit kirişi oluşturan elemanlar.....                                                       | 3     |
| Şekil 2. 2. Kayma çivilerinin minimum boyutları.....                                                                   | 4     |
| Şekil 2. 3. Kayma çivilerinin yerleşim kuralları .....                                                                 | 6     |
| Şekil 2. 4. Döşeme çeşitleri.....                                                                                      | 6     |
| Şekil 2. 5. Beton tabliye etkin genişliği .....                                                                        | 7     |
| Şekil 2. 6. Tasarım hesaplamaları için kullanılacak kritik kesitler .....                                              | 14    |
| Şekil 2. 7. Plastik tarafsız eksenin beton tabliye içerisinde olması durumu<br>(plastik gerilme dağılımı yöntemi)..... | 16    |
| Şekil 2. 8. Tarafsız eksenin çelik başlıkta olması durumu (plastik gerilme<br>dağılımı yöntemi) .....                  | 17    |
| Şekil 2. 9. Plastik tarafsız eksenin çelik kiriş gövdesinde olma durumu<br>(plastik gerilme dağılımı yöntemi).....     | 18    |
| Şekil 2. 10. Plastik tarafsız eksenin çelik başlıkta olması durumu (plastik<br>gerilme dağılımı yöntemi).....          | 19    |
| Şekil 2. 11. Plastik tarafsız eksenin çelik kiriş gövdesinde olma durumu<br>(plastik gerilme dağılımı yöntemi).....    | 20    |
| Şekil 2. 12. Minimum bağlantı dereceleri .....                                                                         | 22    |
| Şekil 4. 1. Eleman tipleri.....                                                                                        | 36    |
| Şekil 4. 2. Gömülü eleman tanımlaması .....                                                                            | 37    |
| Şekil 4. 3. Sürtünme yüzeylerinin tanımlanması .....                                                                   | 38    |
| Şekil 4. 4. Kaynaklı bağlantı .....                                                                                    | 39    |
| Şekil 4. 5. Beton gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri .....                                                      | 41    |
| Şekil 4. 6. Malzemelerin gerilme-şekil değiştirme ilişkileri.....                                                      | 44    |
| Şekil 4. 7. Sınır şartları ve yükleme düzeneği.....                                                                    | 45    |
| Şekil 4. 8. Deney örnekleri ve öngerme halatının konumlandırılması.....                                                | 47    |
| Şekil 4. 9. Deney örneklerinin test sonuçları ile sonlu eleman modellerinin<br>analiz sonuçlarının kıyaslanması .....  | 49    |
| Şekil 4. 10. Boyuna kesme hasarlarının karşılaştırılması .....                                                         | 50    |
| Şekil 4. 11. Chen BS1 Modeli.....                                                                                      | 51    |
| Şekil 4. 12. Chen BS1 modelinin doğrulanması .....                                                                     | 52    |
| Şekil 5. 1. Çelik-beton kompozit kirişlerde etkileşim durumları .....                                                  | 54    |
| Şekil 5. 2. Farklı kesme bağlantı derecesine sahip çelik-beton kompozit kiriş<br>modelleri .....                       | 55    |
| Şekil 5. 3. Çelik-beton kompozit kirişlerin güçlendirilmesinde kullanılan halat<br>profilleri .....                    | 55    |
| Şekil 5. 4. Bağlantı derecesi ve ardgerme oranı incelenen sonlu eleman<br>modellerinin yükleme düzeneği.....           | 57    |
| Şekil 5. 5. Kompozit ve dökümlü halat profiline sahip modellerin yük-sehim<br>ilişkileri .....                         | 58    |
| Şekil 5. 6. Kompozit ve düz halat profiline sahip modellerin yük-sehim<br>ilişkileri.....                              | 60    |
| Şekil 5. 7. Enine donatı yerleşiminin dikkate alındığı sonlu eleman modelleri.....                                     | 63    |
| Şekil 5. 8. Sonlu eleman modellerinde oluşan boyuna kesme çatlakları ve<br>yük-sehim grafikleri .....                  | 65    |
| Şekil 5. 9. Ardgerme çatlağı.....                                                                                      | 68    |
| Şekil 5. 10. Öngerme halatı yerleşiminin dikkate alındığı sonlu eleman<br>modelleri.....                               | 69    |

|                                                                                                                |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Şekil 5. 11. Sayısal modellerin yük-sehim grafikleri.....                                                      | 70  |
| Şekil 5. 12. Öngerme halatlı modellerin kiritik durumlardaki kazanımlarının karşılaştırılması.....             | 74  |
| Şekil 5. 13. Parametrik çalışmada dikkate alınan değişkenler ve yükleme düzeneği.....                          | 76  |
| Şekil 6. 1. Sonlu eleman modellerinin göçme durumları.....                                                     | 82  |
| Şekil 6. 2. IPE300 çelik profilli sayısal modellerin yük – sehim ve moment – sehim grafikleri.....             | 83  |
| Şekil 6. 3. IPE400 çelik profilli sayısal modellerin yük – sehim ve moment – sehim grafikleri.....             | 84  |
| Şekil 6. 4. IPE500 çelik profilli sayısal modellerin yük – sehim ve moment – sehim grafikleri.....             | 85  |
| Şekil 6. 5. IPE600 çelik profilli sayısal modellerin yük – sehim ve moment – sehim grafikleri.....             | 86  |
| Şekil 6. 6. Kapasite/Ağırlık-Açıklık/Etkin kesit yüksekliği grafiği.....                                       | 100 |
| Şekil 6. 7. 1 metre beton tabliye genişliği için Kapasite/Ağırlık-Açıklık/Etkin kesit yüksekliği grafiği ..... | 101 |

## ÇİZELGELER DİZİNİ

|                                                                                                                                                | Sayfa |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Çizelge 2. 1. Eurocode 3'e göre çelik profil enine kesit sınıflandırması .....                                                                 | 8     |
| Çizelge 2. 2. Basınç etkisindeki çelik başlıklar için maksimum genişlik-<br>kalınlık oranları .....                                            | 9     |
| Çizelge 2. 3. HEA kesitlerin başlıklarına göre sınıflandırılması .....                                                                         | 9     |
| Çizelge 2. 4. Çelik profil gövdeleri için maksimum genişlik-kalınlık oranları .....                                                            | 10    |
| Çizelge 2. 5. Tam basınç durumundaki çelik gövdelerin sınıflandırılması .....                                                                  | 11    |
| Çizelge 2. 6. Betonun Dayanımları .....                                                                                                        | 12    |
| Çizelge 2. 7. Kısa süreli yükleme için beton Ecm için Sekant elastisite<br>modülü .....                                                        | 13    |
| Çizelge 2. 8. Yapısal çeliklerin nominal mukavemet değerleri .....                                                                             | 13    |
| Çizelge 2. 9. Sürekli kirişlerin negatif moment bölgelerinde yanal burulma<br>burkulmasını önlemek için çelik kirişin maksimum derinliği ..... | 25    |
| Çizelge 4. 1. Beton Hasarlı Plastisite Modeli parametreleri .....                                                                              | 41    |
| Çizelge 4. 2. Malzeme Özellikleri .....                                                                                                        | 43    |
| Çizelge 4. 3. Deney örneklerinin boyutsal parametreleri .....                                                                                  | 48    |
| Çizelge 5. 1. Bağlantı derecesi ve ardgerme oranı incelenen sonlu eleman<br>modelleri .....                                                    | 56    |
| Çizelge 5. 2. Bağlantı derecesi ve ardgerme oranı incelenen sonlu eleman<br>modellerinin analiz sonuçları .....                                | 61    |
| Çizelge 5. 3. Öngerme halat yerleşiminin incelendiği sonlu eleman<br>modellerinin analiz sonuçlarının özet tablosu .....                       | 72    |
| Çizelge 5. 4. IPE 300 profil kullanılan parametrik modellerin isimlendirmesi .....                                                             | 77    |
| Çizelge 5. 5. IPE 400 profil kullanılan parametrik modellerin isimlendirmesi .....                                                             | 78    |
| Çizelge 5. 6. IPE 500 profil kullanılan parametrik modellerin isimlendirmesi .....                                                             | 79    |
| Çizelge 5. 7. IPE 600 profil kullanılan parametrik modellerin isimlendirmesi .....                                                             | 80    |
| Çizelge 6. 1. IPE profil kazanımları .....                                                                                                     | 90    |
| Çizelge 6. 2. Beton tabliye yüksekliği kazanımları .....                                                                                       | 91    |
| Çizelge 6. 3. IPE300 profilli modellerde halat kazanımları .....                                                                               | 95    |
| Çizelge 6. 4. IPE400 profilli modellerde halat kazanımları .....                                                                               | 96    |
| Çizelge 6. 5. IPE500 profilli modellerde halat kazanımları .....                                                                               | 97    |
| Çizelge 6. 6. IPE600 profilli modellerde halat kazanımları .....                                                                               | 98    |
| Çizelge 6. 7. Ardgermeli çelik-beton kompozit kirişler için $\alpha$ ve $\beta$ katsayıları .....                                              | 102   |
| Çizelge A. 1. IPE300 profili kullanılan parametrik modellerin sayısal analiz<br>sonuçları .....                                                | 112   |
| Çizelge A. 2. IPE400 profili kullanılan parametrik modellerin sayısal analiz<br>sonuçları .....                                                | 117   |
| Çizelge A. 3. IPE500 profili kullanılan parametrik modellerin sayısal analiz<br>sonuçları .....                                                | 122   |
| Çizelge A. 4. IPE600 profili kullanılan parametrik modellerin sayısal analiz<br>sonuçları .....                                                | 127   |

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

|              |                                                                                        |
|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| $a$          | çelik kiriş üst başlık üst kotu ile donatı arasındaki düşey mesafe                     |
| $A$          | kompozit kiriş için hesaplanan katsayı                                                 |
| $A_a$        | çelik profil kesit alanı                                                               |
| $A_c$        | beton tabliye kesit alanı                                                              |
| $A_s$        | donatı alanı                                                                           |
| $A_v$        | çelik profil kesme alanı                                                               |
| $b$          | kompozit kiriş için hesaplanan üssel katsayı                                           |
| $b_{eff}$    | beton tabliyenin etkin genişliği                                                       |
| $b_{e1}$     | $b_1$ için etkin genişlik                                                              |
| $b_{e2}$     | $b_2$ için etkin genişlik                                                              |
| $b_1$        | iki çelik kiriş arası mesafenin yarısı                                                 |
| $b_2$        | dışta kalan çelik kirişin serbest kenara uzaklık mesafesi                              |
| $C$          | çelik profil başlık genişliğinin yarısı                                                |
| $d$          | kayma çivisi gövde çapı                                                                |
| $d_c$        | beton basınç hasar bileşeni                                                            |
| $d_t$        | beton çekme hasar bileşeni                                                             |
| $E_a$        | yapısal çelik elastisite modülü                                                        |
| $E_{cm}$     | betonun sekant elastisite modülü                                                       |
| $E_s$        | yapısal çelik elastisite modülü                                                        |
| $F_a$        | çelik profil kirişte oluşan normal kuvvet                                              |
| $F_{a1}$     | plastik tarafsız eksenin üzerindeki çelik profil kiriş başlığında oluşan normal kuvvet |
| $F_{a2}$     | çelik profilin plastik tarafsız eksenin altında kalan kısmında oluşan normal kuvvet    |
| $F_c$        | beton tabliyede oluşan normal kuvvet                                                   |
| $f_{ck}$     | betonun karakteristik silindir basınç dayanımı                                         |
| $f_{ctm}$    | betonun karakteristik çekme dayanımı                                                   |
| $F_s$        | donatıda oluşan normal kuvvet                                                          |
| $f_{sk}$     | donatı karakteristik akma dayanımı                                                     |
| $F_y$        | yapısal çelik akma dayanımı                                                            |
| $f_y$        | çelik profil akma dayanımı                                                             |
| $f_{y,red}$  | av kesme alanı için azaltılmış tasarım akma dayanımı                                   |
| $f_{vu}$     | kayma çivisi kopma dayanımı                                                            |
| $f_u$        | çelik profil kopma dayanımı                                                            |
| $F_w$        | çelik profil kiriş gövdesinde oluşan normal kuvvet                                     |
| $G_a$        | yapısal çelik kayma modülü                                                             |
| $h_a$        | çelik profil kirişin yüksekliği                                                        |
| $h_c$        | profilenmiş çelik saçın dışlarının üzerinde kalan beton yüksekliği                     |
| $h_p$        | profilenmiş çelik saçın dış yüksekliği                                                 |
| $h_s$        | kayma çivisi uzunluğu                                                                  |
| $L$          | kiriş açıklığı                                                                         |
| $M_{apl,Rd}$ | çelik profil kesitinin plastik moment dayanımı                                         |
| $M_{f,Rd}$   | sadece başlıklardan oluşan kesitin tasarım plastik moment dayanımı                     |
| $M_{pl,Rd}$  | tam kesme bağlantılı kompozit kesitin tasarım plastik moment dayanımı                  |
| $M_{Rd}$     | kompozit kesitin tasarım momenti dayanımı                                              |
| $n$          | gerilme şekil değiştirme grafiğinin azalan bölgesini temsil eden bir katsayı           |
| $N$          | kayma çivisi sayısı                                                                    |
| $N_{cf}$     | tam kesme bağlantısı için gereken kayma çivisi sayısı                                  |

|                      |                                                                                         |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| $P_{Rd}$             | kayma çivisi tasarım kesme dayanımı                                                     |
| $t$                  | haddelenmiş çelik profilde başlık kalınlığı/kaynaklanmış çelik profilde parça kalınlığı |
| $t_f$                | çelik profil başlık kalınlığı                                                           |
| $t_w$                | çelik profil gövde kalınlığı                                                            |
| $V_l$                | tasarım boyuna kesme kuvveti                                                            |
| $V_{sd}$             | tasarım kesme kuvveti                                                                   |
| $V_{pl,Rd}$          | çelik profil kesitin plastik kesme dayanımı                                             |
| $w$                  | kaynak kalınlığı                                                                        |
| $y$                  | kiriş taşıma kapasitesi/ kiriş ağırlığı                                                 |
| $z_c$                | plastik tarafsız eksenin beton tabliye üst kotuna olan uzaklığı                         |
| $z_{cw}$             | plastik tarafsız eksen ile tabliye betonu alt kotu arasındaki mesafe                    |
| $\alpha$             | ardgermeli modeller için düzeltme katsayısı                                             |
| $\alpha_g$           | çelik kesit gövdesindeki gerilme dağılımı oranı                                         |
| $\alpha_s$           | kayma çivileri için katsayı                                                             |
| $\beta$              | ardgermeli modeller için üssel düzeltme katsayısı                                       |
| $\gamma_a$           | yapısal çelik için güvenlik katsayısı                                                   |
| $\gamma_c$           | beton için güvenlik katsayısı,                                                          |
| $\gamma_s$           | donatı için güvenlik katsayısı                                                          |
| $\varepsilon_c$      | betonun basınç birim şekil değiştirmesi                                                 |
| $\varepsilon_{co}$   | maksimum beton basınç gerilmesine karşılık gelen birim şekil değiştirme                 |
| $\varepsilon_c^{pl}$ | beton basınç plastik birim şekil değiştirmesi                                           |
| $\varepsilon_{cs}$   | normal ağırlıktaki beton için uzun süreli serbest büzülme şekil değiştirmesi            |
| $\varepsilon_k$      | çelik kesit sınıflamasında kullanılan bir katsayı                                       |
| $\varepsilon_t^{pl}$ | betonun çekme plastik birim şekil değiştirmesi                                          |
| $\varepsilon_t$      | betonun çekme birim şekil değiştirmesi                                                  |
| $f_t$                | betonun çekme dayanımı                                                                  |
| $\rho_a$             | yapısal çeliğin yoğunluğu                                                               |
| $\eta$               | kesme bağlantı derecesi                                                                 |

## 1. GİRİŞ

Çelik-beton kompozit kirişler sunduğu çeşitli avantajlardan dolayı günümüzde sıklıkla tercih edilmektedir. Bu avantajlardan bazıları; uzun açıklıkların geçilmesinde betonarme kesitlere göre ekonomik çözümler sunması, kesit yüksekliğinin azaltılması, yapı ağırlığının azaltılması, inşaat sürelerinin kısaltılması ve daha sünek yapı tasarımına imkan vermesi olarak sıralanabilir.

Kompozit kirişlerde, çelik profil kiriş ile betonarme döşemenin birlikte çalışabilmesi koşulu, kayma bağlantısı elemanları (kayma çivisi vb.) aracılığıyla oluşturulan kompozit etkiye bağlıdır. Kompozit etki, kısmi veya tam kesme bağlantı derecesine göre değişebilmektedir. Tam kesme bağlantı derecesi oluşturulmuş ise betonarme tabliye-çelik kiriş arasında kaymalar ihmal edilebilir düzeyde olduğu kabulü yapılabilir.

Çelik-beton kompozit kirişlere öngerme halatı kullanılarak güçlendirme tekniği uygulanabilmektedir. Bu duruma, Çin’de 2001 yılında 50m, 60m ve 70m olmak üzere üç açıklıklı bir viyadükte uygulanan öngerme halatı ile güçlendirme tekniği örnek olarak verilebilir (Liu, 2001). Bir başka örnek ise, bir belediye binasının çatısında sürekli kiriş olarak öngerme halatı ile güçlendirme tekniğinin uygulanmasıdır (Zhang, 1998).

Çelik-beton kompozit kirişlere öngerme halatı kullanarak güçlendirme tekniği uygulamak bazı sebeplerden dolayı tercih nedenidir. Bunlar; kapasite artışı sağlanmak istenmesi, mevcut çelik-beton kompozit köprü kirişlerinin artan servis yükleri altında kiriş elastik sınırlarının iyileştirilmesi, köprü kirişlerinin yorulma direncinin uzatılması, aşırı yüklenmiş kirişlerin yüklerinin hafifletilmesi, negatif moment bölgelerinde beton tabliyede oluşabilecek çekme çatlağı direncinin arttırılması olarak ifade edilebilir.

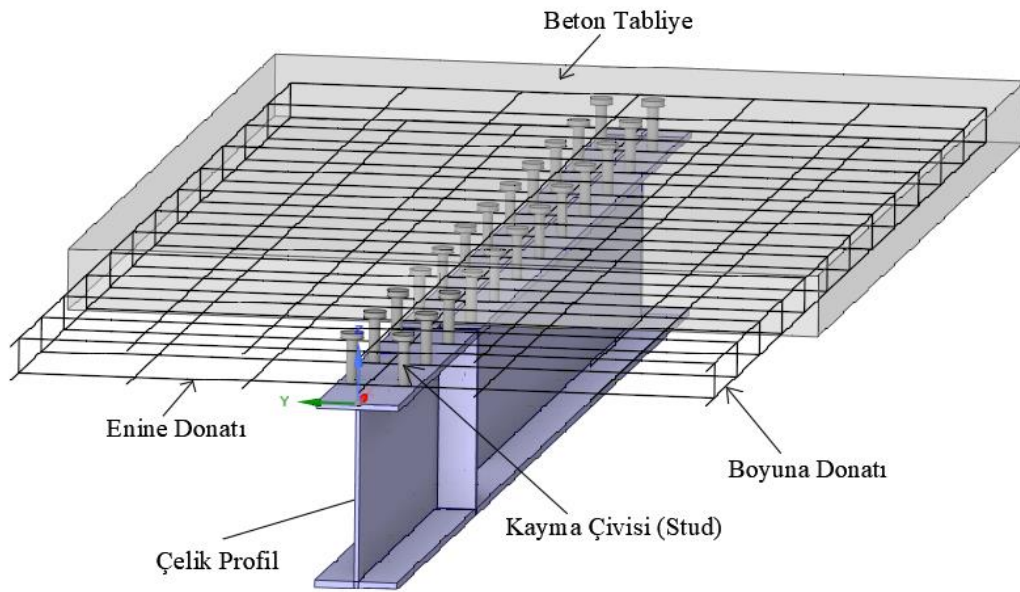
Yeni yapılacak çelik-beton kompozit kirişlerde de öngerme halatı ile güçlendirme teknikleri uygulanabilir. Bu tekniklerden bazıları; öngerme halatı beton tabliye içinde kalacak şekilde tasarlanmış ise yapı daha servis yüklerine maruz kalmadan öngerme halatlarının gerilmesi ve daha sonra beton dökülmesi (öngerme), öngerme halatlarının

elik kirişin dışında kalacak şekilde konumlandırılarak yapının zati ağırlığı tamamlanmadan (imalat aşamasında) halatların gerilmesi (öngerme), yapı tamamlandıktan sonra öngerme halatlarının gerdirilmesi (ardgerme) olarak söylenebilir. Öngerme tekniğı daha çok basit kirişlere uygulanabilmektedir. Çünkü kiriş hazırlanırken öngerme halatlarının gerdirilmesi gerekmektedir ve yerde hazırlanan öngerilmeli elik-beton kirişlerin montajının yapılabilmesi için taşınması gerekmektedir. Bu durum, öngerme halatlı elik-beton kompozit kirişlerin kullanım alanını sınırlandırmaktadır. Ardgerme tekniğinde ise, elik-beton kompozit kirişin montajı gerçekleştirilir ve daha sonra kendi ağırlığından dolayı bir miktar sehim yapmış olan kirişe öngerme halatları eklenir ve halatların gerdirme işlemi gerçekleştirilir. Ardgerme tekniğı sayesinde daha küçük parçalar montajlanabilir ve halatların gerdirilmesi ile monolitik bir elik-beton kompozit kiriş elde edilebilir. Bu sayede, daha büyük açıklıkların geçilmesinde ardgerme tekniğı kullanılabilmektedir.

Literatürde, öngerme ve ardgerme tekniğı kullanarak oluşturulan elik-beton kompozit kirişler ile ilgili deneysel ve sayısal çalışmalar mevcuttur. Ancak, bu çalışmaların çoğunda öngerme halatlarının kapasiteye etkisinin yaklaşık %25 mertebelerinde olduğu bildirilmiştir. Öngerme halatlı elik-beton kompozit kiriş gibi sistemlerin birçok girdisi (geçilecek açıklık, mesnetlenme şartları, elik profil boyutları, beton tabliye genişliğı, tam/kısmi bağlantı derecesi, öngerme halatlarının konumlandırılması, öngerme halatlarına uygulanacak başlangıç gerilmesi, malzeme özellikleri, öngerme halat sayısı, öngerme halat alanı/elik profil alanı, beton tabliyede kullanılacak çekme donatısı, elik profilde kullanılacak rijitleştirme levhaları vb.) olduğundan dolayı detaylı araştırılması gereken bir konudur. Bu tez çalışmasında elik-beton kompozit kiriş ve ardgerme uygulanmış öngerme halatlı elik-beton kompozit kirişlerin kapasite karşılaştırmaları 600 adet sonlu eleman modelinin parametrik çalışması sonucu olarak sunulmuştur.

## 2. YÖNETMELİKLERİN İNCELENMESİ

Beton tabliye ve çelik profil kirişin bağlantı elemanları kullanılarak birleştirilmesiyle oluşturulan kirişlere çelik-beton kompozit kiriş denilmektedir. Çelik-beton kompozit kirişlerin montajında farklı tiplerde (başlıklı kayma çivisi, u profil, köşebent, pimli bağlantı elemanı vb.) bağlantı elemanları kullanılabilmektedir. Bu tez çalışması kapsamında bağlantı elemanı olarak başlıklı kayma çivileri (stud) dikkate alınmıştır. Şekil 2.1’de çelik-beton kompozit kirişi oluşturan elemanlar gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Çelik-beton kompozit kirişi oluşturan elemanlar

Çelik-beton kompozit kirişlerde, beton tabliye ile çelik profili birbirine bağlayan bağlantı elemanı (başlıklı kayma çivisi) sayısı kompozit kirişin yük taşıma kapasitesini önemli ölçüde etkilemektedir. Çelik-beton kompozit kirişler, bağlantı elemanı sayısına bağlı olarak kısmi etkileşimli veya tam etkileşimli olarak ifade edilmektedir. Kısmi etkileşimli kompozit kirişlerde, bağlantı elemanı yetersizliğinden dolayı beton tabliye ile çelik profil üst başlığı arasındaki arayüzde kaymalar oluşmakta ve bu durum kompozit kirişin yapısal davranışı değiştirmektedir. Tam etkileşimli kompozit kirişlerde ise beton tabliye ile çelik kiriş arasında yeterli bağlantı elemanı kullanıldığından arayüz kaymasının ihmal edilebilir düzeyde olacağı varsayılmakta ve beton tabliye ile çelik profil kiriş arasında yük aktarımının bir kayba uğramadan kesit kapasitesince gerçekleştirileceği kabul edilmektedir. Eurocode 4, AISC 360-16 ve

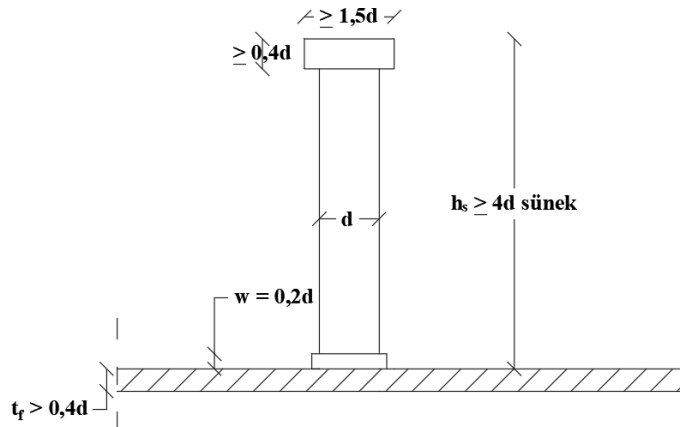
ÇYTHY 2016 yönetmelikleri incelendiğinde kompozit kirişler için en az 0,40 kesme bağlantı derecesinin sağlanması gerektiği söylenebilir.

Bu bölümde, Eurocode 4, AISC 360-16 ve ÇYTHY 2016 yönetmelikleri incelenmiş ve çelik-beton kompozit kirişler ile ilgili tasarım boyutları, hesaplamaları ve malzeme özellikleri hakkında bilgilere yer verilmiştir. Tez çalışmasında, 3 yönetmeliğe de uyumlu olacak şekilde basit mesnetli çelik-beton kompozit kiriş modelleri oluşturulmuştur. Bu nedenle, kompozit kirişleri oluşturan elemanların boyutsal parametreleri ve malzeme özellikleri 3 yönetmeliği kapsayacak şekilde sınırlandırılarak sunulmuştur.

## 2.1. Çelik-Beton Kompozit Kirişleri Oluşturan Elemanların Boyutlandırma Kısıtları

### 2.1.1. Kayma çivisi

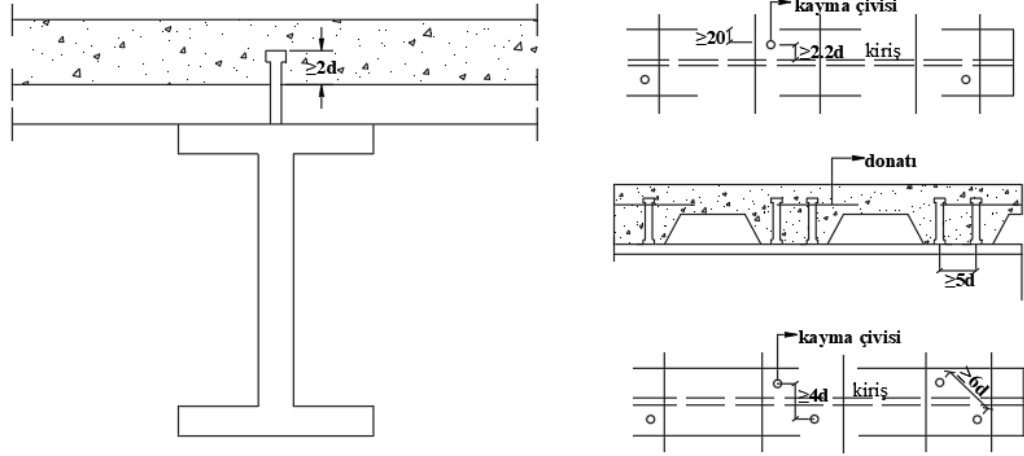
Eurocode 4, AISC 360-16 ve ÇYTHY 2016 yönetmelikleri kayma çivilerinin yeterli dayanıma, yeterli sünekliğe ve beton döşemenin çelik profil üzerinde yükselmesinin önlenmesi için malzeme dayanımı ve boyutsal özelliklerde birtakım kısıtlamalar getirmektedir. Çelik-beton kompozit kirişlerde kullanılacak kayma çivilerinin yönetmeliklerde izin verilen minimum boyutlandırmaları Şekil 2.2’de, yerleşim kuralları ise Şekil 2.3’de gösterilmiştir. Şekil 2.2’de  $d$  ile kayma çivisinin gövde çapı,  $h_s$  ile kayma çivisinin uzunluğu,  $t_f$  ile kayma çivisinin kaynaklanacağı çelik profil başlığının et kalınlığı,  $w$  ile kaynak kalınlığı ifade edilmektedir.



Şekil 2.2. Kayma çivilerinin minimum boyutları

Çelik-beton kompozit kirişlerde genellikle 16mm, 19mm, 22mm ve 25mm gövde çaplı kayma çivileri kullanılmaktadır. Eurocode 4, kayma çivisinin gövde çapıyla ilgili bir koşul belirtmez iken AISC-360-16 ve ÇYTHY-2016 yönetmeliklerinde 19mm gövde çapının üstünde kalan kayma çivilerinin bazı özel şartlar dışında kullanımına izin verilmemektedir. Çapı 19mm'ye kadar olan kayma çivileri genellikle bina türü yapıların kompozit döşemelerinde tercih edilirken daha büyük gövde çaplı kayma çivileri ise köprü türü yapılarda tercih edilmektedir. Kayma çivilerinin çelik profil kirişe montajında Eurocode 4, AISC 360-16 ve ÇYTHY 2016 yönetmeliklerinin üçüne de uyulmak istenilirse aşağıda verilen kurallara dikkat edilebilir:

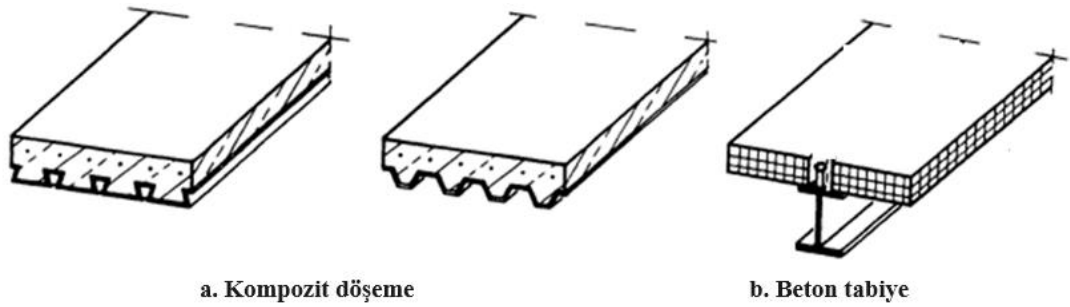
- Yeterli kaynak kalınlığı için çelik kiriş üst başlığının et kalınlığı, kayma çivisinin gövde çapının en az 0,4 katı olmalıdır (Şekil 2.2).
- Beton tabliyede şekil verilmiş trapez saç kullanılacak ise kaynaktan sonra, kayma çivisinin üst kotu ile trapez saçın dış yüksekliği arasında en az kayma çivisi gövde çapının 2 katı kadar mesafe bırakılmalıdır (Şekil 2.3).
- Kayma çivisinin başlığının üzerinde en az 20mm kadar paspayı bırakılmalıdır.
- Kayma çivisinin dış kenarı ile çelik profil üst başlığının dış kenarı arasında minimum 20mm mesafe bırakılmalıdır (Şekil 2.3).
- Çift sıra veya şaşırtmalı kayma çivisi yerleşimi yapılacak ise kayma çivileri arasındaki enine boşluk, kayma çivisi gövde çapının 4 katından az olmamalıdır (Şekil 2.3).
- Kayma çivileri arasındaki uzunlamasına boşluk, kayma çivisinin gövde çapının 5 katından az ve toplam beton tabliye derinliğinin 6 katından veya 800mm'den fazla olmamalıdır.
- Kayma çivilerinin uzunluğu, gövde çapının 4 katından daha az olmamalıdır.
- Boyuna doğrultuda kiriş uçlarına montajlanacak kayma çivisi ile serbest kenar arası mesafe en az 200mm olmalıdır.



Şekil 2.3. Kayma çivilerinin yerleşim kuralları

### 2.1.2. Beton tabliye ve etkin beton tabliye genişliği

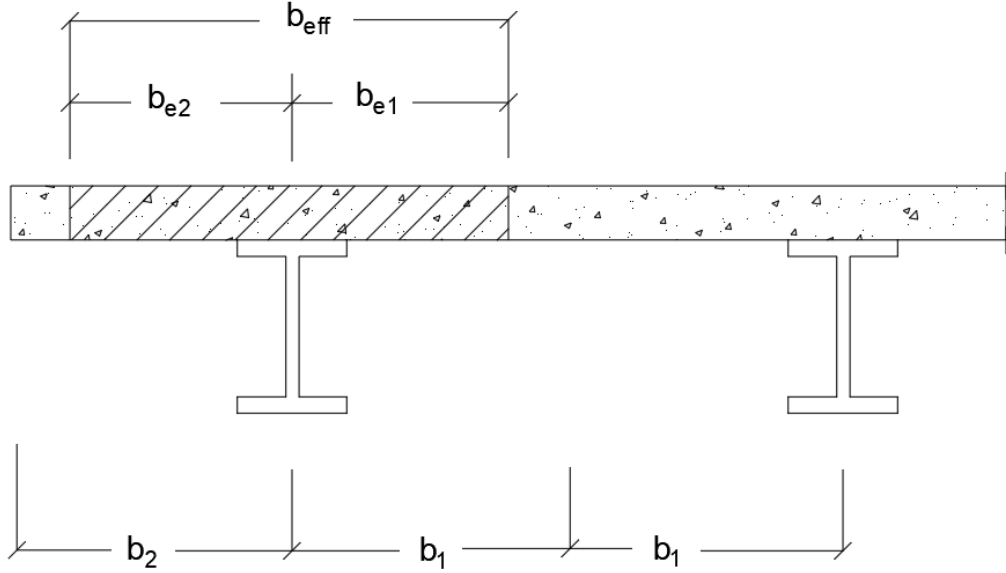
Çelik-beton kompozit döşemelerin kullanıldığı bina türü yapılarda beton tabliye yüksekliği genellikle 100mm ile 200mm arasında değişmektedir. Yangın dayanımının arttırılmasının istendiği bina türü yapılarda yaygın olarak 120mm ile 180mm arasında beton tabliye yüksekliği sıklıkla tercih edilmektedir. Çelik-beton kompozit kirişlerde farklı türlerde beton tabliyeler kullanılabilmektedir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Döşeme çeşitleri

Çelik-beton kompozit döşemeler, bir dizi paralel çelik profil kirişi ile desteklenen beton tabliyeden oluşmaktadır. Bu nedenle yapısal sistem esasen geniş ve ince beton tabliyeye sahip bir dizi T kirişe benzetilebilir. Böyle bir sistemde kayma gecikmesi nedeniyle beton basınç dayanımı tabliye genişliği boyunca tam olarak etkili olmayabilir. Çelik-beton kompozit kirişlerde etkin genişlik kavramı genellikle kayma gecikmesi sorununun basitleştirilmesi olarak benimsenmektedir (Chen ve Zhang, 2006). Etkin beton tabliye genişliği ( $b_{eff}$ ), gerçekte var olan değişken beton gerilmesi

ile aynı statik etkiye neden olacak gerçek maksimum beton gerilmesinin etkilediği döşeme genişliği olarak ifade edilmektedir. Şekil 2.5’de yönetmeliklerde ifade edilen etkin beton tabliye genişliği gösterilmektedir.



Şekil 2.5. Beton tabliye etkin genişliği

Çelik-beton kompozit kirişlerin yönetmeliklerde belirtilen tasarım hesaplamalarında, etkin genişlik  $b_{eff}$ 'in her bir açıklığı boyunca gerilme dağılımının sabit olduğu varsayılır ve beton tabliyenin etkin genişliği aşağıda verilen üç maddeden en küçük olan değer dikkate alınarak hesaplanır.

- Çelik gövdenin her iki tarafındaki etkin genişlik kiriş açıklığının sekizde biri ( $L/8$ ),
- İki çelik kiriş arası mesafenin yarısı ( $b_1$ ),
- Dışta kalan çelik kirişin serbest kenara uzaklık mesafesi ( $b_2$ )

### 2.1.3. Çelik profil kiriş

Pozitif moment etkisi altındaki çelik-beton kompozit kirişlerin dayanımı belirlenirken kesitlerin tam eğilme kapasitesine ulaşabilmesi için çelik profilde oluşabilecek yerel burkulmaların engellenmesi gerekmektedir. Bu kapsamda, AISC 360-16 yönetmeliği kesitlerin sınıflandırmasını kompakt ve kompakt olmayan şeklinde ifade edilmektedir. Genişlik/kalınlık oranı  $3.76\sqrt{E_s/F_y}$  değerinden küçük ise kesitlerin kompakt olduğu

ve yerel burkulmaya uğramayacağı kabul edilmektedir. Eurocode 3 yönetmeliğinde ise çelik profil kesitlerinin Sınıf 1 ve Sınıf 2 şartlarını sağlaması gerektiği belirtilmektedir. Çelik-beton kompozit kirişlerde kullanılan çelik profil, başlık genişliği ve gövdenin basınç etkisi altındaki yerel burkulma davranışına göre 4 sınıfa ayrılmaktadır. Eurocode 3'e göre çelik profillerin enine kesit sınıflandırması Çizelge 2.1'de sunulmuştur.

Çizelge 2.1. Eurocode 3'e göre çelik profil enine kesit sınıflandırması

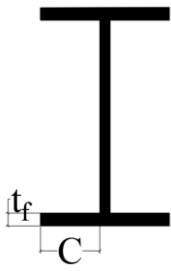
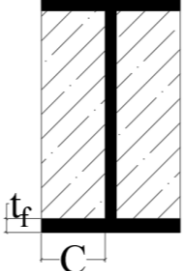
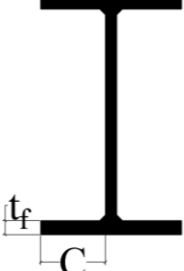
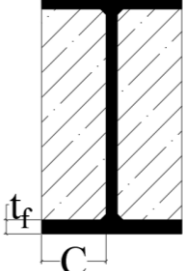
| Kesit Sınıfı             | Tanımı                                                                                                                                                               |
|--------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Sınıf 1 (Plastik)</b> | Eğilme etkisi altında yeterli dönme kapasitesine sahip olup plastik mafsall oluşturabilen kesitlerdir.                                                               |
| <b>Sınıf 2 (Kompakt)</b> | Eğilme etkisi altında sınırlı dönme kapasitesine sahip olup plastik moment direnci geliştirebilen kesitlerdir.                                                       |
| <b>Sınıf 3</b>           | Basınç etkisi altındaki çelik lifin akma dayanımına ulaşabildiği ancak yerel burkulma nedeniyle plastik moment direncinin gelişmesinin engellenebildiği kesitlerdir. |
| <b>Sınıf 4</b>           | Basınç etkisi altında yerel burkulmanın beklendiği plastik moment direnci geliştiremeyen kesitlerdir. Bu kesitlerde yerel burkulmaya karşı önlem alınmalıdır.        |

Basınç etkisi altındaki kirişlerde çelik profil gövdesi ve başlıkları, genişlik/kalınlık oranlarına ve gerilme dağılımlarına göre sınıflandırılmaktadır. Basınç etkisindeki çelik profil başlıkları için Eurocode 3'de tanımlanan genişlik/kalınlık ( $C/t_f$ ) oranları Çizelge 2.2'de sunulmuştur. Çelik profil gövdeleri için tanımlanan genişlik/kalınlık oranları ise Çizelge 2.4'de sunulmuştur.

Haddelenmiş kesitlerle ilgili aşağıdaki kabuller yapılabilir:

- IPE, HEB ve HEM kesitler başlıklarına göre Sınıf 1 kabul edilebilir.
- HEA kesitlerin başlıklarını sınıflandırmak için Çizelge 2.3'e bakınız.
- 450mm'den daha derin HEA kesitleri Sınıf 1 olarak kabul edilir.
- Çizelge 2.3'de Sınıf 3 olarak belirtilen HEA kesitler kısmen kapatılır ise Sınıf 2 olarak kabul edilebilir.

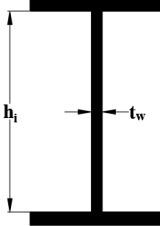
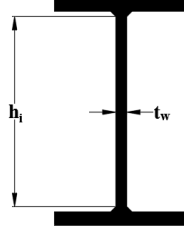
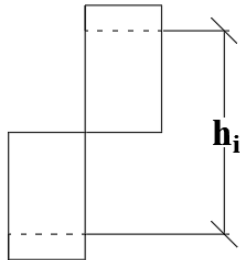
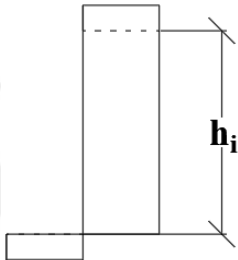
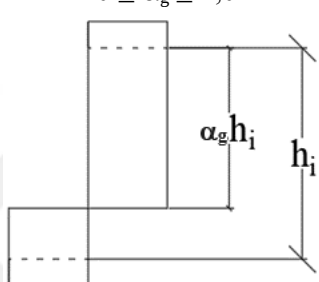
Çizelge 2.2. Basınç etkisindeki çelik başlıklar için maksimum genişlik-kalınlık oranları,  $C/t_f$

| Sınıf         | Haddelenmiş                                                                       |                                                                                   | Kaynaklı                                                                           |                                                                                     |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|               |  |  |  |  |
| 1             | 10 $\epsilon_k$                                                                   | 10 $\epsilon_k$                                                                   | 9 $\epsilon_k$                                                                     | 9 $\epsilon_k$                                                                      |
| 2             | 11 $\epsilon_k$                                                                   | 15 $\epsilon_k$                                                                   | 10 $\epsilon_k$                                                                    | 14 $\epsilon_k$                                                                     |
| Yapısal Çelik |                                                                                   | S235                                                                              | S275                                                                               | S355                                                                                |
| $\epsilon_k$  |                                                                                   | 1.00                                                                              | 0.92                                                                               | 0.81                                                                                |

Çizelge 2.3. HEA kesitlerin başlıklarına göre sınıflandırılması

| HEA kesit | S235 | S275 | S355 |
|-----------|------|------|------|
| 160       | 1    | 1    | 2    |
| 180       | 1    | 2    | 3    |
| 200       | 1    | 2    | 3    |
| 240       | 1    | 2    | 3    |
| 260       | 2    | 3    | 3    |
| 280       | 2    | 3    | 3    |
| 300       | 2    | 3    | 3    |
| 320       | 1    | 2    | 3    |
| 340       | 1    | 1    | 3    |
| 360       | 1    | 1    | 2    |
| 400       | 1    | 1    | 1    |
| 450       | 1    | 1    | 1    |

Çizelge 2.4. Çelik profil gövdeleri için maksimum genişlik-kalınlık oranları

| Gövde: Eğilme eksenine dik iç elemanlar |                                                                                   |                                                                                    |                                                                                                                                                  |
|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                         |  |  |                                                                                                                                                  |
|                                         | Haddelenmiş                                                                       | Kaynaklı                                                                           |                                                                                                                                                  |
| Gerilme Dağılımı                        | Eğilmeye maruz gövde $\alpha_g = 0,5$                                             | Basınca maruz gövde $\alpha_g = 1,0$                                               | Basınca ve eğilmeye maruz gövde $0 \leq \alpha_g \leq 1,0$                                                                                       |
|                                         |  |  |                                                               |
| Sınıf 1                                 | $h_i/t_w \leq 72\epsilon$                                                         | $h_i/t_w \leq 33\epsilon$                                                          | $\alpha_g > 0,5$ ise<br>$h_i/t_w \leq 396 \epsilon_k / (13\alpha_g - 1)$<br>$\alpha_g \leq 0,5$ ise<br>$d/t \leq 36 \epsilon / \alpha_g$         |
| Sınıf 2                                 | $h_i/t_w \leq 83\epsilon$                                                         | $h_i/t_w \leq 38\epsilon$                                                          | $\alpha_g > 0,5$ ise<br>$h_i/t_w \leq 456 \epsilon_k / (13\alpha_g - 1)$<br>$\alpha_g \leq 0,5$ ise<br>$h_i/t_w \leq 41,5 \epsilon_k / \alpha_g$ |

Etkin kesit hesaplamaları için kompozit kesitlerin plastik tarafsız eksenlerinin konumları ve malzeme tasarım dayanım değerlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Yönetmelikler incelendiğinde çelik profil kesitlerin sınıflandırılması ile ilgili aşağıdaki ifadeler söylenebilir:

- Pozitif eğilme momenti etkisi altındaki kompozit kirişlerde plastik tarafsız eksen beton tabliyede veya çelik profil başlığında bulunuyor ise bu kesitler gövde ve başlıkların genişlik/kalınlık oranlarından bağımsız olarak Sınıf 1 olarak kabul edilmektedirler.

- Eğilme ve sıkıştırmaya maruz kalan tüm IPE ve HE kesitlerin gövdeleri ile Çizelge 2.4’de ifade edilen gerilme dağılımı  $\alpha_g \leq 0,5$  ile karakterize edilen tarafsız eksene sahip kesitler Sınıf 1’e aittir.
- Tek açıklıklı kirişlerde IPE veya HE çelik profil kesitler kullanılması durumunda bu kesitlerin gövdelerinde stabilite problemi kritik değildir.
- Çelik gövde tamamen basınç etkisinde ise, Çizelge 2.4’teki gereksinimlere dayalı sınıflandırma için Çizelge 2.5 kullanılabilir.
- Çizelge 2.5’de yer almayan IPE 140, HEA 340, HEB 450, HEM 600’dan daha küçük kesitler Sınıf 1’e aittir.

Çizelge 2.5. Tam basınç durumundaki çelik gövdelerin sınıflandırılması ( $\alpha_g=1$  Çizelge 2.4)

| <b>IPE kesit</b> | <b>S235</b> | <b>S275</b> | <b>S355</b> |
|------------------|-------------|-------------|-------------|
| 140              | 1           | 1           | 1           |
| 160              | 1           | 1           | 1           |
| 180              | 1           | 1           | 2           |
| 200              | 1           | 1           | 2           |
| 220              | 1           | 1           | 2           |
| 240              | 1           | 2           | 2           |
| 270              | 2           | 2           | 3           |
| 300              | 2           | 3           | 4           |
| 330              | 2           | 3           | 4           |
| 360              | 2           | 3           | 4           |
| <b>HEA kesit</b> | <b>S235</b> | <b>S275</b> | <b>S355</b> |
| 340              | 1           | 1           | 1           |
| 360              | 1           | 1           | 2           |
| 400              | 1           | 1           | 2           |
| 450              | 1           | 1           | 2           |
| 500              | 1           | 2           | 3           |
| 550              | 2           | 2           | 4           |
| 600              | 2           | 3           | 4           |
| <b>HEB kesit</b> | <b>S235</b> | <b>S275</b> | <b>S355</b> |
| 450              | 1           | 1           | 1           |
| 500              | 1           | 1           | 2           |
| 550              | 1           | 1           | 3           |
| 600              | 1           | 2           | 3           |
| 650              | 2           | 2           | 3           |
| 700              | 2           | 2           | 4           |
| <b>HEM kesit</b> | <b>S235</b> | <b>S275</b> | <b>S355</b> |
| 600              | 1           | 1           | 1           |
| 650              | 1           | 1           | 1           |
| 700              | 1           | 1           | 2           |
| 800              | 1           | 2           | 3           |
| 900              | 2           | 3           | 4           |

#### 2.1.4. Enine donatı

Çelik-beton kompozit kirişlerde, boyuna doğrultuda betonda yarılmının oluşmasını engellemek için beton tabliye içerisinde enine donatı kullanılmalıdır. Yönetmeliklerde minimum enine donatı oranı  $0,002 \times A_c$  olarak verilmektedir. Burada,  $A_c$  ile tabliye beton kesiti ifade edilmektedir. Uygulamada enine donatılar genellikle döşeme içerisinde eşit aralıklı olacak şekilde konumlandırılmaktadır.

### 2.2. Malzeme Özellikleri

#### 2.2.1. Kayma çivisi

Kayma çivilerinin sünek bir davranış göstermesi için yönetmeliklerde akma dayanımının 360 MPa'dan küçük, kopma dayanımlarının ise 450 MPa 'da küçük olması istenmektedir.

#### 2.2.2. Beton

İncelenen yönetmeliklerin birbirini kapsayacak şekilde tasarım kısıtları değerlendirildiğinde, betonun dayanımının 20-50 MPa aralığında olması gerektiği anlaşılmaktadır. Çizelge 2.6'da beton sınıfları için karakteristik beton basınç dayanımları ve karakteristik beton çekme dayanımları sunulmuştur.

Çizelge 2.6. Betonun Dayanımları (N/mm<sup>2</sup>)

| Beton Sınıflarının Dayanımı              | C20/25 | C25/30 | C30/37 | C35/45 | C40/50 | C45/55 | C50/60 |
|------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $f_{ck}$ (karakteristik basınç dayanımı) | 20     | 25     | 30     | 35     | 40     | 45     | 50     |
| $f_{ctm}$ (karakteristik çekme dayanımı) | 2,2    | 2,6    | 2,9    | 3,2    | 3,5    | 3,8    | 4,1    |

Büzülme (normal ağırlıktaki beton için uzun süreli serbest büzülme şekil değiştirmesi)

$\epsilon_{cs}$ :

- kuru ortamda (dolu elemanlar hariç)  $325 \times 10^{-6}$
- diğer ortamlarda ve dolgu elemanlar için  $200 \times 10^{-6}$

Kısa süreli yükleme için sekant elastisite modülü Çizelge 2.7'de verilmektedir.

Çizelge 2.7. Kısa süreli yükleme için beton Ecm için Sekant elastisite modülü

| Beton Sınıfları               | C20/25 | C25/30 | C30/37 | C35/45 | C40/50 | C45/55 | C50/60 |
|-------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $E_{cm}$ (N/mm <sup>2</sup> ) | 29000  | 30500  | 32000  | 33500  | 35000  | 36000  | 37000  |

### 2.2.3. Yapısal çelik

Çelik profiller için malzeme mukavemetinin nominal değerleri Çizelge 2.8’de verildiği gibidir. Nominal değerler, hesaplamalarda karakteristik değerler olarak uyarlanabilir.

Çizelge 2.8. Yapısal çeliklerin nominal mukavemet değerleri

| Yapısal Çelik Sınıfı               | Kalınlık t (mm)                      |                            |                                          |                            |
|------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------|------------------------------------------|----------------------------|
|                                    | $t_f \leq 40\text{mm}$               |                            | $40\text{mm} \leq t_f \leq 100\text{mm}$ |                            |
|                                    | $f_y$ (N/mm <sup>2</sup> )           | $f_u$ (N/mm <sup>2</sup> ) | $f_y$ (N/mm <sup>2</sup> )               | $f_u$ (N/mm <sup>2</sup> ) |
| S235                               | 235                                  | 360                        | 215                                      | 340                        |
| S275                               | 275                                  | 430                        | 255                                      | 410                        |
| S355                               | 355                                  | 510                        | 335                                      | 490                        |
| Elastisite Modülü                  | $E_a = 210000$ (N/mm <sup>2</sup> )  |                            |                                          |                            |
| Kayma Modülü                       | $G_a = 81000$ (N/mm <sup>2</sup> )   |                            |                                          |                            |
| Doğrusal termal genleşme katsayısı | $\alpha_T = 10 \times 10^{-6}$ (/°C) |                            |                                          |                            |
| Yoğunluk                           | $\rho_a = 7850$ (kg/m <sup>3</sup> ) |                            |                                          |                            |

burada,  $f_y$ , çelik profil akma dayanımı,  $f_u$ , çelik profil kopma dayanımı,  $t_f$ , haddelenmiş çelik profilde başlık kalınlığı ve kaynaklanmış çelik profilde parça kalınlığıdır.

### 2.2.4. Donatı

Yönetmeliklerde, çelik-beton kompozit kirişlerde kullanılacak donatı çeliğinin akma dayanımının 500 MPa’dan düşük olması gerektiği belirtilmektedir.

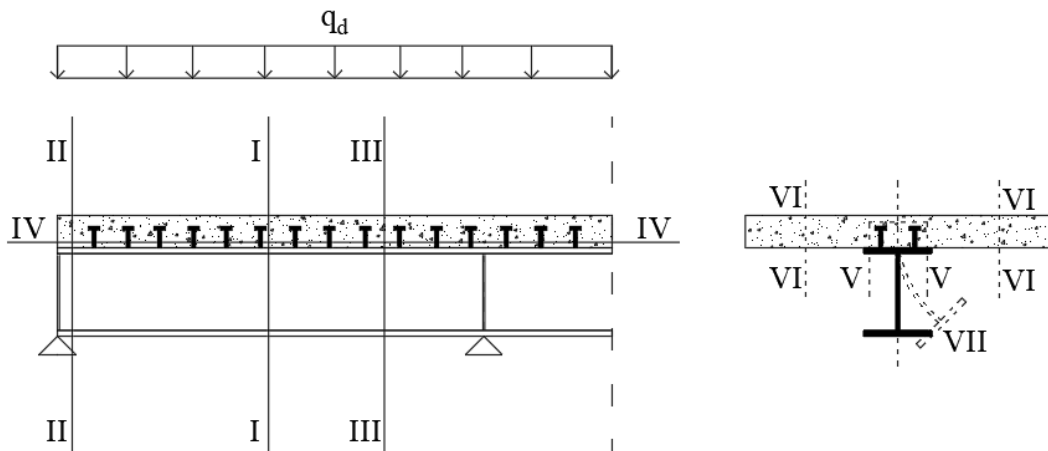
## 2.3. Çelik-Beton Kompozit Kirişlerin Yönetmeliklere Göre Tasarım Hesaplamaları

Çelik-beton kompozit kirişlerin dayanımı, yönetmeliklerde belirtilen plastik gerilme dağılımı yöntemi, şekil değiştirme uygunluk yöntemi, elastik gerilim dağılım yöntemi

ya da etkin gerilme-şekil değiştirme yöntemlerine göre kesit analizi çözümünden belirlenebilmektedir.

Tez çalışması ile ilgili ön modellerin oluşturulabilmesi amacıyla, çelik-beton kompozit yapılarla ilgili Eurocode 4 Bölüm 1-1, Eurocode 4 Bölüm 2, AISC-360-16 ve Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar yönetmelikleri incelenmiştir. Bu dört yönetmelikte, kompozit kesitlerin karakteristik dayanımlarının belirlenebilmesi için plastik gerilme dağılımı ve etkin gerilme-şekil değiştirme ilişkilerine dayalı çözüm yöntemleri ile çözüm yapılabileceği belirtilmektedir. Ancak Eurocode 4 Bölüm 2’de, kesitlerin eğilme dayanımı belirlenirken etkin kesitin Sınıf 1 ve Sınıf 2 kesitlerini sağlaması ve öngerme halatlarının kullanılmadığı durumlarda plastik gerilme yönteminin kullanılabileceği belirtilmektedir. Yine aynı yönetmelikte doğrusal olmayan yöntemin kullanılabilmesi için, boyuna kesme kırılmasının oluşmasına izin vermeyecek şekilde kesme bağlantısı elemanları ve enine donatı boyutlandırması yapılmış ise kompozit enkesitin eğilme sırasında düzlem kaldığı varsayımı yapılabileceği ifade edilmektedir.

Çelik-beton kompozit kirişler farklı elemanların bir araya getirilerek oluşturulmasından dolayı farklı başarısızlık durumlarına sahiptir. Şekil 2.6’da çelik-beton kompozit kirişlerde oluşabilecek başarısızlık durumları gösterilmiştir. Tasarım hesaplamalarında, çelik-beton kompozit kirişlerin aşağıda belirtilen başarısızlık durumlarının dikkate alınarak doğrulanması gerekmektedir.



Şekil 2. 6. Tasarım hesaplamaları için kullanılacak kritik kesitler

|              |                                                                                         |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| I-I          | Eğilme momenti etkisindeki kompozit kirişte çelik profil alt başlığının akması          |
| II-II        | Düşey kesme etkisinde beton tabliyede oluşan kesme hasarı                               |
| III-III      | Eğilme momenti ve düşey kesme kuvveti etkileşiminde kompozit kiriş hasarı               |
| IV-IV        | Kayma çivilerinin kopması                                                               |
| V-V ve VI-VI | Boyuna doğrultuda beton tabliyenin kesme hasarına uğraması ve enine donatının etkinliği |
| VII-VII      | Çelik profilin yanal burulmalı burkulması                                               |

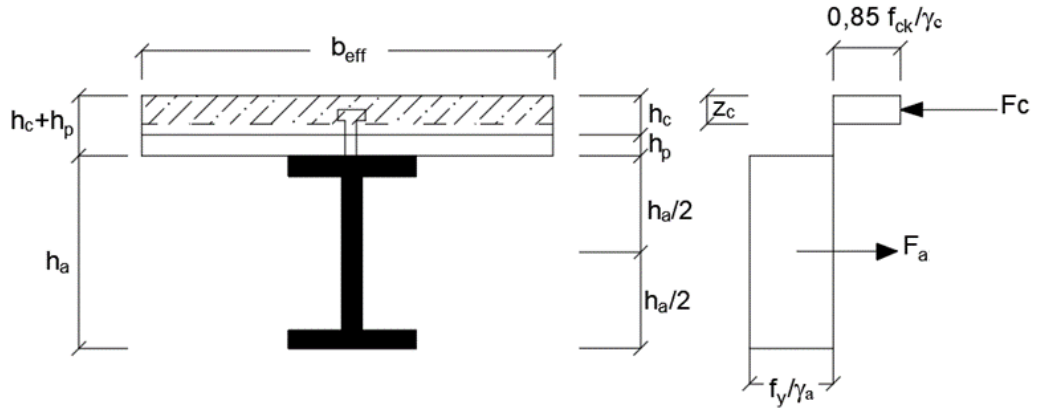
Çelik profil kesitlerinin Sınıf 1 veya Sınıf 2 olması durumunda tasarım eğilme dayanımı plastik teori kullanılarak hesaplanabilir. Basit mesnetli çelik-beton kompozit kirişlerde 3. başarısızlık durumu olan eğilme momenti-düşey kesme kuvveti etkileşimi tasarım hesaplamalarında dikkate alınmayabilir.

### 2.3.1. Eğilmeye göre tasarım

Çelik-beton kompozit kirişlerin tasarım moment dayanımı plastik gerilme dağılımı yöntemi ile belirlenebilir. Ancak, plastik gerilme dağılımı yönteminin kullanılabilmesi için çelik profil kiriş kesitinin Sınıf 1 veya Sınıf 2'ye ait olması gerekmektedir. Elastik analiz veya doğrusal olmayan teori kullanılacak ise kesit sınırlaması yoktur. Ayrıca, yönetmeliklerdeki tasarım hesaplamalarında betonun çekme dayanımı ihmal edilmektedir.

#### 2.3.1.1. Pozitif moment

Tasarım momenti, plastik gerilme dağılımı yöntemi ile hesaplanacak ise plastik tarafsız eksenin konumunun belirlenmesi gerekmektedir. Pozitif moment durumu için plastik tarafsız eksen beton tabliye içerisinde, çelik kiriş üst başlığında veya çelik kiriş gövdesinde yer alabilir. Bu 3 durum için plastik gerilme dağılımları Şekil 2.7, Şekil 2.8 ve Şekil 2.9'da gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Plastik tarafsız eksenin beton tabliye içerisinde olması durumu (plastik gerilme dağılımı yöntemi)

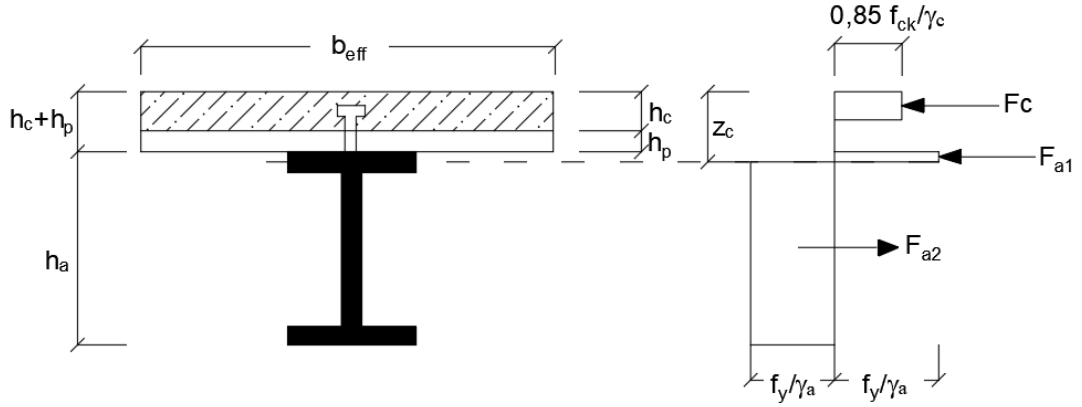
Çelik-beton kompozit kirişlerde plastik tarafsız eksen beton tabliye içerisinde ise tasarım momenti Denklem 2.1, Denklem 2.2 ve Denklem 2.3 kullanılarak hesaplanabilir.

$$F_a = \frac{A_a f_y}{\gamma_a} \quad (2.1)$$

$$z_c = \frac{F_a}{\left(0,85 b_{eff} \frac{f_{ck}}{\gamma_c}\right)} \leq h_c \quad (2.2)$$

$$M_{pl,Rd} = F_a \left( \frac{h_a}{2} + h_c + h_p - \frac{z_c}{2} \right) \quad (2.3)$$

burada,  $F_a$ , çelik profil kirişte oluşan normal kuvvet,  $A_a$ , çelik profil kirişin kesit alanı,  $f_y$ , çelik profil kirişin akma dayanımı,  $\gamma_a$ , çelik kirişin malzeme güvenlik katsayısı,  $z_c$ , plastik tarafsız eksenin beton tabliye üst kotuna olan uzaklığı,  $b_{eff}$ , etkin beton tabliye genişliği,  $f_{ck}$ , beton karakteristik silindirik dayanımı,  $\gamma_c$ , beton malzeme için güvenlik katsayısı,  $h_c$ , profillenmiş çelik saçın dişlerinin üzerinde kalan beton yüksekliği,  $M_{pl,Rd}$ , tam kesme bağlantılı kompozit kesitin tasarım plastik moment dayanımı,  $h_a$ , çelik profil kirişin yüksekliği,  $h_p$  ise profillenmiş çelik saçın diş yüksekliğidir.



Şekil 2.8. Tarafsız eksenin çelik başlıkta olması durumu (plastik gerilme dağılımı yöntemi)

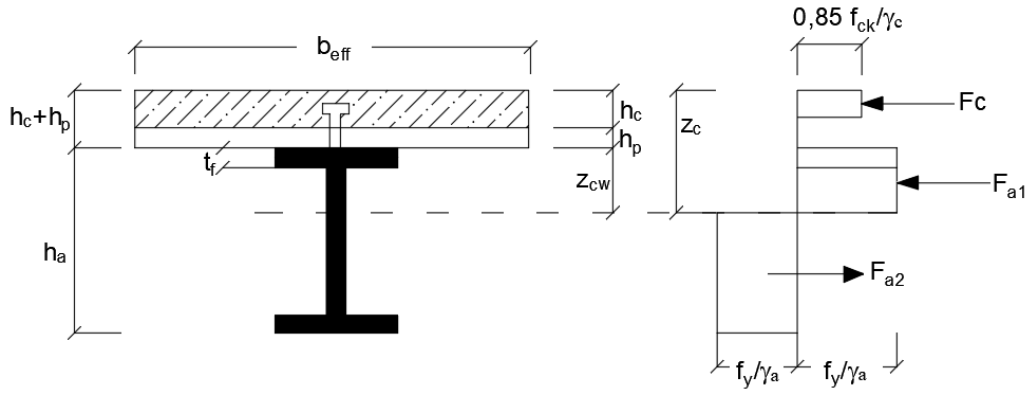
Çelik-beton kompozit kirişlerde plastik tarafsız eksen çelik kiriş başlığında ise tasarım momenti Denklem 2.4, Denklem 2.5 ve Denklem 2.6 kullanılarak hesaplanabilir. Tarafsız eksenin çelik başlıkta olabilmesi için  $F_a > F_c > F_w$  şartı sağlanmalıdır.

$$F_c = \frac{h_c b_{eff} 0,85 f_{ck}}{\gamma_c} \quad (2.4)$$

$$F_w = \frac{h_i t_w f_y}{\gamma_a} \quad (2.5)$$

$$M_{pl,Rd} = F_a \frac{h_a}{2} + \frac{F_c (2h_p + h_c)}{2} \quad (2.6)$$

burada,  $F_c$ , beton tabliyede oluşan normal kuvvet,  $h_c$ , profillenmiş çelik saçın dışlarının üzerinde kalan beton yüksekliği,  $b_{eff}$ , etkin beton tabliye genişliği,  $f_{ck}$ , beton karakteristik silindir dayanımı,  $\gamma_c$ , beton malzeme için güvenlik katsayısı,  $F_w$ , çelik profil kiriş gövdesinde oluşan normal kuvvet,  $h_i$ , çelik profil kiriş gövde yüksekliği,  $t_w$ , çelik profil kiriş gövde kalınlığı,  $f_y$ , çelik profil kirişin akma dayanımı,  $\gamma_a$ , çelik kirişin malzeme güvenlik katsayısı,  $M_{pl,Rd}$ , tam kesme bağlantılı kompozit kesitin tasarım plastik moment dayanımı,  $F_a$ , çelik profil kirişte oluşan normal kuvvet,  $h_a$ , çelik profil kirişin yüksekliği,  $h_c$ , profillenmiş çelik saçın dışlarının üzerinde kalan beton yüksekliği,  $h_p$  ise profillenmiş çelik saçın dış yüksekliğidir.



Şekil 2.9. Plastik tarafsız eksenin çelik kiriş gövdesinde olma durumu (plastik gerilme dağılımı yöntemi)

Plastik tarafsız eksenin çelik kiriş gövdesinde olabilmesi için  $F_c < F_w$  şartının gerçekleşmesi gerekmektedir. Çelik-beton kompozit kirişlerde plastik tarafsız eksen çelik kiriş gövdesinde ise tasarım momenti Denklem 2.7, Denklem 2.8 ve Denklem 2.9 kullanılarak hesaplanabilir.

$$z_{cw} = 0,5h_a - \frac{F_c}{\left(\frac{2t_w f_y}{\gamma_a}\right)} \quad (2.7)$$

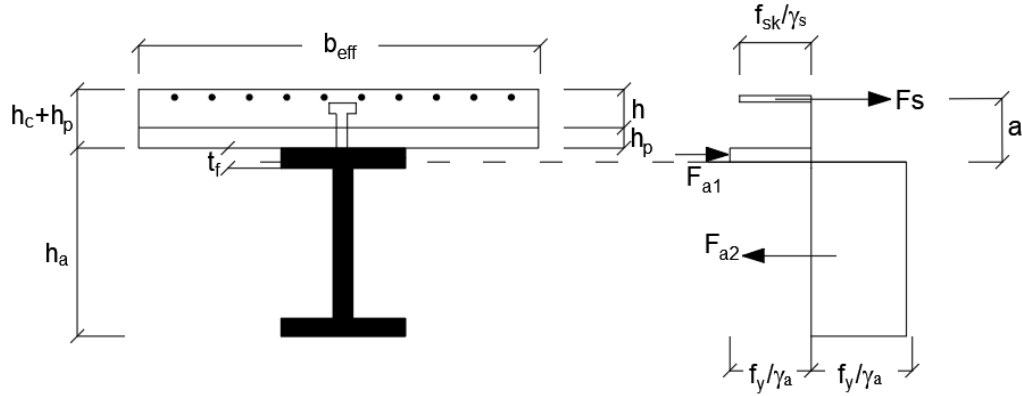
$$z_c = h_c + h_p + z_{cw} \quad (2.8)$$

$$M_{pl,Rd} = M_{apl,Rd} + \frac{F_c(h_a + 2h_p + h_c)}{2} - \frac{F_c^2}{\left(\frac{4t_w f_y}{\gamma_a}\right)} \quad (2.9)$$

burada,  $z_{cw}$ , plastik tarafsız eksen ile tabliye betonu alt kotu arasındaki mesafedir,  $h_a$ , çelik profil kirişin yüksekliği,  $F_c$ , beton tabliyede oluşan normal kuvvet,  $h_c$ , profillenmiş çelik saçın dışlarının üzerinde kalan beton yüksekliği,  $t_w$ , çelik profil kiriş gövde kalınlığı,  $f_y$ , çelik profil kirişin akma dayanımı,  $\gamma_a$ , çelik kirişin malzeme güvenlik katsayısı,  $z_c$ , plastik tarafsız eksen ile tabliye betonu üst kotu arasındaki mesafedir,  $h_c$ , profillenmiş çelik saçın dışlarının üzerinde kalan beton yüksekliği,  $h_p$  ise profillenmiş çelik saçın dış yüksekliği,  $M_{pl,Rd}$ , tam kesme bağlantılı kompozit kesitin tasarım plastik moment dayanımı,  $M_{apl,Rd}$ , sadece çelik profil kesitin plastik moment dayanımıdır.

### 2.3.1.2. Negatif moment

Negatif eğilme etkisindeki çelik-beton kompozit kirişlerde donatı çelik profil kirişin üst başlığından  $a$  mesafesi kadar yukarıda konumlandırılmaktadır (Şekil 2.10 ve Şekil 2.11). Negatif eğilme momenti  $M_{pl,Rd}$ 'nin hesaplanması plastik tarafsız eksenin konumuna bağlıdır. Plastik tarafsız eksenin konumu çelik kirişin gövdesinde veya çelik kiriş üst başlığında olabilir. Şekil 2.10, plastik tarafsız eksenin çelik kiriş üst başlığında olduğu durumdaki gerilme dağılımlarını göstermektedir. Bu durumun oluşabilmesi için  $F_a > F_s > F_w$  koşulunun sağlanması gerekmektedir. Burada  $F_a$  çelik kesitte oluşan normal kuvvet,  $F_s$  donatıda oluşan normal kuvvet,  $F_w$  çelik kiriş gövdesinde oluşan normal kuvvettir. Plastik tarafsız eksen çelik kirişin üst başlığında ise negatif eğilme momenti  $M_{pl,Rd}$  Denklem 2.10, Denklem 2.11, Denklem 2.12 kullanılarak hesaplanabilir.

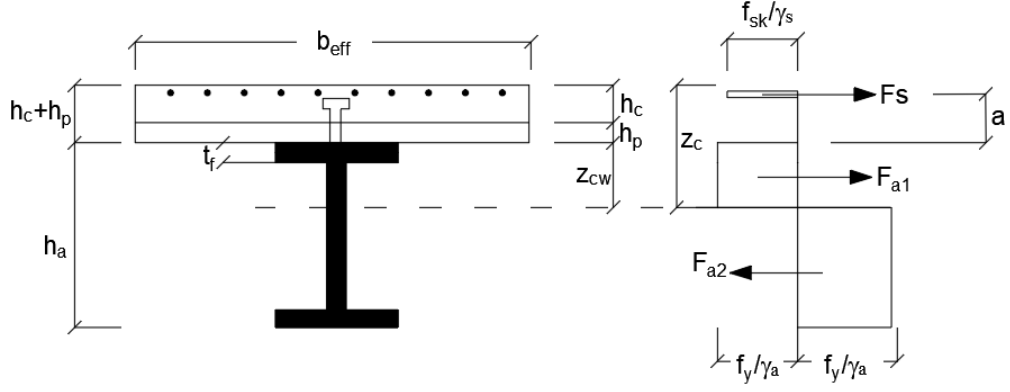


Şekil 2.10. Plastik tarafsız eksenin çelik başlıkta olması durumu (plastik gerilme dağılımı yöntemi)

$$F_a = \frac{A_a f_y}{\gamma_a} \quad (2.10)$$

$$F_s = \frac{A_s f_{sk}}{\gamma_s} \quad (2.11)$$

$$M_{pl,Rd} = \frac{F_a h_a}{2} + F_s a \quad (2.12)$$



Şekil 2. 11. Plastik tarafsız eksenin çelik kiriş gövdesinde olma durumu (plastik gerilme dağılımı yöntemi)

Plastik tarafsız eksenin çelik kiriş gövdesinde olması  $F_s < F_w$  koşuluna bağlıdır. Plastik tarafsız eksen çelik kiriş gövdesinde ise negatif eğilme momenti  $M_{pl,Rd}$  Denklem 2.13, Denklem 2.14, Denklem 2.15 kullanılarak hesaplanabilir.

$$z_{cw} = \frac{h_a}{2} - \frac{F_s}{\left(\frac{2t_w f_y}{\gamma_a}\right)} \quad (2.13)$$

$$z_c = h_c + h_p + z_{cw} \quad (2.14)$$

$$M_{pl,Rd} = M_{apl,Rd} + F_s \left( \frac{h_a}{2} + a \right) - \frac{F_s^2}{\left(\frac{4t_w f_y}{\gamma_a}\right)} \quad (2.15)$$

Denklem 2.15 de verilen  $M_{pl,Rd}$  çelik kesitin plastik momenti,  $F_s$  donatıda oluşan normal kuvvet,  $h_a$  çelik kesit yüksekliğidir.

### 2.3.2. Dikey kesmeye göre tasarım

Yönetmeliklerde, beton tabliyenin kesme dayanımına katkısı ihmal edilerek kesme kuvvetinin sadece çelik profil kirişin gövdesi ile karşılandığı varsayılmaktadır. Bu nedenle, tasarım kesme kuvveti  $V_{sd}$ , çelik kesitin plastik kesme kuvvetinden  $V_{pl,Rd}$  daha az olmalıdır. Çelik kesitin plastik kesme kuvveti Denklem 2.16 kullanılarak hesaplanabilir.

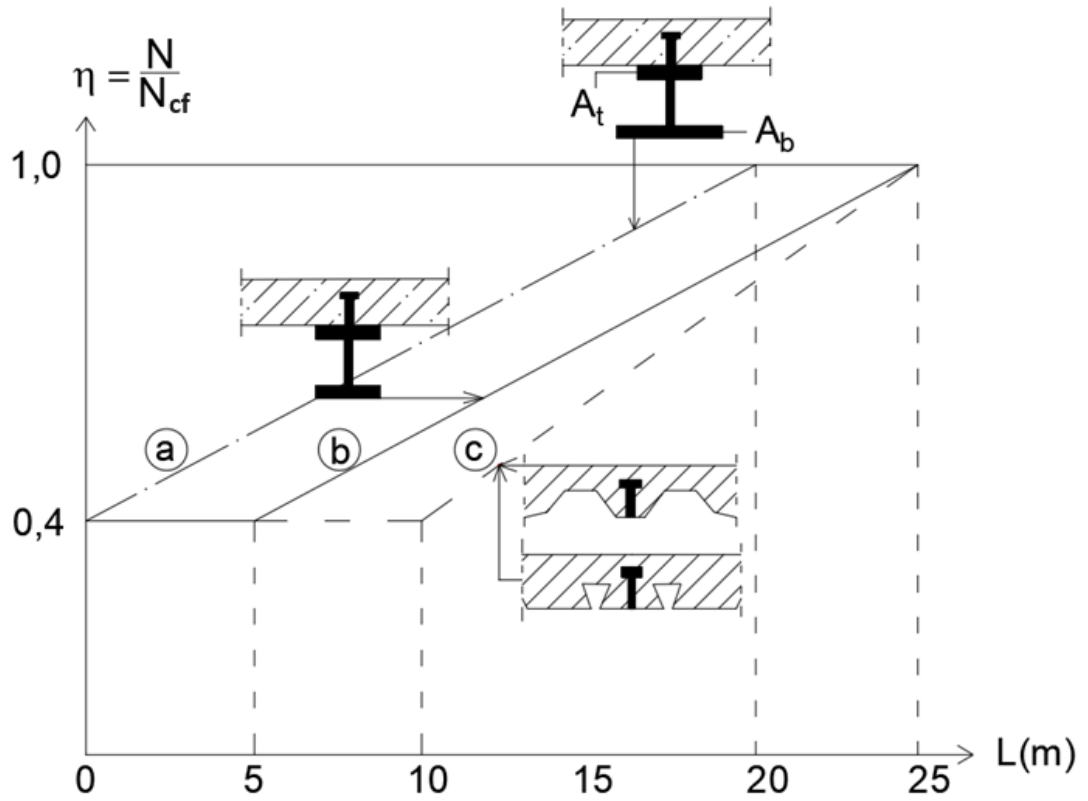
$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v(f_y/\sqrt{3})}{\gamma_a} \quad (2.16)$$

burada,  $f_y$ , çelik kesit akma dayanımı,  $\gamma_a$  çelik malzeme için güvenlik katsayısı,  $A_v$  çelik kesitin kesme alanıdır.

### 2.3.3. Kayma bağlantı elemanlarının dayanımına göre tasarım

Çelik-beton kompozit kirişlerde, kayma çivilerinin çelik profil kirişe kaynaklanmasıyla beton tabliye ile çelik profil kiriş arasında kilitlenme sağlanmaktadır. Bunun yanında, tabliye betonu mukavemetini aldıktan sonra çelik kiriş üst başlığı ile beton tabliyenin altındaki arayüzeyde bir kimyasal bağ oluşmaktadır. Gerçekte, bu iki durumun kombinasyonu ile çelik-beton kompozit kirişlerde kompozit etki oluşmaktadır. Ancak yönetmeliklerde kimyasal bağ güvenilir kabul edilir ve kompozit etkinin sadece kayma çivileri aracılığı ile oluşacağı varsayımı ile tasarım hesaplamaları yapılır.

Eurocode 4 yönetmeliğinde, çelik-beton kompozit kirişlerde kompozit etkinin belirlenebilmesi için kısmi ve tam etkileşim durumları belirtilmektedir. Bu durum, eğilme momentinin en büyük olduğu ve sıfır olduğu kesitler arasında oluşan boyuna kesme kuvvetinin ( $V_1$ ) bir adet kayma çivisi dayanımına ( $P_{RD}$ ) bölünmesiyle elde edilen gerekli kayma çivisi sayısı ( $N_{cf}$ ) ile belirlenmektedir. Eğer, tasarlanacak çelik-beton kompozit kirişte gerekli kayma çivisi sayısı kadar kayma çivisi kullanılacak ise bu tür kompozit kirişlere tam etkileşimli kompozit kiriş denilmektedir. Eğer, gerekli kayma çivisi sayısından daha az kayma çivisi kullanılarak kiriş tasarımı yapılacak ise bu tür kompozit kirişlere de kısmi etkileşimli kompozit kiriş denilmektedir. Şekil 2.12’de Eurocode 4’de kesitlere göre belirtilen minimum bağlantı dereceleri gösterilmiştir.



Şekil 2.12. Minimum bağlantı dereceleri

Şekil 2.12 incelendiğinde minimum bağlantı derecesinin 0,4 olması gerektiği görülmektedir. Ayrıca, Şekil 2.12’de minimum kesme bağlantı dereceleri 3 kiriş türü için sınırları çizilmiştir. Bu sınırlar Denklem 2.17, Denklem 2.18, Denklem 2.19 kullanılarak hesaplanabilir.

$$\frac{N}{N_{cf}} \geq 0,4 + 0,03L \quad 3A_t \geq A_b \text{ ise} \quad (2.17)$$

$$\frac{N}{N_{cf}} \geq 0,25 + 0,03L \quad A_t = A_b \text{ ise} \quad (2.18)$$

$$\frac{N}{N_{cf}} \geq 0,04L \quad A_t = A_b \text{ ise} \quad (2.19)$$

burada,  $A_t$  çelik profil üst başlık alanı,  $A_b$  çelik profil alt başlık alanı,  $N$  kayma çivisi sayısı,  $N_{cf}$ , tam kesme bağlantısı için gerekli kayma çivisi sayısı,  $L$  kiriş açıklığı,  $N/N_{cf}=\eta$  ise bağlantı derecesidir.

Kompozit kirişlerde ideal plastik davranışın sağlanabilmesi için kayma çivilerinin sünek olması istenir. Kayma çivisinin boyu gövde çapının 4 katından büyük ise bu tür

kayma çivileri sünek olarak kabul edilebilir. Ayrıca, yönetmelikler boyuna kesmenin oluşmaması için kayma çivilerinin deforme olabilmesini sağlamak amacıyla kayma çivisinin kopma dayanımlarına üst sınır getirmektedir. Bu sınır kayma çivisi kopma dayanımı için 500 MPa'dır.

Kayma çivisi tasarım kesme dayanımı  $P_{Rd}$ , Denklem 2.20 ve Denklem 2.21 in hesabı sonucu küçük değer alınarak belirlenmektedir. Denklem 2.20 bir adet kayma çivisinin dayanım hesabıdır. Denklem 2.21 ise beton tabliyenin tasarım kesme dayanımıdır.

$$P_{Rd} = 0,8 f_u \frac{\left(\frac{\pi d^2}{4}\right)}{\gamma_v} \quad (2.20)$$

$$P_{Rd} = 0,29 \alpha_s d^2 \sqrt{\frac{f_{ck} E_{cm}}{\gamma_v}} \quad (2.21)$$

burada,  $d$  kayma çivisi gövde çapı,  $h$  kayma çivisi yüksekliği,  $f_u$ , kayma çivisi kopma mukavemeti,  $\gamma_v$ , kayma çivisi için kısmi güvenlik faktörü,  $E_{cm}$  beton elastisite modülü,  $f_{ck}$ , beton basınç dayanımı,  $\alpha_s$  katsayısı sünek kayma çivileri için 1'dir.

#### 2.3.4. Boyuna kesme dayanımına göre tasarım

Tam kesme bağlantısının hesaplanabilmesi için tasarım boyuna kesme kuvvetinin ve kayma çivisinin dayanımının hesaplanması gereklidir. Eğilme momentinin maksimum olduğu nokta ile eğilme momentinin sıfır olduğu noktalar arasındaki tasarım boyuna kesme kuvveti Denklem 2.22'den hesaplanabilir.

$$V_l = F_{cf} \begin{cases} F_{cf} = \frac{A_a f_y}{\gamma_a} \\ F_{cf} = \frac{0.85 f_{ck} b_{eff} h_c}{\gamma_c} \end{cases} \quad (2.22)$$

burada,  $V_l$ , tasarım boyuna kesme kuvveti,  $A_a$ , çelik profil kirişin kesit alanı,  $f_y$ , çelik profil kirişin akma dayanımı,  $\gamma_a$ , çelik profil kiriş için güvenlik faktörü,  $f_{ck}$ , beton

karakteristik basınç dayanımı,  $b_{eff}$ , beton tabliye etkin genişliği,  $h_c$ , beton tabliye yükseliği,  $\gamma_c$ , beton güvenlik faktörüdür.

Denklem 2.22’de eşitliğin sağ tarafında bulunan  $F_{cf}$  kesme kuvvetleri hem beton tabliyenin başarısızlığı hem de çelik profil kirişin başarısızlığı için ayrı ayrı hesaplanmakta ve bulunan bu iki değerden küçük olanı tasarım boyuna kesme kuvveti olarak belirlenmektedir.

### **2.3.5. Çelik kiriş alt başlığının yanal burulmalı burkulma durumuna göre tasarımı**

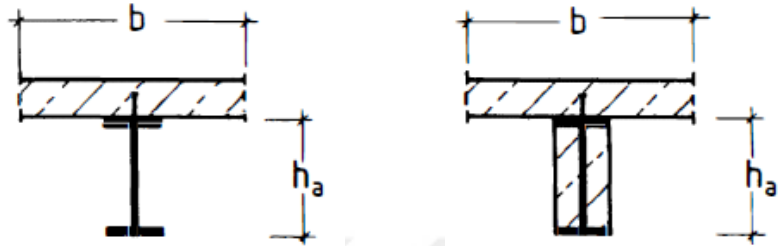
Basit mesnetli çelik-beton kompozit kirişlerde, beton tabliyenin çelik üst başlığın yanal olarak hareket etmesini kısıtladığı varsayılır. Bu nedenle basit mesnetli kompozit kirişlerde yanal burukulmanın kontrol edilmesine gerek yoktur. Sürekli kompozit kirişlerin negatif moment bölgelerinde ise çelik profil alt başlığı basınç etkisine maruz kalır. Alt başlığın yanal burkulma eğilimini, enine kesitin distorsiyonel rijitliği belirlemektedir. Çizelge 2.9’da çelik kirişlerin yanal burulma burkulmasını engellemek için maksimum kiriş yükseklikleri (ha) sunulmuştur. Ayrıca, çelik kirişlerin gövdelerine berkitme levhaları ile güçlendirme yapılarak çelik kirişin alt ve üst başlıkları tutulur. Bu şekilde, çelik kirişin yanal burulma burkulmasına daha dirençli kiriş yükseklikleri elde edilebilir.

Sürekli çelik-beton kompozit kirişler için aşağıdaki koşullar sağlandığında yanal stabilite hesaplarının yapılmasına gerek yoktur:

- Bitişik açıklıkların uzunlukları arasında kısa açıklığın %20'sinden fazla farklılık yok ise veya konsol uzunluğu bitişik açıklığın uzunluğun en fazla %15'i kadar ise,
- Her bir açıklık üzerindeki yük eşit olarak dağılmış ve kalıcı yük toplam tasarım yükünün %40'ından fazla ise,
- Kayma çivilerinin yerleşim aralıkları ve boyutları Bölüm 2.1.1’i sağlıyor ve en az minimum kesme bağlantı derecesi şartını sağlayacak kadar kayma çivisi kullanılmış ise,

- Tüm HEB profilleri, yanal burulma burkulması gereksinimlerini karşılamaktadır.
- IPE profilleri için, Çizelge 2.9'daki veriler ile birlikte çelik kiriş kesiti için derinlik/genişlik oranının 2,75'den daha az olması koşulu sağlanmalıdır.

Çizelge 2.9. Sürekli kirişlerin negatif moment bölgelerinde yanal burulma burkulmasını önlemek için çelik kirişin maksimum derinliği ( $h_a$ )



| Çelik Profil | S235 | S275 | S355 | S235 | S275 | S355 |
|--------------|------|------|------|------|------|------|
| IPE          | 600  | 550  | 400  | 800  | 750  | 600  |
| HEA          | 800  | 700  | 650  | 1000 | 900  | 850  |

### 3. KAYNAK ÖZETLERİ

Çelik-beton kompozit kirişler, ince beton tabliyeye sahip birbirine bağlı bir dizi T kirişten oluşur. Böyle bir sistemde beton tabliye genişliği kayma gecikmesi nedeniyle basınç dayanımında tam olarak etkili olamayabilir. Etkin genişlik kavramı, genellikle kayma gecikmesi sorununun basitleştirilmesi olarak benimsenir (Chen ve Zhang, 2006).

Chen ve Zhang (2006), öngerme halatlı çelik-beton kompozit kirişlerin etkin beton genişliğini sonlu elemanlar analizlerine dayanarak incelemişlerdir. Öngerilmeli çelik-beton kompozit kirişlerde etkin beton genişliğini belirleyebilmek için kesme bağlantı derecesini, halatlardaki öngerilme kuvvetinin etkisini, kiriş açıklığı/ kiriş kesit yüksekliğini ve beton tabliye genişliği/ kiriş açıklık oranlarını dikkate dikkate alarak sonlu eleman analizleri gerçekleştirmişlerdir. Sonlu eleman analiz sonuçlarında, beton döşemenin etkin genişliğinin kiriş eksen boyunca değiştiğini, maksimum etkin beton genişliğinin kiriş orta açıklık bölgesinde olduğunu ve mesnet noktalarına doğru ilerledikçe etkin beton genişlik değerinin azaldığını tespit etmişlerdir. Halatlar ile öngerilme verilen çelik-beton kompozit kirişlerde 0,6'dan büyük kesme bağlantı derecesi sağlanır ise çelik kiriş ile beton arasındaki kaymaların ihmal edilebilir düzeyde olduğunu bildirmişlerdir.

Öngerme halatlı çelik-beton kompozit kirişlerin eğilme kapasitesinin 3 boyutlu analiz yapılmadan hesaplanabilmesi için bazı araştırmacılar kesit analizine dayanan bazı araştırmacılar ise analitik modellere dayanan formülasyon önerileri sunmuşlardır.

Dall'Asta ve arkadaşları (2006), çalışmalarında daha önce deneysel olarak pozitif eğilme altında incelenen öngerilmeli çelik-beton kompozit kirişlerin verilerini baz alarak küçük şekil değiştirmeler hipotezine dayanan analitik model önermişlerdir. Analitik model, düşey yerdeğiştirmelere göre değişen halat açısını, halat dış merkezliğini ve doğrusal olmayan geometriyi dikkate almaktadır. Geometrik olarak doğrusal analitik hesaplamalar yapıldığında, özellikle değişken halat konumlandırmasına sahip öngerilmeli çelik-beton kompozit kirişlerin nihai durumdaki kapasitesi deneysel sonuçlara göre %15'e kadar fazla hesapladığını tespit etmişlerdir. Değişken halat konumlandırması yapılarak oluşturulan öngerilmeli çelik-beton

kompozit kirişlerin nihai durumdaki kapasite hesaplarında doğrusal olmayan geometrik etkilerin dikkate alınması gerektiğini belirtmişlerdir.

Zona ve arkadaşları (2009), öngerme halatlı çelik beton kompozit kirişlerin eğilme kapasitesini ve öngerme halatlarında oluşan gerilme artışını hesaplayabilecek basitleştirilmiş bir yöntem önerisi sunmuşlardır. Yöntemde, kayma halatlarına sahip dıştan öngerilmeli kirişler için genel bir analitik model kullanır. Bu analitik modelin başarısızlık durumlarını tespit edebilmesi için bazı şekil fonksiyonlarının elde edilmesi gereklidir. Bu amaçla, araştırmacılar 9 adet kiriş örneği için sonlu elemanlar programında doğrusal olmayan analizler gerçekleştirmişlerdir. Sonlu eleman modellerinin analiz sonuçlarından kiriş modellerinin başarısızlık durumuna ait eksenel şekil değiştirme ve eğrilik şekil fonksiyonlarını üretmişlerdir. Şekil fonksiyonlarını katsayı olarak yönteme dahil etmişlerdir. 9 kiriş örneği için önerilen basit yöntem sonuçları ile sonlu eleman modellerinin analiz sonuçlarının birbirine yakın olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar, bu yöntem ile öngerme halatlı çelik-beton kompozit kirişlerin 3 boyutlu sonlu eleman analizine gerek duyulmadan eğilme kapasitelerinin hesaplanabileceğini belirtmişlerdir.

Lou ve arkadaşları (2016), öngerilmeli çelik-beton kompozit kirişlerin kısa ve uzun süreli yükler etkisindeki analiz etmek için sonlu elemanlar modeli geliştirmişlerdir. Modelde, öngerme halatlarının doğrusal olmayan geometrik nedeniyle oluşan halat eksantritesitesi eğilme ve eksenel etkileşim formülasyonu ile modele dahil edilmiştir. Kompozit kesit boyunca farklı malzeme özelliklerini tanımlanabilmesi için katmanlı bir teknik kullanılmıştır. Analiz sonuçlarında, kompozit kirişin kısa vadeli davranışının halatlar sayesinde önemli ölçüde iyileştirebileceğini belirtmişlerdir. Öngerme halatlı kompozit kirişlerin uzun süreli yükleme ile kısa süreli yükleme analiz sonuçlarını karşılaştırmışlar ve aralarında önemli bir fark görülmediğini bildirmişlerdir.

El-Zohairy ve arkadaşları (2020), yüksek mukavemetli çelikten ve geleneksel çelikten üretilen öngerme halatlı kompozit kirişler için kesit analizine dayanan parametrik çalışma gerçekleştirmişlerdir. Kesit analizi sonuçlarını 2 adet deney sonuçları ile doğrulamışlardır. Parametrik çalışma sonunda, ardgerme kuvvetinin daha etkin

kullanılabilmesi için optimum açıklık/derinlik oranının 8-11m arasında olduğunu belirtmişlerdir.

Saadatmanesh ve arkadaşları (1989), gerçekleştirdikleri çalışmada önerilmeli çelik-beton kompozit kirişlerin tasarımında kullanılabilecek pozitif ve negatif moment bölgeleri için yönergeler ve denklem önerileri sunmuşlardır. Sunulan yönergeler ve denklemler ile daha hafif, daha ekonomik kompozit kesitler tasarlanabileceğini ifade etmişlerdir. Bu denklemlerin yeni yapıların tasarımında ve mevcut yapıların iyileştirilmesinde kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Dall'Asta ve Zona (2005), dış halatlar ile önerilmeye tabi tutulan çelik-beton kompozit kirişlerin doğrusal olmayan analizi için sonlu eleman modeli sunmuşlardır. Model, kesme bağlantı elemanlarının deforme olabilmesini ve halatların saptırıcılarda sürtünme olmadan kayabilmesini dikkate alabilmektedir. Modele; beton, donatı, çelik kiriş, kesme bağlantı elemanı ve halat malzemeleri için doğrusal olmayan malzeme modelleri entegre edilebilmektedir. Sonlu eleman modelinin analizinde kesme bağlantı elemanları 6mm kaymaya ulaşırsa kirişin hasar alacağı varsayımında bulunmuşlardır. Sonlu eleman modelinin kullanılabilirliğini literatürdeki deneysel testlerle karşılaştırarak doğrulamışlardır. Önerdikleri yaklaşım ile kompakt kesitli kompozit kirişlerin taşıma kapasitesi hesaplanabilmektedir.

Nie ve arkadaşları (2009), servis yükleri altındaki önerilmeli çelik-beton kompozit kirişlerin yerdeğiştirme hesabını analitik olarak hesaplamışlardır. Ayrıca, önerilmeli çelik-beton sürekli kompozit kirişlerin açıklık bölgesinde oluşacak sehim değerlerinin hesaplanabilmesi için basit bir tablo önerisinde bulunmuşlardır. Analitik hesaplar sonucunda, halatlara uygulanacak önerme kuvvetinin kompozit kirişlerin yapısal davranışını ve nihai durumunu önemli ölçüde değiştirebileceğini belirtmişlerdir.

Batista ve arkadaşları (2019), önerilmeli çelik beton kompozit kirişlerde çelik ve beton arasındaki kısmi etkileşimleri dikkate alan tek boyutlu sonlu eleman formülasyonu önermişlerdir.

Chen (2005), çalışmasında negatif moment etkisindeki 2 adet öngerilmeli çelik-beton kompozit kirişi test ederek betonun çatlama davranışını incelemiştir. Kirişleri, kompakt-tam kesme bağlantılı ve kompakt olmayan-kısmi kesme bağlantılı olacak şekilde BS5400 standardına göre tasarlayarak negatif moment bölgesindeki nihai durumlarını belirlemeye çalışmıştır. Her iki kirişi de iki kez test etmiştir. İlk testte kirişleri yanal burkulma başlayana kadar yüklemiş ve yükü boşaltmıştır. Yükü boşalttığı anda betonda oluşan 1.5-2 cm genişliğindeki enine çatlakların öngerme halatı sayesinde kapandığını gözlemlemiştir. Daha sonra ikinci testte, yükleme aralığını kısaltarak nihai duruma kadar yükleme işlemini gerçekleştirmiştir. Test sonuçlarından; öngerilmeli çelik-beton kompozit kirişler kompakt olarak tasarlanırsa negatif eğilme bölgesindeki başlığın tam plastikleşerek nihai duruma ulaşabileceğini, kompakt olmayan öngerilmeli çelik-beton kompozit kirişlerin nihai durumunun ise yanal burkulmaya ek olarak yerel burkulmayla birlikte oluşan etkileşimli bir modun belirlediğini ifade etmiştir.

El-Zohairy ve Salim (2017), ardgermeli çelik-beton kompozit kirişlerde negatif moment bölgesinde halat konumlandırıldığında betonda gerçekleşen çatlak ilerleyişini sonlu eleman modelleri oluşturarak incelemişlerdir. Analiz sonuçlarına göre; halat betonun alt kısmına konumlandırıldığında, betonda görülen ilk çekme çatlaklarının halatsız kompozit kirişe göre %70 daha fazla yükleme sonucunda oluştuğunu tespit etmişlerdir. Bu halat düzeninde, nihai kapasiteye erişildiğinde halatlı kompozit kirişin %8 daha fazla kapasiteye ulaştığını belirtmişlerdir. Halat betonun içinde kalacak şekilde kılıflı ve kılıfsız olmak üzere iki model daha oluşturmuşlardır. Halatın betonun dışında, betonun içinde kılıflı (kayar) ve betonun içinde gömülü olarak modellendiği durum için betondaki şekil değiştirmelerin bu üç model için sırasıyla 45, 90, 160 kNm moment değerlerinde oluşmaya başladığını tespit etmişlerdir. Ayrıca, halatın betonun dışında ve betonun içinde gömülü olarak modellendiği durumlarda, betonun çatlak genişliğini incelemişler ve halat beton dışında konumlandırıldığında çatlak genişliğinin %50 daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir.

El-Zohairy ve Salim (2017), halat konumlandırması, halat dış merkezliği ve kesme bağlantı derecesi gibi etkileri parametre olarak kabul ederek sonlu elemanlar programında ardgermeli çelik-beton kompozit kirişlerin doğrusal olmayan analizlerini

gerçekleştirmişlerdir. Analiz sonuçlarına göre; dökümlü halat profili kullanmanın daha iyi yapısal davranış gösterdiğini belirtmişlerdir. Halatların dış merkezliğini arttırmada sakal gibi elemanlar kullanılarak halatların verimliliğinin artırılabilceğini belirtmişlerdir. Arđgerme yapılarak güçlendirilecek çelik-beton kompozit kirişlerde optimum performans artışı için en %80 kompozit etkinin sağlanması gerektiğini bildirmişlerdir.

Çelik ve arkadaşları (2020), öngerme halatlı çelik-beton kompozit kirişlerde öngerme halatının kayma çivisi davranışına etkisini araştırmışlardır. Öngerme halatının kayma çivilerinde oluşan gerilmeleri önemli ölçüde azaltabileceğini belirtmişlerdir. Ayrıca kompozit kirişlerde öngerme halatları kullanılır ise kiriş kapasitesinin yaklaşık %50 oranında artırılabilceğini belirtmişlerdir.

Saadatmanesh ve arkadaşları (1989), 2 adet öngerilmeli çelik-beton kompozit kiriş deneysel olarak incelemişlerdir. Deneylerde, kirişlerden biri pozitif eğilme momentine diğeri negatif eğilme momentine maruz bırakılmıştır. Deney sonuçlarından, sistem kapasitesi için yük-sehim ve malzeme hasarının tespiti için yük-şekil değıştirme grafikleri çizdirilmiştir. Kompozit kirişlere eklenen öngerme çubukları, akma kapasitesini ve nihai kapasiteyi önemli ölçüde arttırmıştır. Negatif moment bölgesinin yeterli düzeyde öngerilmesi eğilme rijitliğini artırır ve sehimini azaltır ve bu durumda betonun servis yükleri altında çatlamasını önleyebilir. Beton dökülmeden önce çelik kiriş öngerilme uygulanır ise hem daha az öngerme kuvveti uygulanır hem de sistemde beton olmadığı için kesme bağlantı parçaları ile beton arasında bağıl kaymadan kaynaklanan hasar oluşmaz.

Troitsky vd. (1989), öngerilmeli çelik-beton kompozit kirişleri analitik ve deneysel olarak incelemişlerdir. Deneylerde, 6 metre açıklığındaki kompozit kirişlere 3 farklı halat profili kullanılarak öngerilme ve ardgerme uygulanmıştır. Deney esnasında açıklık boyunca kiriş üst ve alt liflerinde meydana gelen gerilmeleri tespit etmişlerdir. Ayrıca, basit mesnetli köprü kirişleri için halat yerleşimi ve öngerilme uygulama tekniğini dikkate alan analitik formül önerileri sunmuşlardır. Sunmuş oldukları analitik formüller deney sonuçları ile uyumludur.

Ayyub ve arkadaşları (1990), 3 farklı halat profiline sahip öngerilmeli çelik-beton kompozit kirişleri pozitif eğilme momenti altında test etmişlerdir. Test sonuçlarından, kompozit kirişlere halatlar ile öngerilme uygulandığında kiriş elastik davranışının arttığını, sehimlerin azaldığını ve nihai kapasitenin arttığını bildirmişlerdir. Dökümlü halat kullanımının düz halat kullanımına göre daha sünek davranış gösterdiğini belirtmişlerdir. Ayrıca, kesit hesabı için dönüştürülmüş alan yöntemi ile şekil değiştirme uyumluluk yöntemini karşılaştırıp analitik yöntemlerin deney sonuçları ile uyumlu olduğunu ancak beton-çelik arayüzünde tahmin edilenden daha fazla kayma gerçekleştiğinde analitik yöntemlerinin güvenilirliğinin azalabileceğini belirtmişlerdir.

Chen ve Gu (2005), iki adet öngerilmeli çelik-beton kompozit kirişin pozitif moment altındaki davranışını deneysel olarak incelemişlerdir. Öngerme halatlarının güçlendirme yöntemi olarak kullanılabilmesi için iki aşamalı deney gerçekleştirmişlerdir. Deneyin ilk aşamasında, öngerme halatlı çelik-beton kompozit kirişteki halatlara öngerilme uygulamamışlardır. Kirişi bu hali ile alt başlık akmaya başlayıncaya kadar düşey olarak yüklemişlerdir. Deneyin ikinci aşamasında, aynı kirişteki halatlara öngerilme uygulamışlar ve kirişi nihai duruma kadar düşey olarak yüklemişlerdir. Deney sonuçlarına göre; ilk yükleme sonrası kirişte 7,2mm kalıcı deformasyon tespit etmişlerdir. Daha sonra halatlara öngerme kuvveti uyguladıklarında (yaklaşık bir halata 10,7 ton) kirişin düşeyde 4,6mm kadar kendini toparlayabildiğini bildirmişlerdir. Son olarak kirişi nihai duruma (betonda boyuna çatlaklar görülmüş) kadar düşey yüklediklerinde halatlardaki kuvvetin öngerme kuvvetine göre yaklaşık %80 kadar arttığını tespit etmişlerdir. Nihai durumda, halatın elastik sınırlar içinde kaldığını bildirmişlerdir. Ayrıca halatlardaki kuvvet artışını ve nihai kesit kapasitesini hesaplayabilen analitik formül önerisinde bulunmuşlardır.

Xue ve Li (2001), öngerilmeli çelik-beton kompozit kirişlerin sismik performansını incelemek amacıyla 1 adet kompozit kiriş ve 4 adet öngerilmeli kompozit kiriş örneğini çevrimsel yük etkisinde test etmişlerdir. Test esnasında kiriş orta açıklığına ait yerdeğiştirme okumalarını almışlardır. Kiriş orta açıklık sehimini  $L/200$ 'e ulaştığında betonun çatladığını bunun ardından orta açıklık sehimini  $L/100$ 'e ulaştığında çelik kiriş ile beton arasında kaymaların gerçekleştiğini ve son olarak da orta açıklık sehimini  $L/60$ 'a ulaştığında betonun ezilmesine müteakip çelik kirişin burkulduğunu ifade

etmişlerdir. Deney sonuçlarından; öngerilmeli çelik-beton kompozit kirişlerin daha iyi çatlak kapatma ve daha iyi enerji sönümleme kapasitelerinin olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca, altı aylık süre sonunda öngerilmeli çelik-beton kompozit kirişlerin zamana bağlı performanslarını belirleyebilmek amacıyla sünme, büzülme ve gevşeme değerlerini gözlemlemişleridir.

Lorenc ve Kubica (2006), düz ve değişken halat konumlandırması ile öngerilme verilen çelik-beton kompozit kirişleri deneysel olarak incelemişlerdir. Ayrıca çelik profil alt başlığına ekstra çelik plaka ile güçlendirme yapmışlardır. Deney örneklerinin hazırlanmasında, kesme bağlantı derecesini Eurocode 4'e göre dikkate alarak analizlerde çelik kiriş ile beton tabliye arasındaki kaymayı gözlemlemişlerdir. Analiz sonuçlarına göre, aynı dış merkezliğe sahip öngerilme halatının düz veya trapez-üçgen şeklinde konumlandırılmasının nihai durumdaki kapasiteyi etkilemediğini belirtmişlerdir. Çelik-beton kompozit kirişlere öngerme halatı ile güçlendirme uygulandığında kiriş kapasitesinin yaklaşık %25 artış gösterdiğini belirtmişlerdir.

Kambal ve Jia (2018), öngerilmeli ve öngerilmesiz olmak üzere iki adet çelik kutu kirişin pozitif eğilme altında yapısal davranışını deneysel olarak incelemişler ve deney sonuçlarını önerdikleri sonlu eleman formülü ile kıyaslamışlardır. Önerdikleri sonlu eleman formülünün deney sonuçları ile uyumlu olduğunu bildirmişlerdir. Öngerme halatı kullanılarak çelik köprülerde oluşan gerilmelerin azaltılabileceğini belirtmişlerdir.

Lee ve arkadaşları (2015), çelik-beton kompozit kirişlerde, çelik kiriş gövdesini oluklu olacak şekilde tasarlayarak 5 adet farklı kirişin deneysel analizleri gerçekleştirmişlerdir. Halatlara öngerme verilirken ankraj oturması nedeniyle halatlara verilen öngerme kuvvetinde %7'ye yakın kayıp olduğunu tespit etmişlerdir. Deney sonuçlarına göre; öngerilmeli ve kayma çivisi kullanılan kompozit kirişin kapasitesinin öngerilmesiz ve kayma çivisi olmayan kompozit kirişin kapasitesine göre %33 oranında daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir. Kayma çivisi kullanılmayan öngerilmeli ve öngerilmesiz iki kiriş karşılaştırıldığında ise öngerilmeli kirişin kapasitesinin öngerilme olmayan kirişe göre %17 daha fazla kapasiteye sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Chen ve arkadaşları (2009), ikisi öngerilmeli ikisi öngerilmesiz olmak üzere toplam dört adet çelik-beton sürekli kompozit kirişin deneysel testlerini gerçekleştirmişlerdir. Kirişlerin iki tanesi iki açıklık için diğer ikisi ise 3 açıklık için test edilmiştir. İki açıklık için tasarlanan kirişler Eurocode 4'e göre kesit sınıfı 3 ü temsil ederken, üç açıklıklı kirişler Eurocode 4'e göre kesit sınıfı 2'yi temsil etmektedir. Test sonuçlarına göre; iki açıklıklı sürekli kirişlerde öngerilme halatlarının kapasiteyi %11 oranında arttırdığını, üç açıklıklı kirişlerde öngerilme halatlarının kapasiteyi %2 oranında arttırdığını tespit etmişlerdir. Üç açıklıklı kirişlerin negatif moment bölgelerinde, öngerilme halatlarının katkısının %40 olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca halatlara verilen ilk öngerme kuvveti ile nihai durumda halatlarda oluşan kuvveti gözlemlemişler ve halatların elastik bölgede kaldığını tespit etmişlerdir.

İbrahim ve Salman (2015), öngerilmeli çelik-beton sürekli kompozit kirişlerle ilgili sonlu elemanlar modellerine dayanan parametrik bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Parametre olarak; beton basınç dayanımı, halatlara uygulanan öngerilme kuvveti/nihai halat öngerilme kuvveti, kesme bağlantı derecesi, betonarme tabliyenin en/boy oranı ve halat konumlandırmasını belirleyerek doğrusal olmayan analizleri ANSYS programında gerçekleştirmişlerdir. Analiz sonuçlarına göre; Beton basınç dayanımı 20 MPa'dan 60 MPa çıkarıldığında nihai durumdaki kapasitenin ve sehimin sırasıyla %19 ve %63 artış gösterdiğini belirtmişlerdir. Halatlara uygulanan öngerilme kuvveti/nihai halat kuvveti oranı 0,264 'den 0,792 çıkarıldığında kapasite artışının %8 olduğunu belirtmişlerdir. Kirişlerin tam kesme bağlantı derecesine sahip olduğunda kısmi kesme bağlantısına göre daha rijit davrandığı ve bunun da kapasiteyi %3,25 arttırdığını belirtmişlerdir. Betonarme tabliyenin kesit alanı aynı kalmak şartıyla en boy oranı 0,1'den 0,25'e arttırıldığında kapasitenin %6,6 oranında artış gösterdiğini belirtmişlerdir. Öngerme halatını dökümlü biçimde yerleştirmenin düz yerleştirmeye göre kapasiteyi %7 oranında arttırdığını belirtmişlerdir.

Qader ve arkadaşları (2013), deney sonuçlarını baz alarak öngerilmeli çelik-beton sürekli kompozit kirişi sonlu elemanlar programı (ANSYS) ile doğrusal olmayan analizini gerçekleştirmişlerdir. Ansys programı analiz sonuçları ile deney sonuçlarının uyumlu olduğunu bildirmişlerdir.

Liban ve Tayşı (2017), farklı halat konumlandırmasına sahip öngerilmeli çelik-beton konsol kompozit kirişlerin düşey yükleme altında sonlu elemanlar analizlerini Ansys programında gerçekleştirmişlerdir. Halatları; üst düz, alt düz, üçgen, dökümlü ve ters dökümlü şeklinde konumlandırmışlardır. Analiz sonuçlarına göre; konsol kirişlerde halatlar üst düz ve ters dökümlü şeklinde konumlandırıldığında diğer halat konumlandırmalarına göre kapasiteye yaklaşık %20 oranda katkı sağladığını belirtmişlerdir.

El-Zohairy ve arkadaşları (2015), ardgermeli çelik-beton kompozit kirişlerin simülasyonunu betondaki çatlak ilerleyişini dikkate alarak Ansys programında analiz etmişlerdir. Analiz sonuçlarına göre; çelik-beton kompozit kirişlere ardgerme uygulandığında çelik kirişin alt başlığındaki gerilme %29 oranında, kayma çivilerine gelen momentin %16 oranında azaldığını, kompozit kesit rijitliğinin ise ardgermeli olmayan kompozit kirişe kıyasla %33 oranında arttığını tespit etmişlerdir. Uygulanan ardgerme sayesinde pozitif moment kapasitesinin %25 oranında arttığını bildirmişlerdir.

#### **4. MATERYAL VE METOD**

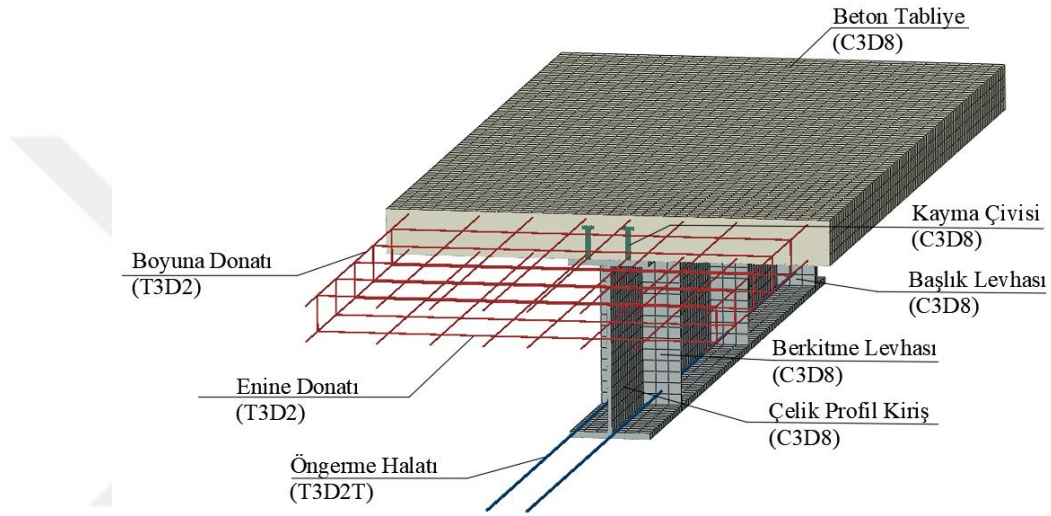
Bu bölümde eleman tipleri, bağlantı elemanları, sınır koşulları, doğrusal olmayan malzeme özellikleri, malzeme hasar parametreleri dikkate alınarak çelik-beton kompozit kirişler ve öngerme halatlı çelik-beton kompozit kirişler için Abaqus programında kullanılan modelleme tekniği anlatılmıştır. Bu tez çalışması kapsamında kullanılan modelleme tekniğinin literatürde mevcut deney sonuçları ile doğrulanması gerekmektedir. Bu amaçla literatürdeki 2 deneysel çalışma dikkate alınmıştır. Bu çalışmalarda test edilen çelik-beton kompozit kirişler ve öngerme halatlı çelik-beton kompozit kirişler için sonlu eleman modelleri oluşturulmuştur. Oluşturulan sonlu eleman modellerinin analizi aşamasında deney yükleme düzeneği ve sınır koşulları dikkate alınmıştır. Bu amaçla çelik-beton kompozit kiriş sonlu eleman modellerinde genel statik analiz seçilerek doğrusal olmayan statik itme analizi gerçekleştirilirken, öngerme halatlı çelik-beton kompozit kiriş sonlu eleman modellerinde birleştirilmiş sıcaklık-deplasman analizi seçilerek doğrusal olmayan statik analiz gerçekleştirilmiştir. Sonlu eleman modellerinin analiz sonuçları ile deney testlerinin sonuçları yük-sehim, moment-sehim ve hasar görselleri üzerinden karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda bu tez çalışması kapsamında kullanılan modelleme tekniğinin doğruluğu teyit edilmiştir.

##### **4.1. Modelleme Teknikleri**

###### **4.1.1. Eleman tipi**

Bu tez çalışması kapsamında öngerme halatlı çelik-beton kompozit kirişlerin sonlu eleman modelleri Abaqus/CAE paket programı kullanılarak oluşturulmuştur (Abaqus, 2011). Çelik profil kiriş, başlık levhaları, berkitme levhaları, kayma çivileri ve beton tabliye homojenleştirilmiş malzeme ile idealize edilip modellemede C3D8 katı eleman tipi kullanılmıştır. C3D8, 8 düğüme sahip doğrusal bir katı elemandır. Bu eleman tipi büyük yer değiştirme ve dönmelere izin verdiği için ikinci mertebe etkileri dikkate alınabilmektedir. Bu nedenle, doğrusal olmayan statik analiz için oldukça uygun eleman tipidir (Ahmed, A., 2014). C3D8 katı elemanı, içerisine donatı tanımlaması yapılabilmesine izin vermektedir. Beton tabliyenin içerisinde yer alan enine/boyuna donatıların modellenmesinde T3D2 çubuk eleman tipi kullanılmıştır. T3D2, iki düğüm

noktasına sahip doğrusal çubuk elemandır. T3D2 çubuk elemanlar, sadece eksenel çekme ve basınç yüklerini taşıyabilir ve eğilme rijitliklerine sahip değildirler. Öngerme halatlarının modellenmesinde ise T3D2T eleman tipi kullanılmıştır. T3D2T, iki düğüm noktasına sahip doğrusal çubuk elemandır. T3D2T çubuk elemanlar, sadece eksenel çekme ve basınç yüklerini taşıyabilir, eğilme rijitlikleri yoktur ve bu eleman tipinde termal etkilere izin verilmektedir. Bu eleman tipine termal etki tanımlaması yapılarak öngerme halatlarına başlangıç gerilmesi verilebilmektedir. Çalışmada kullanılan eleman tipleri Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Eleman tipleri

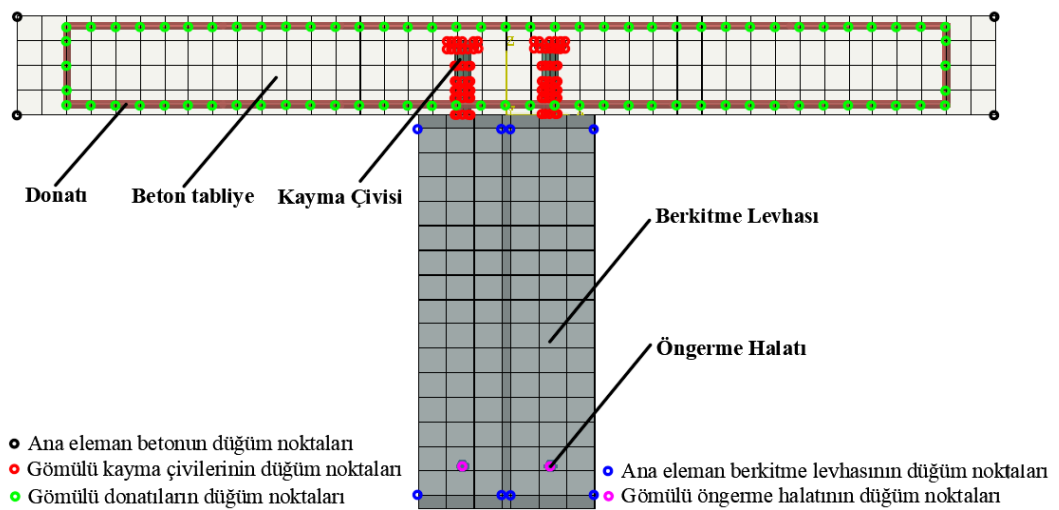
#### 4.1.2. Bağlantı elemanları

Öngerme halatlı çelik-beton kompozit kirişler, birçok elemanın bir araya getirilerek montaj edilmesiyle oluşturulmaktadır. Bu kirişlerin 3 boyutlu sayısal modellerinin oluşturulmasında literatürde kabul görmüş olan Ansys, Abaqus gibi sonlu eleman programlarının kullanılmaktadır. İki programında kendine özgü bağlantı elemanları ve çözüm formülasyonları bulunmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında, çeşitli avantajlarından dolayı sonlu eleman programı olarak Abaqus programı tercih edilmiştir.

#### 4.1.2.1. Gömülü eleman

Gömülü eleman tekniği, bir elemanın veya eleman grubunun "ana" elemanlara gömülü olduğunu belirtmek için kullanılmaktadır. Abaqus programı, gömülü elemanların düğüm noktaları ile ana elemanlar arasındaki geometrik ilişkileri tolerans boyutlarını dikkate alarak belirlemektedir. Gömülü elemanın düğüm noktaları ana elemanın içinde yer alıyorsa, program gömülü elemanın düğüm noktalarındaki ötelenme serbestlik derecelerini ortadan kaldırarak bu düğüm noktalarını "gömülü düğüm" haline getirir. Programda, gömülü düğümün ötelenme serbestlik dereceleri ana elemanın karşılık gelen serbestlik derecelerinin enterpolasyon değerleriyle sınırlandırılır. Program, gömülü elemanların dönme serbestlik derecelerine sahip olmalarına izin vermektedir.

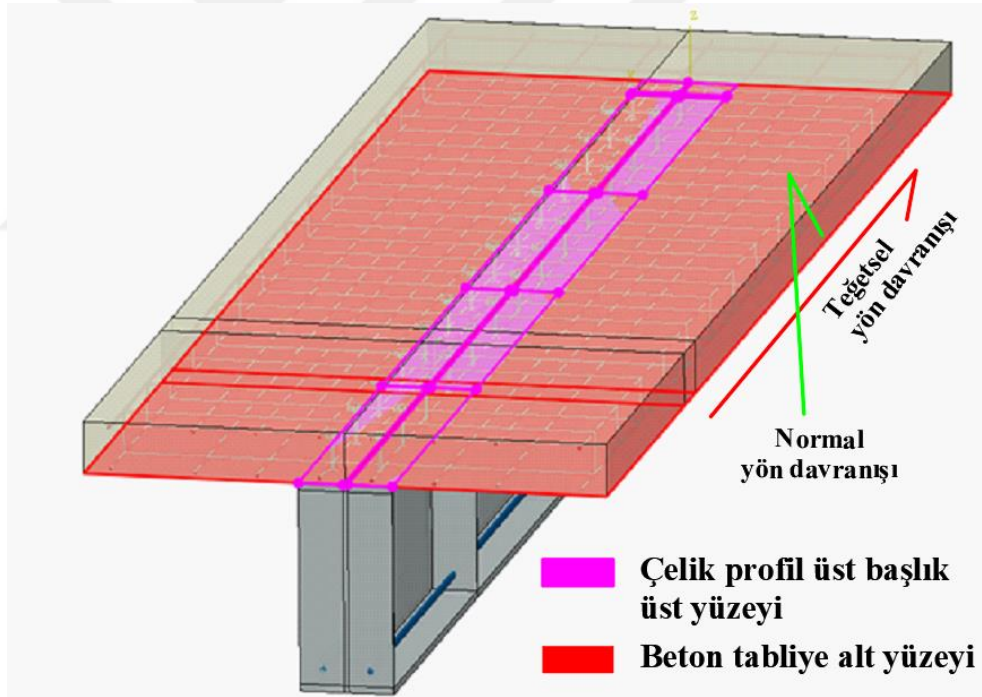
Gömülü eleman tekniğinde katı-çubuk ve katı-katı bağlantı tanımlamaları yapılabilmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken husus ana elemanın katı olarak seçilmesidir. Bu çalışma kapsamında; beton-donatı, beton-kayma çivisi ve berkitme levhası-öngerme halatı arasındaki ilişkiler gömülü eleman tekniği kullanılarak oluşturulmuştur (Şekil 4.2). Beton-donatı arasındaki ilişki tanımlanırken beton ana eleman donatı gömülü eleman olarak seçilmiştir. Beton-kayma çivisi arasındaki ilişki tanımlanırken beton ana eleman kayma çivisi gömülü eleman olarak seçilmiştir. Berkitme levhası-öngerme halatı arasındaki ilişki tanımlanırken berkitme levhası ana eleman öngerme halatı gömülü eleman olarak seçilmiştir.



Şekil 4.2. Gömülü eleman tanımlaması

#### 4.1.2.2. Sürtünmeli arayüz bağlantısı

Abaqus programında birbirine temas eden iki yüzey arasında temas ilişkisi tanımlanabilir. İki yüzey arasındaki temas ilişkisi tanımlanırken normal yön ve teğetsel yön davranışları için bazı kabullerin yapılması gereklidir. Burada normal yön ile yüzeylere dik yöndeki kuvvet aktarımı, teğetsel yön ile yüzeylerin teğet yönündeki sürtünmeli kuvvet aktarımı ifade edilmektedir. Bu çalışma kapsamında, beton tabliye alt yüzeyi ile çelik profil kirişin üst başlığının üst yüzeyi arasında sürtünme temas ilişkisi tanımlaması yapılmıştır (Şekil 4.3). Yüzeyler arasındaki teğetsel yöndeki davranışın temas ilişkisi programa tanımlanırken ceza yöntemi seçilmiş ve sürtünme katsayısı 0,4 olarak programa girilmiştir (Almeida vd., 2022). Yüzeyler arasındaki normal yöndeki davranışın temas ilişkisi programa tanımlanırken sert temas ilişkisi seçilmiş ve temas sonrası ayrılmaya izin verilmiştir.

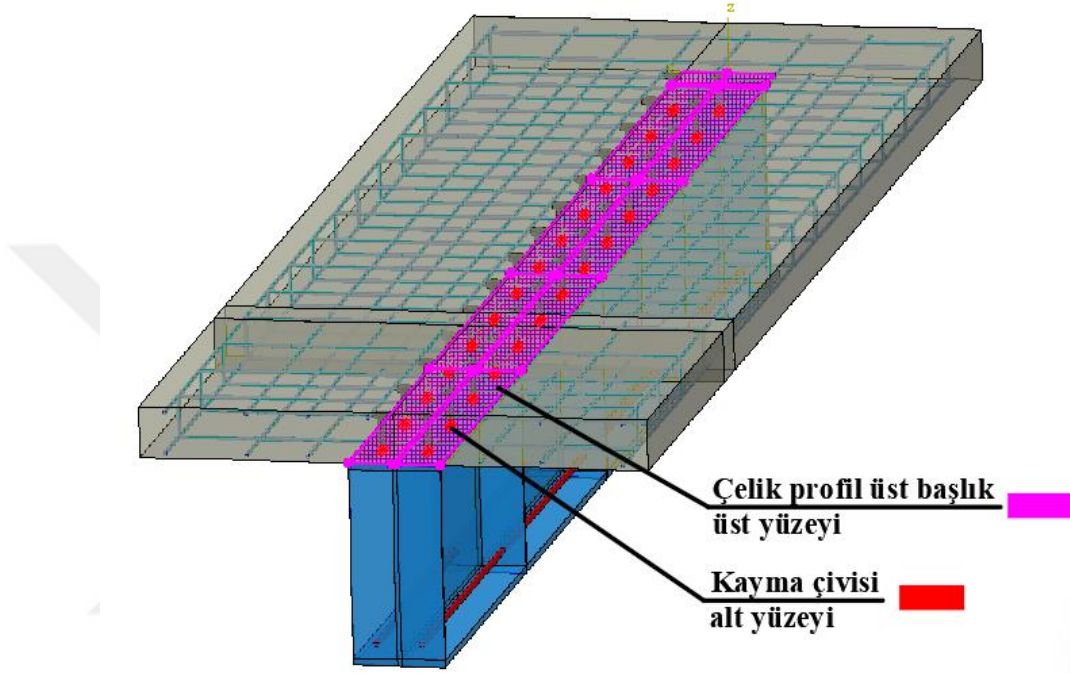


Şekil 4.3. Sürtünme yüzeylerinin tanımlanması

#### 4.1.2.3. Kaynaklı bağlantı

Abaqus programında, kaynaklı bağlantıların modellenmesi "Tie" bağlantı tipi kullanılarak yapılabilmektedir. Bu bağlantı tipi mekanik ve birleşik sıcaklık-deplasman analiz türlerinde kullanılabilmektedir. Tie bağlantı programa tanımlanırken

diğer bağlantı tiplerinde olduğu gibi ana yüzey ve bağımlı yüzeyin seçilmesi gerekmektedir. Tie bağlantı ile bağımlı yüzeydeki düğüm noktalarının her biri temas ettiği ana yüzeydeki düğüm noktaları ile aynı yer değiştirme ve sıcaklık etkilerine maruz kalmaktadır. Bu çalışma kapsamında, çelik profil kiriş üst başlığının üst yüzeyi bağımlı yüzey kayma çivilerinin alt yüzeyi ana yüzey olarak programa tanıtılmıştır (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Kaynaklı bağlantı

#### 4.1.3. Malzeme modelleri

Beton çekme dayanımı düşük basınç dayanımı yüksek bir malzemedir. Bu malzemenin çekme bölgesinde kalan liflerinde küçük yükler etkisinde bile çekme çatlakları oluşabilmektedir. Basınç bölgesinde kalan liflerinde ise malzeme etkin çalışarak daha büyük yük etkisiyle betonda ezilme meydana gelerek güç tükenmesi oluşmaktadır. Beton malzemesinin gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisini ifade eden birçok matematiksel model bulunmaktadır. Betonun çatlama ve ezilme davranışını simüle etmek için bu matematiksel modeller Abaqus programında bulunan Beton Hasarlı Plastisite Modeli ile ilişkilendirilerek kullanılabilir. Bu tez çalışması kapsamında beton tabliye için sargısız beton modeli tercih edilmiştir (Popovics,1973). Sargısız

betonun basınç gerilmesi-birim şekil değiştirme ilişkisi Denklem 4.1 ve Denklem 4.2 kullanılarak belirlenebilir.

$$\frac{f_c}{f'_c} = \frac{n \left( \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{co}} \right)}{(n-1) + \left( \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{co}} \right)^n} \quad (4.1)$$

$$n = 0,0004 f'_c (psi) + 1 \quad (4.2)$$

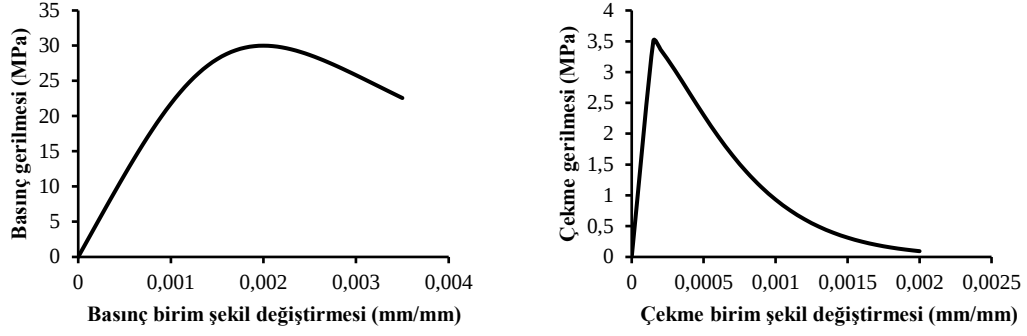
burada,  $f_c$  betondaki gerilme değerini,  $f'_c$  beton basınç dayanımını,  $\varepsilon_c$  betonun basınç birim şekil değiştirmesini,  $\varepsilon_{co}$  maksimum beton basınç gerilmesine karşılık gelen birim şekil değiştirmeyi ifade etmektedir. Denklem 4.2’de ifade edilen  $n$  katsayısı, gerilme şekil değiştirme grafiğinin azalan bölgesini temsil eden bir katsayıdır (Thorenfeldt vd., 1987). Beton malzemesinin çekme gerilmesi-birim şekil değiştirme ilişkisi Denklem 4.3, Denklem 4.4 ve Denklem 4.5 kullanılarak belirlenebilir.

$$\sigma = f_t \left( \frac{\varepsilon_t}{\varepsilon} \right)^{(0,7+1000\varepsilon)} \quad (4.3)$$

$$\varepsilon_t = \frac{f_t}{E_c} \quad (4.4)$$

$$f_t = 0,64 \sqrt{f_c} \quad (4.5)$$

burada,  $f_t$  betonun çekme dayanımını,  $\varepsilon_t$  betonun çekme birim şekil değiştirmesini ve  $E_c$  betonun elastisite modülünü ifade etmektedir. Beton elastisite modülünün hesaplanmasında farklı yaklaşımlar vardır. Bu çalışmada, başlangıç eğimi dikkate alınarak beton basınç dayanımının %40’ına karşılık gelen birim şekil değiştirme için beton elastisite modülü hesaplanmıştır. Beton çekme dayanımı ise üç noktalı eğilme deneyleri için önerilen Denklem 4.5 kullanılarak belirlenebilir (Ersoy vd., 2006). Şekil 4.5a ve Şekil 4.5b ‘de sırasıyla beton basınç ve çekme gerilmesi – birim şekil değiştirme ilişkileri verilmiştir. Bu çalışmada ortalama beton basınç dayanımı 30 MPa olarak dikkate alınmıştır.



**a. Basınç gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi**      **b. Çekme gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi**

Şekil 4.5. Beton gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri

Beton malzemesinin çatlak davranışını simüle etmek için Abaqus programında iki modelleme yaklaşımı vardır. Bunlar, Betona Bulaşan Çatlama Modeli ve Beton Hasarlı Plastisite Modeli'dir. Bu çalışmada monotonik, tekrarlı ve dinamik yük etkisindeki betonun davranışını yansıtabilen Beton Hasarlı Plastisite Modeli (BHPM) kullanılmıştır. Beton Hasarlı Plastisite Modelinde, betonun ezilme davranışını ve betonun çatlama davranışını belirleyebilmek için hasar parametrelerinin tanımlanması gerekmektedir. Betonun basınç dayanımına bağlı olarak ezilme hasar parametresi Denklem 4.6 kullanılarak hesaplanabilir. Betonun çekme dayanımına bağlı olarak çatlama hasar parametresi Denklem 4.7 kullanılarak hesaplanabilir (Birtel ve Mark, 2006). Ayrıca, Beton Hasarlı Plastisite Modelinin Abaqus programına tanımlanabilmesi için dilatasyon açısı, dış merkezlik, tek-eksenli yükleme oranı, K katsayısı ve vizkozite parametrelerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu parametreler Çizelge 4.1'de verilmiştir (Dere ve Koroğlu, 2017).

Çizelge 4. 1. Beton Hasarlı Plastisite Modeli parametreleri

| Dilatasyon Açısı | Dış Merkezlik | $f_{b0}/f_{c0}$ | K     | Vizkozite |
|------------------|---------------|-----------------|-------|-----------|
| 31               | 0,1           | 1,16            | 0,666 | 0,001     |

Denklem 4.6 ve Denklem 4.7 kullanılarak hesaplanan beton hasar parametreleri 0-1 aralığında değişen değerler almaktadır. Burada “0” değeri hasarsız durumu, “1” değeri ise tam hasarlı durumu ifade etmektedir.

$$d_c = 1 - \frac{\sigma_c E_c^{-1}}{\varepsilon_c^{pl} \left( \frac{1}{b_c} - 1 \right) + \sigma_c E_c^{-1}} \quad (4.6)$$

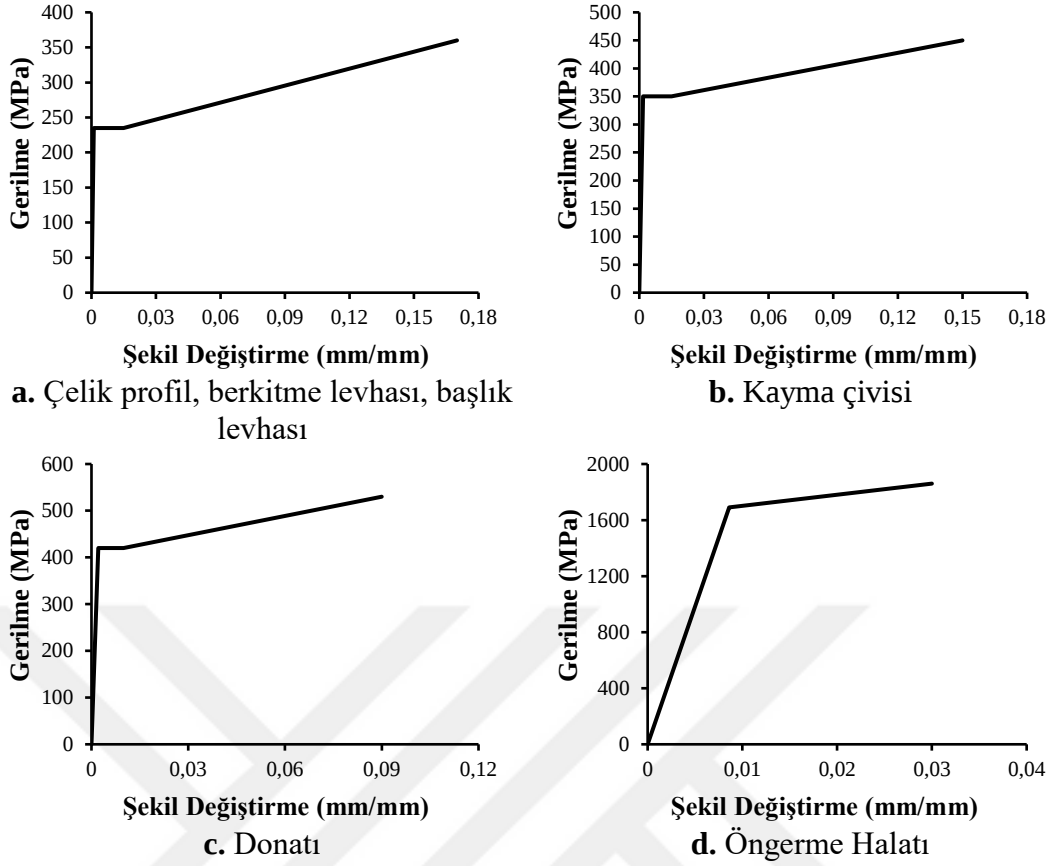
$$d_t = 1 - \frac{\sigma_t E_c^{-1}}{\varepsilon_t^{pl} \left( \frac{1}{b_t} - 1 \right) + \sigma_t E_c^{-1}} \quad (4.7)$$

burada,  $d_c$  beton basınç hasar bileşenini,  $\sigma_c$  beton basınç gerilmesini,  $E_c$  beton elastisite modülünü,  $\varepsilon_c^{pl}$  beton basınç plastik birim şekil değiştirmesini,  $d_t$  beton çekme hasar bileşenini,  $\sigma_t$  beton çekme gerilmesini ve  $\varepsilon_t^{pl}$  betonun çekme plastik birim şekil değiştirmesini ifade etmektedir.  $b_c$  ve  $b_t$  katsayıları ise 0-1 arasında değişmektedir. Bu çalışmada  $b_c$  ve  $b_t$  katsayıları sırasıyla 0,7 ve 0,1 olarak kabul edilmiştir (Birtel ve Mark, 2006).

Beton, çelik profil, berkitme levhaları, başlık levhaları, öngerme halatı ve kayma çivilerinin malzeme özellikleri Çizelge 4.2' de verilmiştir. Kayma çivileri, çelik profil, başlık levhaları ve berkitme levhalarının analitik modelleri oluşturulurken; idealleştirilmiş elastik-mükemmel plastik model, elastik-doğrusal pekleşmeli model, ikili doğrusal model ve üçlü doğrusal model sıklıkla kullanılmaktadır (Yun ve Gardner, 2017). Bu çalışmada çelik profil, başlık levhaları, berkitme levhaları ve kayma çivileri için idealleştirilmiş üçlü doğrusal malzeme modeli tercih edilmiştir (Şekil 4.6a ve Şekil 4.6b). Öngerme halatı için ikili doğrusal malzeme modeli kullanılmıştır (Şekil 4.6c).

Çizelge 4.2. Malzeme Özellikleri

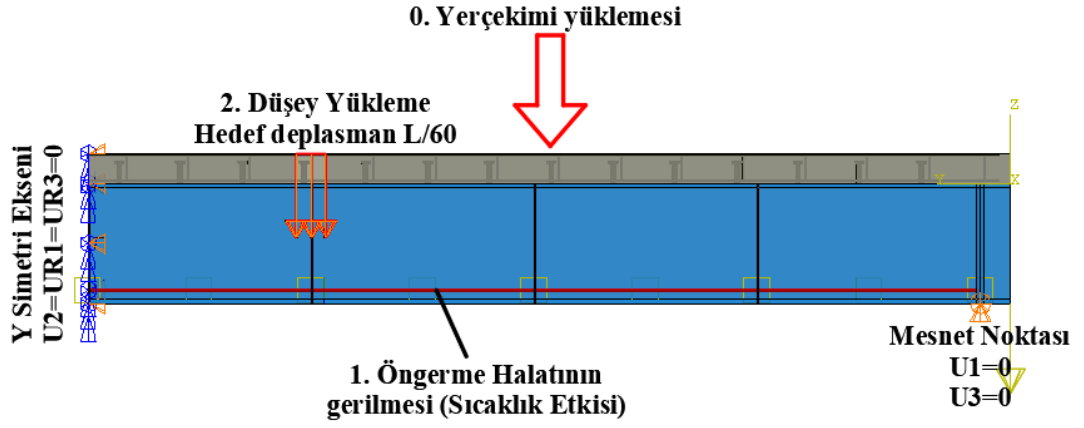
| Beton                                                  |                      |                              |        |                        |                        |
|--------------------------------------------------------|----------------------|------------------------------|--------|------------------------|------------------------|
| Basınç Dayanımı (fc) (MPa)                             |                      | Elastisite Modülü (Ec) (MPa) |        |                        |                        |
| 30                                                     |                      | 23318                        |        |                        |                        |
| Kayma Çivisi                                           |                      |                              |        |                        |                        |
| Akma Dayanımı<br>fy                                    | Kopma Dayanımı<br>fu | esy                          | esh    | esu                    | Elastisite Modülü<br>E |
| 350                                                    | 450                  | 0,00175                      | 0,0133 | 0,148                  | 200000                 |
| Çelik Profil Kiriş - Berkitme Levhası - Başlık Levhası |                      |                              |        |                        |                        |
| Akma Dayanımı<br>fy                                    | Kopma Dayanımı<br>fu | esy                          | esh    | esu                    | Elastisite Modülü<br>E |
| 235                                                    | 360                  | 0,001119                     | 0,0139 | 0,169                  | 210000                 |
| Donatı                                                 |                      |                              |        |                        |                        |
| Akma Dayanımı<br>fy                                    | Kopma Dayanımı<br>fu | esy                          | esh    | esu                    | Elastisite Modülü<br>E |
| 420                                                    | 530                  | 0,0021                       | 0,0079 | 0,168                  | 200000                 |
| Öngerme Halatı                                         |                      |                              |        |                        |                        |
| Akma Dayanımı<br>fy                                    | Kopma Dayanımı<br>fu | esy                          | esu    | Elastisite Modülü<br>E |                        |
| 1689,9                                                 | 1860                 | 0.0086                       | 0.03   | 196500                 |                        |



Şekil 4.6. Malzemelerin gerilme-şekil değiştirme ilişkileri

#### 4.1.4. Ayırıklaştırma, sınır şartları ve yükleme düzeneği

Bu tez çalışması çelik-beton ve öngerme halatlı çelik-beton kompozit kirişler için parametrik bir çalışmayı kapsadığı için model sayısı oldukça fazladır. Bu nedenle, sonlu eleman modellerindeki eleman sayılarının azaltılması analiz sürelerinin kısaltılması için oldukça önemlidir. Sonlu eleman modellerinin ayırıklaştırılması aşamasında yakınsama çalışması gerçekleştirilmiştir. Yakınsama çalışması sonucunda beton tabliye, çelik profil kiriş, berkitme levhaları için 25mm, kayma çivileri için 16mm, enine/boyuna donatı için 20mm eleman boyutunun yeterli olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, Abaqus programının simetri özelliğinden faydalanılarak kirişlerin açıklık boyunca yarısı modellenerek eleman sayısı azaltılmıştır. Sonlu eleman modellerinde y eksenini simetri eksenini kabul edilmiş ve kesit ortasında y yönündeki ötelenme, x yönündeki dönme ve z yönündeki dönme kısıtlanmıştır. Kiriş başlık levhasının bulunduğu bölgede çelik profil kiriş alt başlığına mesnet tanımlaması yapılmıştır. Mesnet tanımlanmasında z yönü ve x yönü için kısıtlamalara gidilmiştir. Sonlu eleman modelleri için uygulanan kısıtlamalar Şekil 4.7’de gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Sınır şartları ve yükleme düzeneği

Çelik-beton kompozit kirişlere öngerme halatı eklendiğinde öngerme halatlarına başlangıç gerilmesinin verilmesi gerekmektedir. Bu nedenle çelik-beton kompozit kirişler ile öngerme halatlı çelik-beton kompozit kirişlerin analiz adımları farklılık göstermektedir. Çelik-beton kompozit kirişlere iki adımlı doğrusal olmayan statik itme analizi uygulanmıştır. Analizin ilk adımında yerçekimi etkisi dikkate alınarak kiriş kendi ağırlığınca yüklenmiş ve orta açıklık sehim okumaları alınmıştır. Analizin ikinci adımında ise çelik-beton kompozit kiriş Şekil 4.7’de belirtilen düşey yükleme bölgesinden hedef deplasman değerine ( $L/60$ ) kadar itilmiştir. Öngerme halatlı çelik-beton kompozit kirişlerin analizinde ise birleştirilmiş sıcaklık-deplasman analiz türü seçilerek 3 adımlı doğrusal olmayan analiz uygulanmıştır. Analizin ilk adımında kiriş yerçekimi etkisi ile kendi ağırlığınca düşey olarak yüklenmiştir. Analizin ikinci adımında, öngerme halatlarına Denklem 4.8’de belirtilen sıcaklık farkı tanımlanarak halatların gerdirilmesi sağlanmıştır. Analizin son adımında ise Şekil 4.7’de belirtilen düşey yükleme bölgesinden hedef deplasman değerine ( $L/60$ ) kadar itme işlemi gerçekleştirilmiştir. Analizin her adımı için orta açıklık sehimi, gerilme, şekil değiştirme ve beton çekme ve basınç hasar bileşenlerinin okumaları alınmıştır. Analizin ikinci adımında öngerme halatlarına sıcaklık farkı tanımlanırken beton çekme hasar bileşeni kontrol edilmiş ve betonda çekme hasarı oluşturmayacak sıcaklık farkı verilebilmesi için yinelemeli analiz gerçekleştirilmiştir.

$$N = E_t A_t \alpha_t \Delta T \quad (4.8)$$

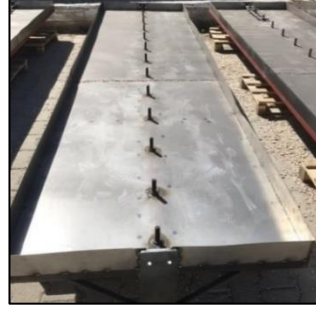
burada,  $N$  ile bir adet öngerme halatında oluşan kuvvet,  $E_t$  ile öngerme halatının elastisite modülü,  $A_t$  ile öngerme halatı kesit alanı,  $\alpha_t$  ile genleşme katsayısı,  $\Delta T$  ile sıcaklık farkı ifade edilmektedir.

## **4.2. Sonlu Eleman Modellerinin Doğrulanması**

### **4.2.1. Çelik ve arkadaşları (2020)**

Çelik ve arkadaşları (2020), öngerme halatlı çelik beton kompozit kirişin 3 noktalı eğilme deneylerini gerçekleştirmişlerdir. 4 metre açıklık için; IPE 240 profili ile 100x1000mm boyutlarında beton tabliye kompozit olarak ele alınarak 2 adet deney örneği hazırlanmıştır. Hazırlanan deney örneğinin ilki çelik-beton kompozit kiriş (SCCB) ikincisi ise çelik-beton kompozit kirişe öngerme halatı eklenerek oluşturulan öngerme halatlı çelik-beton kompozit kiriş örneğidir (PSCCB).

Öngerme halatı, mesnet bölgelerinde beton tabliye yüksekliğinin ortasında olacak şekilde gömülü olarak konumlandırılırken kiriş ortasında ise halat yönü değiştirilerek çelik kiriş alt başlığının altında konumlandırılmıştır. Deney örneklerinde halat geometrisine bağlı olarak ve yükleme düzeneğinden kaynaklı gerilme yığılmalarının olabileceği kısımlara rijitleştirme levhaları konulmuştur. Kiriş ortasında kullanılan rijitleştirme levhalarının kalınlığı 5mm olarak belirlenirken başlık bölgelerinde kullanılan rijitleştirme levhalarının kalınlığı 10mm olarak belirlenmiştir (Şekil 4.8).



a. SCCB örneği



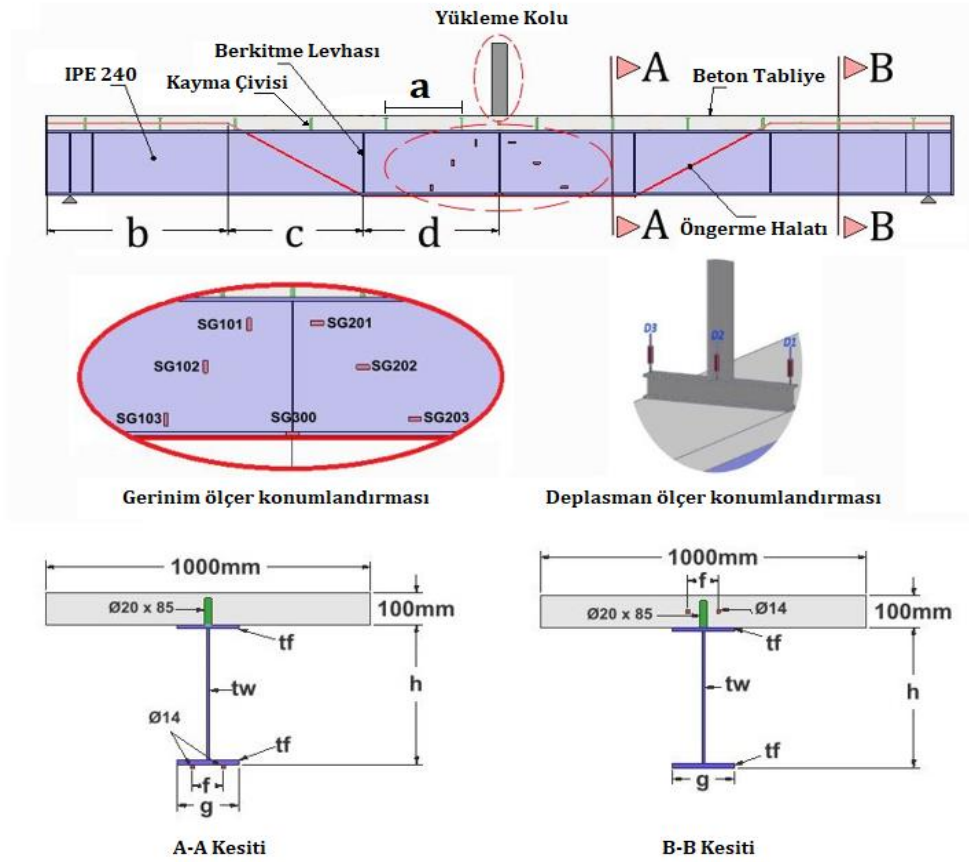
b. PSCCB örneği



c. PSCCB örneğinde berkitme levhaları ve öngerme halatının konumlandırılması



d. PSCCB örneğinde mesnetlenme bağlantısı



Şekil 4.8. Deney örnekleri ve öngerme halatının konumlandırılması (Çelik vd., 2020)

Şekil 4.8’de gösterilen deney örneklerinin boyutsal parametreleri Çizelge 4.3’de ayrıntılı olarak sunulmuştur.

Çizelge 4.3. Deney örneklerinin boyutsal parametreleri (Çelik vd., 2020)

| Model  | Öngerme<br>Halatı | Öngerme<br>halat çapı | Kayma<br>çivisi<br>çapı | Kayma<br>çivisi<br>sayısı | a             | b   | c   | d    | Açıklık<br>(mm) |
|--------|-------------------|-----------------------|-------------------------|---------------------------|---------------|-----|-----|------|-----------------|
| SCCB   | -----             | -----                 | 20                      | 13                        | 325           | 800 | 600 | 600  | 3700            |
| PSCCB  | var               | 14                    | 20                      | 13                        | 325           | 800 | 600 | 600  | 3700            |
| IPE240 |                   |                       |                         |                           | Beton tabliye |     |     |      |                 |
| tf     |                   | tw                    | h                       | f                         | g             | h   |     | b    |                 |
| 9.8    |                   | 6.2                   | 240                     | 60                        | 120           | 100 |     | 1000 |                 |

ÇBKK: Çelik-beton kompozit kiriş

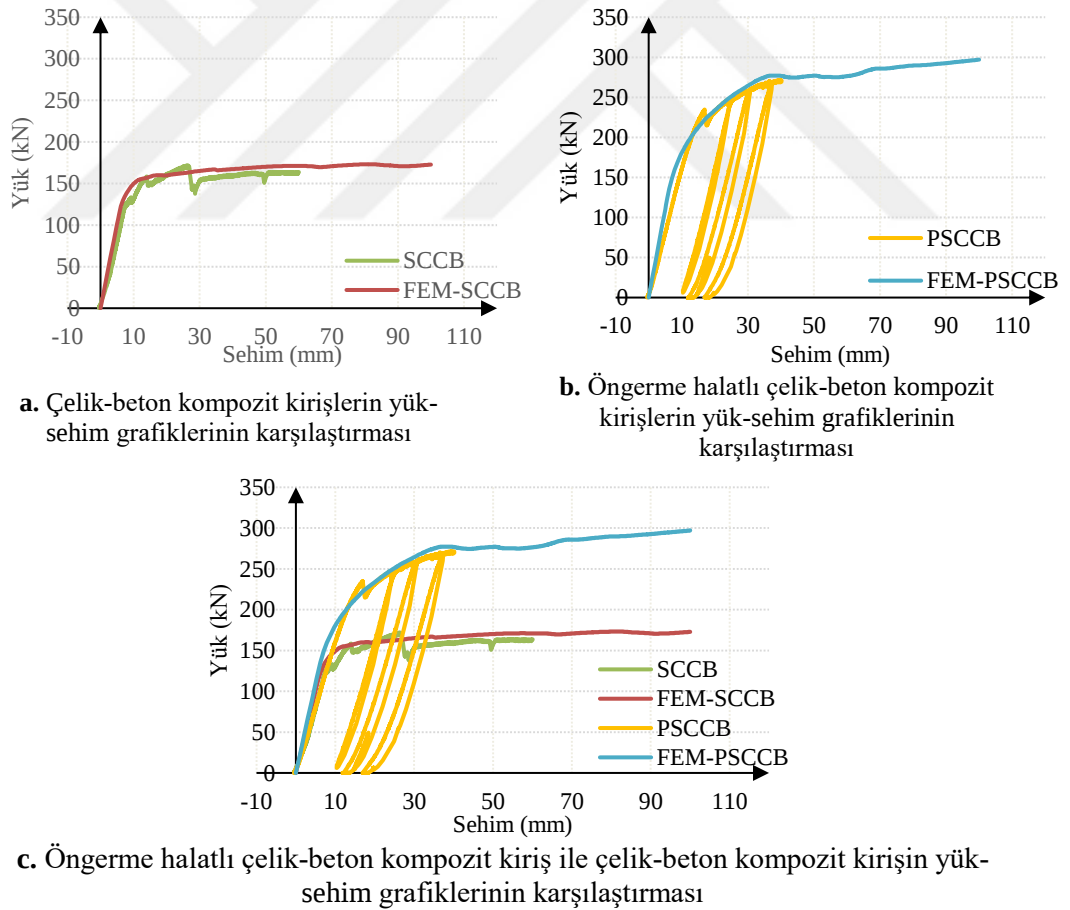
ÖHÇBKK: Öngerme halatlı çelik-beton kompozit kiriş

\* tüm ölçülerin birimi mm’dir.

Boyutsal parametreleri, malzeme özellikleri ve deney düzeneği belli olan kirişler için Abaqus programında iki adet sonlu eleman modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan sonlu eleman modellerinin doğrusal olmayan statik analizleri gerçekleştirilmiştir. Sonlu eleman modellerinin analiz sonuçlarından, deney düzeneğinde belirtilen okuma bölgelerinden okumalar alınarak yük-sehim ilişkileri çıkartılmıştır. Şekil 4.9’da deney örneklerinin test sonuçları ile sonlu eleman modellerinin analiz sonuçlarından elde edilen yük-sehim ilişkileri karşılaştırılmıştır.

Şekil 4.9a’da çelik-beton kompozit kirişler için yük-sehim grafiği sunulmuştur. Bu grafik incelendiğinde, yeşil renk ile test sonucu kırmızı renk ile sonlu eleman analizi sonucu gösterilmiştir. İki sonuç karşılaştırıldığında başlangıç rijitliğinin ve yük taşıma kapasitesinin uyumlu olduğu görülmektedir. Grafikte, deney sonucunun yük değerlerinde iniş çıkışlar gözlenmekte iken sonlu eleman modelinin analiz sonucunda yük değerlerinde daha yumuşak geçişler görülmektedir. Bu durum, betonda meydana gelen hasardan kaynaklanmaktadır. Sonlu eleman modellerinde kullanılan modelleme tekniğinde kapalı çözüm algoritması tercih edildiğinden dolayı beton malzeme hasar aldığı anda düğümler arası bağlantı kopmamakta bu da düğümler arası yük transferinin daha yumuşak geçişini sağlamaktadır.

Şekil 4.9b’de öngerme halatlı çelik-beton kompozit kirişlerin yük-sehim karşılaştırması sunulmuştur. Grafikte sarı renkte deney sonucu mavi renkte sonlu elemanlar modeli sonucu gösterilmektedir. Deney sonucunda yaklaşık 15mm sehim değerinde yükte ani bir düşüş görülmektedir. Buradaki düşüşün boyuna kesme çatlağı nedeniyle olduğu düşünülmektedir. Bu düşüşten sonra kirişe yükleme-boşaltma uygulanmış ve kiriş yük almaya devam etmiştir. Bu durum halatın etkili çalışarak lifler arası yük aktarımının yeniden dağılımına olanak sağladığı görüşünü güçlendirmektedir. Yükleme devam ettirildiğinde boyuna kesme çatlağı artmış ve deney sonlandırılmıştır. Bu modelin sonlu eleman modeli analiz sonuçlarında ise daha yumuşak geçişler görülmektedir. Buradaki farklılığın kapalı çözüm algoritması ve mesnet noktalarındaki tutunma şartlarından olabileceği düşünülmektedir. Sonlu eleman modelinin yaklaşık 35mm sehimdeki yük değerindeki düşüşün nedeni beton tabliye ortasında oluşan boyuna kesme hasarından kaynaklanmaktadır (Şekil 4.10).

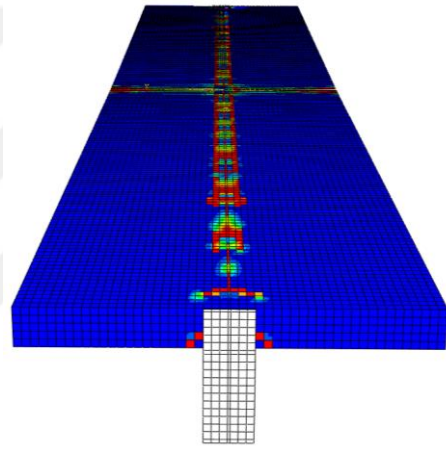


Şekil 4.9. Deney örneklerinin test sonuçları ile sonlu eleman modellerinin analiz sonuçlarının kıyaslanması (Çelik vd., 2020)

Şekil 4.10’da deney sonuçlarında ve analiz sonuçlarında oluşan kiriş hasar durumları gösterilmiştir. Deney sonucunda iki kirişte de boyuna kesme hasarı oluşmuştur. Sonlu eleman modellerinin analiz sonuçlarında da hasar betonun boyuna kesmeye uğramasıyla oluşmuştur. Şekil 4.10’daki görseller incelendiğinde, boyuna kesme çatlağı yerleri deney ve sonlu eleman modellerinde aynı bölgededir. Ancak, deney sonuçlarında çatlak ilerleyişi daha düzensizdir. Bunun nedeni beton içerisinde agregalar arası kimyasal bağdan kaynaklandığı düşünülmektedir. Sonlu eleman modellerinde ise beton tabliye homojen kabul edilmekte olup elemanlar düzgün ayrıklaştırılmıştır. Bunun sonucu olarak düğümler arası hasar geçişi oluşmakta çatlak ilerleyişi daha düzgün görünmektedir.



SCCB

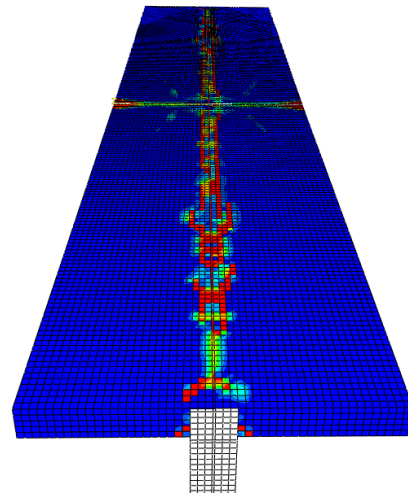


SCCB-Abaqus

**a. Çelik-beton kompozit kiriş hasar durumu**



PSCCB



PSCCB-Abaqus

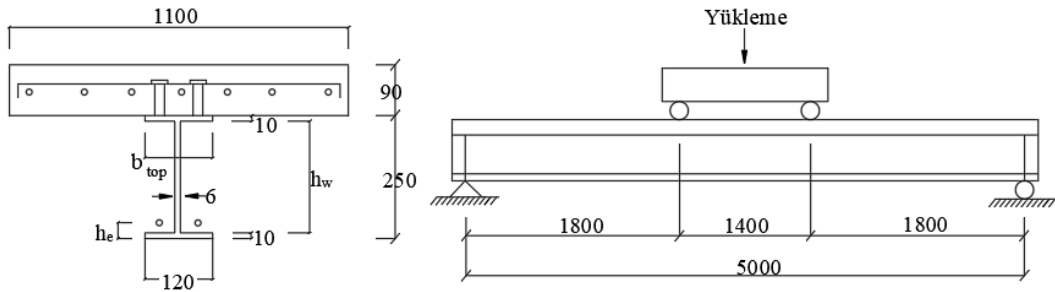
**b. Öngerme halatlı çelik-beton kompozit kiriş**

Şekil 4.10. Boyuna kesme hasarlarının karşılaştırılması

Deney sonuçları ile sonlu eleman modellerinin analiz sonuçları yük-sehim ilişkileri ve hasar görselleri üzerinden incelendiğinde, bu tez çalışmasında tercih edilen modelleme tekniğinin yeterli doğrulukla hesaplama yapabildiği görülmektedir.

#### 4.2.2. Chen ve Gu (2005)

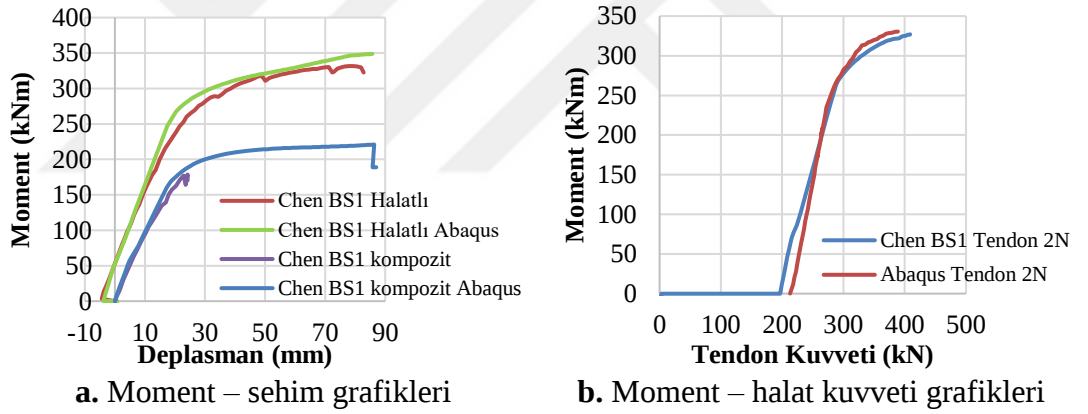
Bu çalışmada kullanılan ikinci doğrulama modeli Chen BS1 modelidir. Chen BS1 modeline ait boyutsal parametreler Şekil 4.11’de sunulmuştur. Chen BS1 modeli iki aşamalı test edilmiştir. İlk test aşamasında çelik-beton kompozit kiriş 4 noktalı eğilme deneyine tabi tutulmuş ve çelik kiriş alt başlıkta akma meydana geldikten sonra deney sonlandırılmıştır. Daha sonra deforme olmuş çelik kirişe dıştan halatlar eklenmiş ve halatlara 107,6 kN ardgerme uygulanarak kompozit kiriş yaklaşık 4,6mm negatif sehime zorlanmıştır. Ardgerme uygulandıktan sonra kompozit kiriş nihai göçme durumuna gelene kadar düşey olarak itilmiştir. Bu durumu sayısal olarak ifade edebilmek için iki adet sayısal model oluşturulmuştur. Modellerden biri çelik-beton kompozit kiriş diğeri ise ardgermeli çelik-beton kompozit kiriştir. İki sayısal modelde deney düzeneği ve malzeme testlerinden elde edilen veriler dikkate alınarak analiz edilmiştir.



Şekil 4.11. Chen BS1 Modeli (Chen ve Gu, 2005)

Şekil 4.12’de deney sonuçları ile analiz sonuçlarının yük-sehim grafikleri sunulmuştur. Şekil 4.12a’da kompozit kiriş deneyde maksimum 24,5mm açıklık ortası sehim değerine ulaştığında deney sonlandırılırken sonlu eleman modelinde kesit kapasitesini görebilmek amacıyla analiz nihai deplasmana kadar devam ettirilmiştir. Kompozit kirişin sonlu eleman modelinde de çelik kiriş alt başlık hasarı deney sonucu ile benzer sehimde meydana gelmiştir.

Öngerme halatlı kompozit kiriş modellerine ait moment-halat kuvveti ilişkisi Şekil 4.12b’de çizilmiştir. Şekil 4.12b incelendiğinde, momente bağlı olarak gelişen halat kuvvetinde deney sonucuna benzerlik görülmektedir. Deneyde halatlara toplam 215 kN çekme kuvveti uygulandığı belirtilse de moment-halat kuvveti grafiği incelendiğinde halat kuvvetinin 200 kN seviyelerinde kaldığı görülmektedir. Sonlu eleman modelinde ise halatlara uygulanan ardgerme kuvveti 215 kN olarak tespit edilmiştir. Düşey yükleme aşamasında oluşan bu halat kuvveti farkının, halatın berkitme levhaları ile arasındaki sürtünme ve öngerme kaybindan oluştuğu düşünülmektedir. Sonlu eleman modelinde ise halatlar çubuk elemanlar ile modellenerek düğümler arası yük transferi gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle halatlarda öngerme kaybı oluşmamaktadır. Bu durum sonlu eleman modellerinin analiz sonucu için beklenen bir durumdur ve ihmal edilebilir seviyelerdedir. Şekil 4.12’de verilen grafikler incelendiğinde, oluşturulan sonlu eleman modellerinin sonuçları ile deney sonuçlarının iyi bir uyum içinde olduğu söylenebilir.



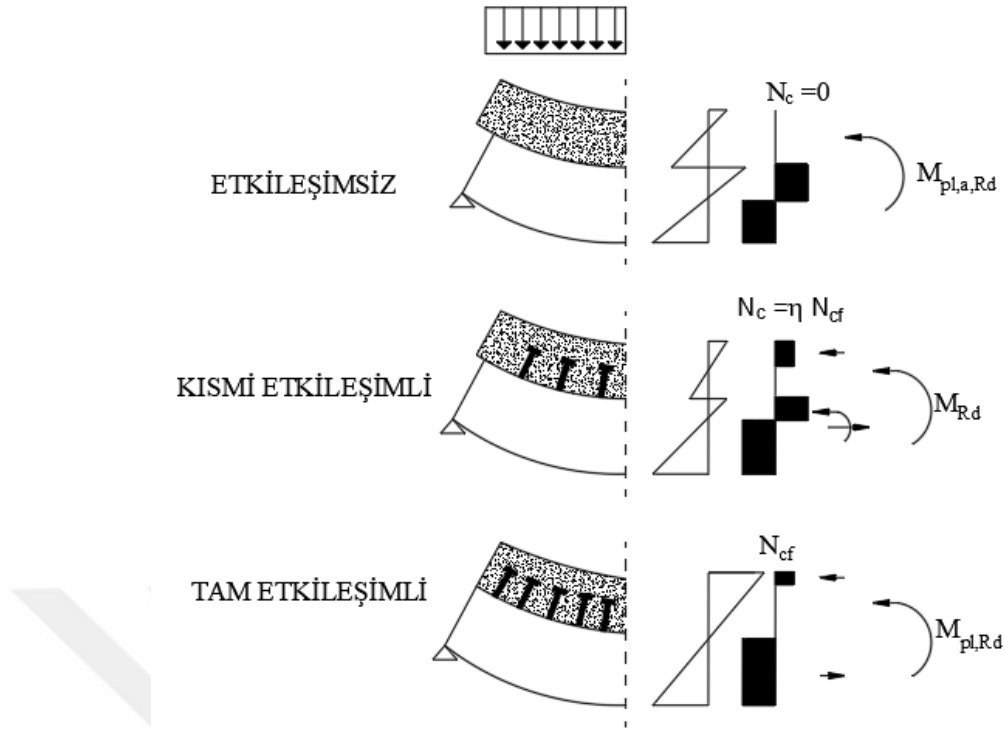
Şekil 4.12. Chen BS1 modelinin doğrulanması

## **5. ÖNGERME HALATLI ÇELİK-BETON KOMPOZİT KİRİŞLERDE ETKİN PARAMETRELERİN ARAŞTIRILMASI**

Bu bölümde, doğrulanan modelleme tekniği kullanılarak kompozit kirişlerin kapasitesinde etkili olan parametrelerin belirlenmesi amacıyla sonlu eleman modelleri üzerinden efektif model araştırması gerçekleştirilmiştir. Efektif model araştırmasında model sayısını kısıtlayabilmek amacıyla halat profili, halat adedi, halat germe oranı, çelik kiriş tipi, enine donatı konumlandırması, bağlantı derecesi, beton tabliye yüksekliği ve genişliği parametre kabul edilerek sonlu eleman modellerinin analizleri gerçekleştirilmiştir.

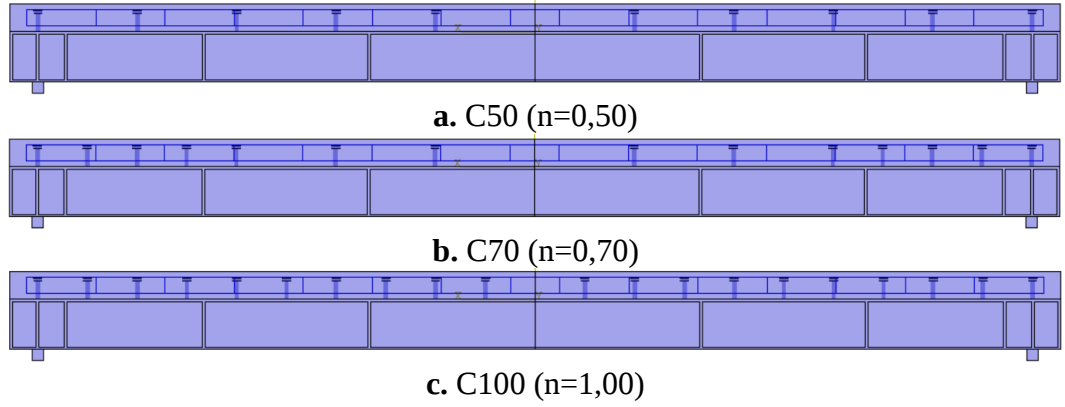
### **5.1. Ardgermeli Çelik-Beton Kompozit Kirişlerde Kesme Bağlantı Derecesi ve Başlangıç Ardgerme Oranının İncelenmesi**

Çelik-beton kompozit kirişlerde, beton tabliye ile çelik kirişi birbirine bağlayan bağlantı elemanı (kayma çivisi) sayısı kompozit kirişlerin yük taşıma kapasitesini önemli ölçüde etkilemektedir. Kayma çivisi sayısına bağlı olarak çelik-beton kompozit kirişler kısmi etkileşimli veya tam etkileşimli olarak ifade edilmektedir. Eğilme etkisi altındaki kısmi etkileşimli kompozit kirişlerde beton tabliye ile çelik kiriş arasında boyuna doğrultuda kaymalar ve düşey yönde beton tabliyede yükselmeler meydana gelmektedir (Şekil 5.1). Bu sebeple, bağlantı derecesine bağlı olarak çelik-beton kompozit kirişlerin yük taşıma kapasitesinde önemli bir azalma oluşmaktadır. Tam etkileşimli kompozit kirişlerde ise beton tabliye ile çelik kiriş arasında oluşan kaymalar ve yükselme ihmal edilebilir düzeyde kalmaktadır. Eurocode 4 yönetmeliğinde çelik-beton kompozit kirişler için en az 0,40 kesme bağlantı derecesinin sağlanması gerektiği belirtilmektedir.

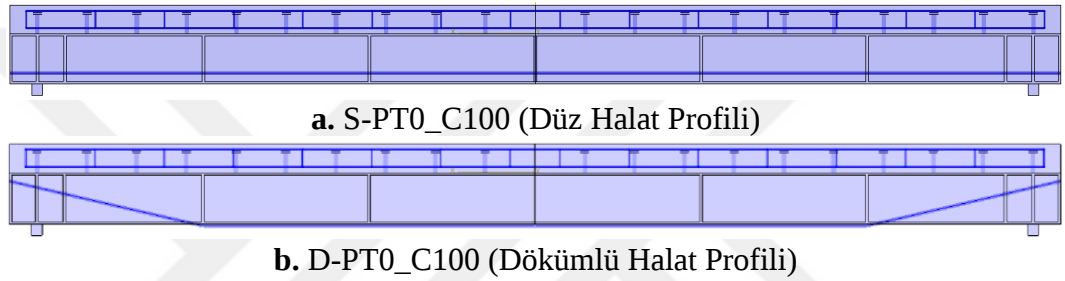


Şekil 5.1. Çelik-beton kompozit kirişlerde etkileşim durumları

Bu bölümde kısmi etkileşimli öngerme halatlı çelik-beton kompozit kirişlerde bağlantı derecesinin yük taşıma kapasitesine etkisi öngerme halatı yerleşim şekilleri de dikkate alınarak incelenmiştir. Öngerme halatlı çelik-beton kompozit kirişlerde kritik bağlantı derecesi ve öngerme halatına uygulanacak ardgerme oranının belirlenebilmesi amacıyla bu bölümde toplam 21 adet sonlu eleman modeli oluşturulmuştur. Şekil 5.2’de 3 farklı kesme bağlantı derecesi ( $n=0,50$ ,  $n=0,70$ ,  $n=1,00$ ) için referans modeller olarak düşünülen çelik-beton kompozit kirişlerin kayma çivisi yerleşimleri gösterilmiştir. Çelik-beton kompozit kirişlerin güçlendirilmesinde 2 adet öngerme halatı yerleşimi dikkate alınmıştır. Öngerme halatlarının yerleşimi çelik profil kirişi saran dökümlü halat profili ve çelik kiriş alt başlığının üzerine yerleştirilen düz halat profildir (Şekil 5.3). Öngerme halatlı çelik-beton kompozit kiriş modellerinde 3 farklı ardgerme oranı dikkate alınmış ve efektif halat gerdirme oranı tespit edilmeye çalışılmıştır. Çalışmada kullanılan modellerin isimlendirmeleri Çizelge 5.1’de sunulmuştur.



Şekil 5.2. Farklı kesme bağlantı derecesine sahip çelik-beton kompozit kiriş modelleri



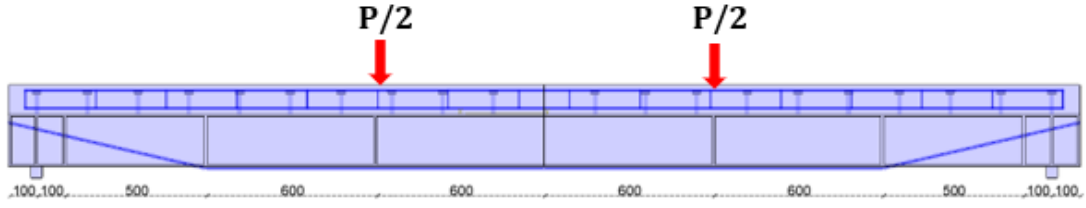
Şekil 5.3. Çelik-beton kompozit kirişlerin güçlendirilmesinde kullanılan halat profilleri

Çizelge 5.1’de ifade edilen modellerin isimlendirilmesinde ilk harf olarak C, D ve S harfleri kullanılmıştır. C harfi ile çelik-beton kompozit kiriş, D harfi ile dökümlü halat profiline sahip çelik-beton kompozit kiriş, S harfi ile düz halat profiline sahip çelik-beton kompozit kiriş ifade edilmektedir. İsimlendirmede kullanılan PT harfleri, halatlı modellerde öngerme halatına uygulanan halat germe oranını ifade etmektedir. TS3233 Öngerilmeli Beton Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları yönetmeliğinde, halatlar gerilip kenetlendikten sonra halat kopma dayanımının %70’inin aşılmaması emniyet gerilmesi olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle, bu çalışma kapsamında halatlara uygulanabilecek ardgerme oranı halat kopma dayanımının %70’i ile sınırlandırılmıştır. Çizelge 5.1’de PT100 ile ifade edilen modellere halat kopma dayanımının %70’i oranında gerilme oluşacak şekilde ardgerme işlemi uygulanmıştır. İsimlendirmede kullanılan PT0 ifadesi ile öngerme halatlı çelik-beton kompozit kiriş modellerinde herhangi bir ardgerme işleminin uygulanmadığı ifade edilmektedir.

Çizelge 5.1. Bağlantı derecesi ve ardgerme oranı incelenen sonlu eleman modelleri

| Model        | Bağlantı Derecesi | Kiriş Tipi      | Halat Profili | Ardgerme oranı (%) |
|--------------|-------------------|-----------------|---------------|--------------------|
| C50          | 0,50              | Kompozit        |               |                    |
| C70          | 0,70              | Kompozit        |               |                    |
| C100         | 1,00              | Kompozit        |               |                    |
| D-PT0_C50    | 0,50              | Öngerme Halatlı | Dökümlü       | 0,00               |
| D-PT0_C70    | 0,70              | Öngerme Halatlı | Dökümlü       | 0,00               |
| D-PT0_C100   | 1,00              | Öngerme Halatlı | Dökümlü       | 0,00               |
| D-PT50_C50   | 0,50              | Öngerme Halatlı | Dökümlü       | 50,00              |
| D-PT50_C70   | 0,70              | Öngerme Halatlı | Dökümlü       | 50,00              |
| D-PT50_C100  | 1,00              | Öngerme Halatlı | Dökümlü       | 50,00              |
| D-PT100_C50  | 0,50              | Öngerme Halatlı | Dökümlü       | 100,00             |
| D-PT100_C70  | 0,70              | Öngerme Halatlı | Dökümlü       | 100,00             |
| D-PT100_C100 | 1,00              | Öngerme Halatlı | Dökümlü       | 100,00             |
| S-PT0_C50    | 0,50              | Öngerme Halatlı | Düz           | 0,00               |
| S-PT0_C70    | 0,70              | Öngerme Halatlı | Düz           | 0,00               |
| S-PT0_C100   | 1,00              | Öngerme Halatlı | Düz           | 0,00               |
| S-PT50_C50   | 0,50              | Öngerme Halatlı | Düz           | 50,00              |
| S-PT50_C70   | 0,70              | Öngerme Halatlı | Düz           | 50,00              |
| S-PT50_C100  | 1,00              | Öngerme Halatlı | Düz           | 50,00              |
| S-PT100_C50  | 0,50              | Öngerme Halatlı | Düz           | 100,00             |
| S-PT100_C70  | 0,70              | Öngerme Halatlı | Düz           | 100,00             |
| S-PT100_C100 | 1,00              | Öngerme Halatlı | Düz           | 100,00             |

Sonlu eleman modellerinin boyutlandırılmasında kiriş net açıklığı 3,6 metre olarak belirlenmiştir ve tüm modellerde IPE180 çelik profil kiriş kullanılmıştır. Beton tabliye genişliği ise açıklığa bağlı olarak efektif döşeme genişliğini temsil etmesi amacıyla 900mm olarak belirlenmiştir. Beton tabliye yüksekliği tüm modeller için 100mm'dir. Kayma bağlantı elemanı olarak 19x75mm boyutlarında kayma çivileri seçilmiştir. Enine ve boyuna yönde minimum donatı oranı (0,002xAc) kullanılmıştır. Donatı çapları 8mm'dir. Çelik kirişte kullanılan rijitleştirme levhalarının kalınlığı 10mm'dir. Halat çapı 140mm'dir. Sonlu eleman modellerine 4 noktalı eğilme düzeninde statik artımsal yük etki ettirilerek modellerin doğrusal olmayan analizleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.4).



Şekil 5.4. Bağlantı derecesi ve ardgerme oranı incelenen sonlu eleman modellerinin yükleme düzeneği

Sonlu eleman modellerinin doğrusal olmayan statik analiz sonuçlarından; betonarme tabliyede meydana gelen boyuna kesme çatlakları, öngerme halatı gerilme durumları,  $L/100$  orta açıklık sehimini için yük - sehim ilişkileri elde edilmiştir. Ayrıca, Çizelge 5.2’de tüm modellerin analiz sonuçları özet şeklinde sunulmuştur.

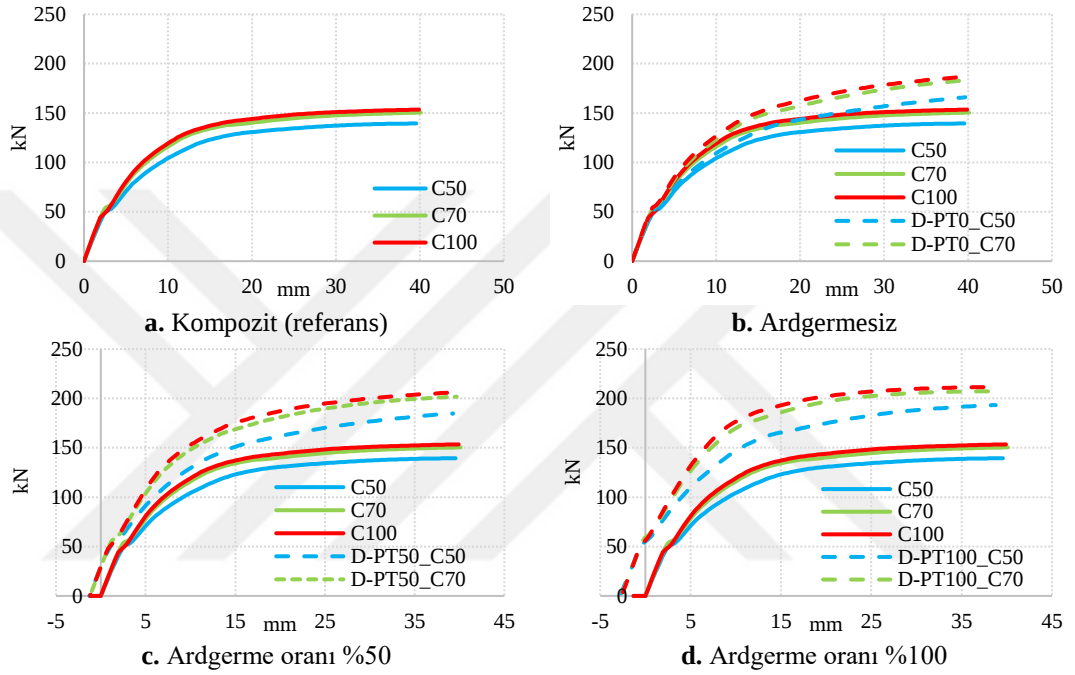
#### 5.1.1. Öngerme halatlı çelik-beton kompozit kirişlerde kısmi bağlantı derecesi ve halat germe oranının yük-sehim ilişkisine etkisinin değerlendirilmesi

Şekil 5.5’de, kompozit ve dökümlü halat profiline sahip modellerin yük-sehim ilişkileri verilmiştir. Şekil 5.5a’da farklı kesme bağlantı derecesine sahip çelik-beton kompozit kirişlerin yük taşıma kapasiteleri karşılaştırılmıştır. C50 ve C70 modellerinin (kısmi etkileşim) yük taşıma kapasitesi C100 modeline (tam etkileşim) göre sırasıyla %9 ve %2 oranında daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Farklı bağlantı derecesine sahip çelik-beton kompozit kiriş modelleri (C50, C70, C100) ile ardgermesiz dökümlü halat profilline sahip kompozit kiriş modellerinin (D-PT0-C50, D-PT0-C70, D-PT0-C100) analiz sonuçlarından elde edilen yük-sehim ilişkileri Şekil 5.5b’de verilmiştir. Bağlantı derecesinin 0,50, 0,70 ve 1,00 olduğu modeller için ardgermesiz dökümlü halat profili kullanımı çelik-beton kompozit kirişin yük taşıma kapasitesini sırasıyla yaklaşık %19,07, %21,96 ve %21,85 oranında arttırdığı tespit edilmiştir. Analiz sonucunda, 0,50, 0,70 ve 1,00 bağlantı dereceli dökümlü halat modelleri için nihai halat gerilmesi sırasıyla 902, 991 ve 992 MPa olarak tespit edilmiştir.

Şekil 5.5c’de, %50 oranında ardgerme uygulanan dökümlü halat profiline sahip kompozit kiriş modelleri (D-PT50-C50, D-PT50-C70, D-PT50-C100) ile kompozit kiriş modellerinin (C50, C70, C100) analiz sonuçlarından elde edilen yük-sehim

grafikleri karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Öngerme halatlarına uygulanan ardgermenin etkisiyle kirişlerin orta açıklık bölgesinde yaklaşık 1,3-1,4mm ters sehimi olduğu tespit edilmiştir. Öngerme halatlarına %50 oranında ardgerme uygulanması 0,50, 0,70 ve 1,00 bağlantı dereceli kompozit kiriş modellerin yük taşıma kapasitesini sırasıyla %20,39, %31,49 ve %34,35 oranında arttırmıştır. Analiz sonucunda, 0,50, 0,70 ve 1,00 bağlantı dereceli %50 ardgermeli dökümlü halat modelleri için nihai halat gerilmesi sırasıyla 1489,49, 1585,67 ve 1582,50 MPa olarak tespit edilmiştir.



Şekil 5.5. Kompozit ve dökümlü halat profiline sahip modellerin yük-sehim ilişkileri

Şekil 5.5d'de, %100 oranında ardgerme uygulanan dökümlü halat profiline sahip kompozit kiriş modelleri (D-PT100-C50, D-PT100-C70, D-PT100-C100) ile kompozit kiriş modellerinin (C50, C70, C100) analiz sonuçlarından elde edilen yük-sehim grafikleri karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Öngerme halatlarına uygulanan ardgermenin etkisiyle kirişlerin orta açıklık bölgesinde 2,9-3,1mm ters sehimi oluşmuştur. %100 ardgermeli halatların yük taşıma kapasitesini 0,50, 0,70 ve 1,00 bağlantı dereceleri kompozit kirişler için sırasıyla %25,91, %35,19 ve %37,87 oranında arttırdığı tespit edilmiştir. Analiz sonucunda, 0,50, 0,70 ve 1,00 bağlantı dereceli %100 ardgermeli dökümlü halat modelleri için nihai halat gerilmesi sırasıyla 1702,45, 1708,36 ve 1708,84 MPa olarak tespit edilmiştir. Bu durum, analiz

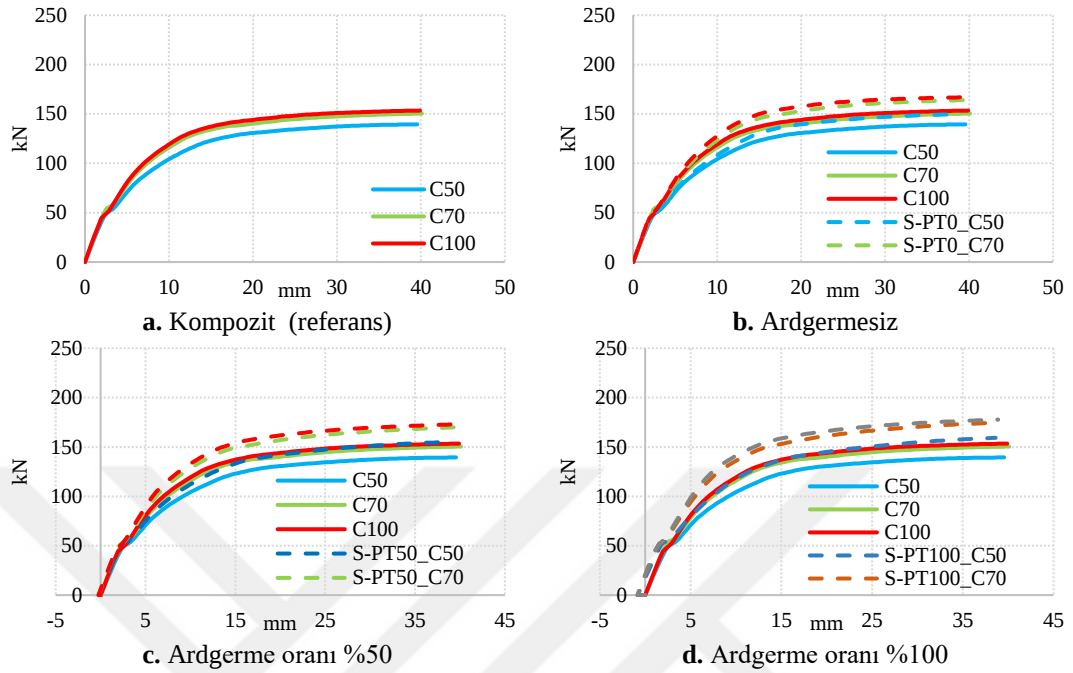
sonucunda %100 ardgerilen öngerme halatlarında akma noktasının aşıldığını göstermektedir.

Farklı bağlantı derecesine sahip çelik-beton kompozit kiriş modelleri ile ardgermesiz düz halat profiline sahip çelik-beton kompozit kiriş modellerinin analiz sonuçlarından elde edilen yük-sehim ilişkileri Şekil 5.6b’de sunulmuştur. Bağlantı derecesinin 0,50, 0,70 ve 1,00 olduğu modeller için ardgermesiz düz halat profili kullanımı çelik-beton kompozit kirişlerin yük taşıma kapasitesini sırasıyla %7,39, %9,04 ve %8,73 oranında arttırmıştır. Analiz sonucunda, 0,50, 0,70 ve 1,00 bağlantı dereceli düz halat profilli modeller için nihai halat gerilmesi sırasıyla 642, 725 ve 732,67 MPa olarak tespit edilmiştir.

Şekil 5.6c’de, %50 oranında ardgerme uygulanan düz halat profiline sahip kiriş modelleri ile çelik-beton kompozit kiriş modellerinin analiz sonuçlarından elde edilen yük-sehim grafikleri karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Öngerme halatlarına uygulanan ardgermenin etkisiyle kirişlerin orta açıklık bölgesinde yaklaşık 0,22-0,24mm ters sehim olduğu tespit edilmiştir. Öngerme halatlarına %50 oranında ardgerme uygulanması 0,50, 0,70 ve 1,00 bağlantı dereceli kompozit kiriş modellerin yük taşıma kapasitesini sırasıyla %11,25, %12,92 ve %12,60 oranında arttırmıştır. Analiz sonucunda, 0,50, 0,70 ve 1,00 bağlantı dereceli %50 ardgermeli düz halat profilli modeller için nihai halat gerilmesi sırasıyla 995,38, 1064,47 ve 1074,22 MPa olarak tespit edilmiştir.

Şekil 5.6d’de, %100 oranında ardgerme uygulanan düz halat profiline sahip kiriş modelleri ile çelik-beton kompozit kiriş modellerinin analiz sonuçlarından elde edilen yük-sehim grafikleri karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Öngerme halatlarına uygulanan ardgermenin etkisiyle kirişlerin orta açıklık bölgesinde 0,81-0,86mm ters sehim oluşmuştur. %100 ardgermeli halatların yük taşıma kapasitesini 0,50, 0,70 ve 1,00 bağlantı dereceleri kompozit kirişler için sırasıyla %14,24, %16,03 ve %15,81 oranında arttırdığı tespit edilmiştir. Analiz sonucunda, 0,50, 0,70 ve 1,00 bağlantı dereceli %100 ardgermeli düz halat modelleri için nihai halat gerilmesi sırasıyla 1643,51, 1690,19 ve 1690,41 MPa olarak tespit edilmiştir. Bu durum, analiz

sonucunda %100 oranında ardgerilen 0,70 ve 1,00 bağlantı derecesine sahip modellerin öngerme halatlarında akma noktasının aşıldığını göstermektedir.



Şekil 5.6. Kompozit ve düz halat profiline sahip modellerin yük-sehim ilişkileri

Çizelge 5.2’de bağlantı derecesi ve ardgerme oranı incelenen sonlu eleman modellerinin analiz sonuçlarının özet tablosu sunulmuştur. Çizelge 5.2’de verilen boyuna kesme hasarı beton hasar parametresi dikkate alınarak belirlenmiştir. Nihai durum ise hedef deplasman değerine kadar itilen modelin analiz sonucu olarak belirlenmiştir.

C100 modelinin analiz sonuçları değerlendirildiğinde, boyuna kesme hasarı ve nihai durumdaki yük taşıma kapasitesinin birbirine yakın olduğu ancak boyuna kesme hasarındaki orta açıklık sehiminin nihai durumdaki sehimden yaklaşık %6 daha az olduğu tespit edilmiştir. C100 modeli ile C50 modelinin boyuna kesme hasarı olduğu andaki sehim değerleri karşılaştırıldığında, C50 modelinin C100 modeline kıyasla %19 daha az orta açıklık sehimini yaparak boyuna kesme hasarına uğradığı tespit edilmiştir. C70 ve C100 modellerinin boyuna kesme hasarı oluştuğunda orta açıklık sehim değerleri karşılaştırıldığında, C70 modelinin C100 modeline kıyasla yaklaşık %8,5 daha az orta açıklık sehiminde boyuna kesme hasarına uğradığı tespit edilmiştir. C70 ve C100 modellerinin boyuna kesme hasarı oluştuğunda yük taşıma kapasiteleri

arasındaki fark yaklaşık %2,6 olarak bulunmuştur. C50 ve C100 modellerinin boyuna kesme hasarı oluştuğunda yük taşıma kapasiteleri arasındaki fark ise yaklaşık %11,4 olarak bulunmuştur. Öngerme halatlı çelik-beton kompozit kirişler için de bağlantı derecesine bağlı olarak benzer sonuçlar alınmıştır. Bu durum bağlantı derecesi açısından değerlendirildiğinde, bağlantı derecesi azaldığında kayma çivisi sayısı azalmakta ve kayma çivilerinin karşıladığı kesme kuvvetleri artmaktadır. Bunun sonucunda kayma çivilerinin etrafında gerilme yığılmaları oluşmakta ve beton tabliyede boyuna kesme çatlakları oluşmaktadır.

Çizelge 5.2. Bağlantı derecesi ve ardgerme oranı incelenen sonlu eleman modellerinin analiz sonuçları

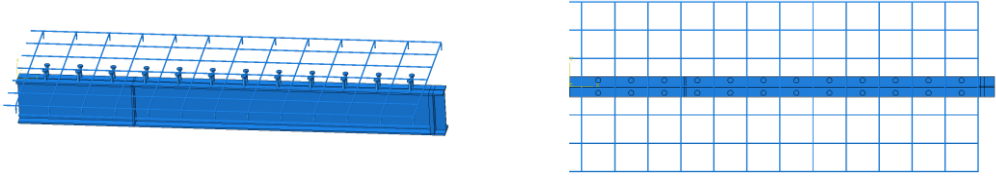
| Model        | Beton tabliye kayma (mm) | Açıklık sehim (mm) | Ters sehim (mm) | Nihai Yük (kN) | Halat Gerilme Nihai (MPa) | Boyuna Kesme mm | Boyuna Kesme kN | Boyuna Kesme Kazanımı (%) | Nihai Durum Kazanımı (%) | Tam etkileşim Durumuna göre kazanım B.K.(%) | Tam etkileşim Durumuna göre kazanım N.D.(%) |
|--------------|--------------------------|--------------------|-----------------|----------------|---------------------------|-----------------|-----------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|
| C50          | -2,86                    | 40,22              |                 | 139,45         |                           | 30,59           | 137,47          |                           |                          | -10,22                                      | -9,12                                       |
| C70          | -3,00                    | 40,28              |                 | 150,44         |                           | 34,54           | 149,14          | 8,48                      | 7,88                     | -2,59                                       | -1,96                                       |
| C100         | -2,85                    | 40,11              |                 | 153,45         |                           | 37,78           | 153,11          | 11,37                     | 10,04                    | 0,00                                        | 0,00                                        |
| D-PT0_C50    | -2,63                    | 39,97              |                 | 166,04         | 902,07                    | 30,46           | 157,38          | 14,48                     | 19,07                    | 2,79                                        | 8,20                                        |
| D-PT0_C70    | -2,90                    | 40,41              |                 | 183,47         | 991,71                    | 34,67           | 178,97          | 20,00                     | 21,96                    | 16,89                                       | 19,56                                       |
| D-PT0_C100   | -2,91                    | 40,19              |                 | 186,98         | 990,17                    | 37,94           | 185,54          | 21,18                     | 21,85                    | 21,18                                       | 21,85                                       |
| D-PT50_C50   | -2,72                    | 39,52              | -1,42           | 184,74         | 1489,49                   | 30,79           | 177,47          | 29,10                     | 32,48                    | 15,91                                       | 20,39                                       |
| D-PT50_C70   | -2,76                    | 40,09              | -1,33           | 201,77         | 1585,67                   | 34,67           | 199,26          | 33,61                     | 34,12                    | 30,14                                       | 31,49                                       |
| D-PT50_C100  | -2,81                    | 39,97              | -1,32           | 206,16         | 1582,50                   | 37,61           | 205,23          | 34,04                     | 34,35                    | 34,04                                       | 34,35                                       |
| D-PT100_C50  | -3,14                    | 39,08              | -3,11           | 193,20         | 1702,45                   | 30,67           | 188,83          | 37,37                     | 38,55                    | 23,33                                       | 25,91                                       |
| D-PT100_C70  | -3,21                    | 39,69              | -2,92           | 207,45         | 1708,36                   | 34,73           | 206,87          | 38,71                     | 37,90                    | 35,11                                       | 35,19                                       |
| D-PT100_C100 | -3,45                    | 39,68              | -2,90           | 211,56         | 1708,84                   | 37,46           | 211,46          | 38,11                     | 37,87                    | 38,11                                       | 37,87                                       |
| S-PT0_C50    | -2,58                    | 39,67              |                 | 149,76         | 642,95                    | 30,59           | 147,27          | 7,12                      | 7,39                     | -3,82                                       | -2,40                                       |
| S-PT0_C70    | -2,76                    | 40,05              |                 | 164,05         | 725,55                    | 34,86           | 162,89          | 9,22                      | 9,04                     | 6,39                                        | 6,91                                        |
| S-PT0_C100   | -2,77                    | 39,78              |                 | 166,84         | 732,67                    | 37,75           | 166,60          | 8,81                      | 8,73                     | 8,81                                        | 8,73                                        |
| S-PT50_C50   | -3,78                    | 39,56              | -0,22           | 155,13         | 995,38                    | 30,56           | 151,48          | 10,19                     | 11,25                    | -1,06                                       | 1,10                                        |
| S-PT50_C70   | -2,95                    | 39,95              | -0,24           | 169,87         | 1064,47                   | 34,91           | 168,23          | 12,80                     | 12,92                    | 9,88                                        | 10,70                                       |
| S-PT50_C100  | -2,95                    | 39,34              | -0,24           | 172,79         | 1074,22                   | 37,77           | 172,41          | 12,60                     | 12,60                    | 12,60                                       | 12,60                                       |
| S-PT100_C50  | -2,73                    | 38,66              | -0,81           | 159,30         | 1643,51                   | 30,68           | 155,25          | 12,93                     | 14,24                    | 1,40                                        | 3,81                                        |
| S-PT100_C70  | -2,88                    | 39,25              | -0,86           | 174,55         | 1690,19                   | 34,60           | 173,06          | 16,04                     | 16,03                    | 13,03                                       | 13,75                                       |
| S-PT100_C100 | -3,02                    | 38,94              | -0,86           | 177,71         | 1690,41                   | 37,74           | 177,34          | 15,83                     | 15,81                    | 15,83                                       | 15,81                                       |

Halatlı modellerin yüzdesel kazanımları hesaplanırken ilgili modelin halatsız durumu referans alınmıştır. Bu şekli ile öngerme halatların sağladığı pozitif katkı belirlenmeye

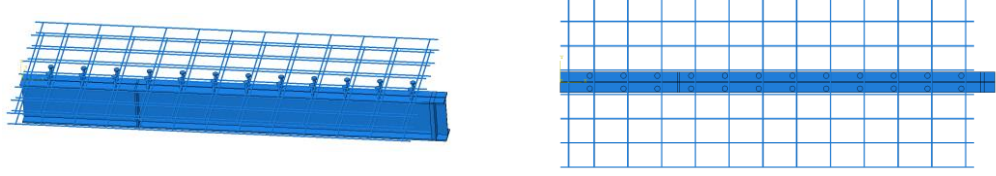
alışılmıştır. 3,6 metre açıklık için oluşturulan 21 model karşılaştırıldığında halatların %70 oranında ardgerme uygulamanın efektif olduğu söylenebilir. Kompozit etkileşim durumları dikkate alındığında ise en az %70 oranında bağlantı derecesinin sağlandığı durumlar efektiftir.

## **5.2. Ardgermeli elik-Beton Kompozit Kirişlerde Donatı Yerleşiminin Yapısal Davranışa Etkisinin İncelenmesi**

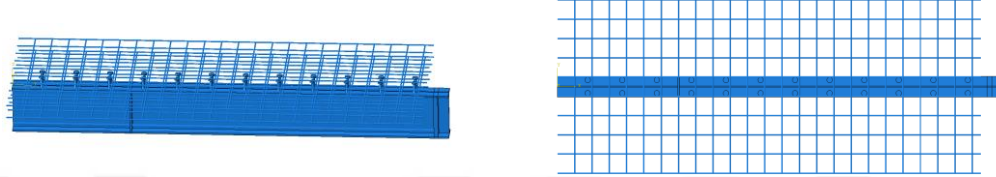
elik-beton kompozit kiriş yönetmeliklerinde enine donatı yerleşim kuralları hakkında herhangi bir sınırlandırma bulunmamaktadır. Yönetmeliklerde, enine donatının beton kesit alanına bağlı olarak minimum donatı oranı kadar atılması gerektiği belirtilmektedir. Bu bölümde, daha önceki bölümde doğrulan Chen BS1 modeli üzerinde enine donatı yerleşimi değiştirilerek 6 farklı sonlu eleman modeli oluşturulmuştur (şekil 5.7). Bu modellerin oluşturulmasındaki amaç; elik-beton kompozit kirişlerde göçme durumlarından biri olan boyuna kesme çatlağının azaltılarak kontrol altına alınmak istenmesidir. Bu kapsamda, Chen Donatı V1 modelinde sadece kayma vilerinin arkasında olacak şekilde enine donatı yerleştirilmiştir. Chen Donatı V2 modelinde, hem kayma vilerinin arkasında hem de iki kayma visi arasındaki orta mesafede enine donatı yerleştirilmiştir. Chen Donatı V3 modelinde, kayma vilerinin hem önünde hem de arkasında enine donatı kullanılmıştır. Chen Donatı V4 modelinde kayma vilerinin arkasınca iki sıra enine donatı kullanılmıştır. Chen Donatı V5 modelinde ise trapez sa levhalı betonarme tabliye düzenlenmiş ve bu modelde Chen BS1 modelindeki donatı yerleşimi dikkate alınmıştır.



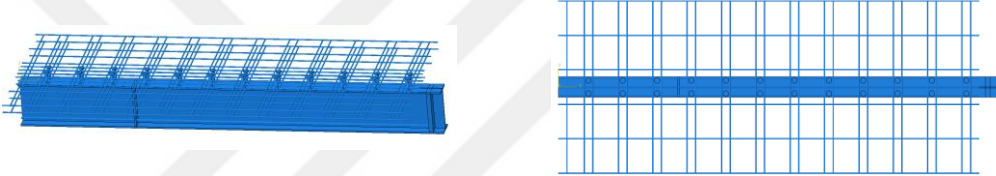
**a. Chen BS1 modeli donatı düzeni (Chen BS1)**



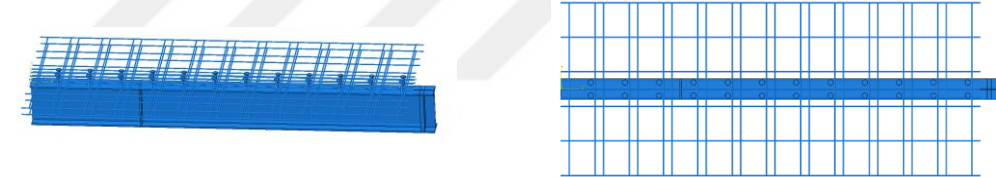
**b. Kayma çivisi arkasında enine donatı düzeni (Chen Donatı V1)**



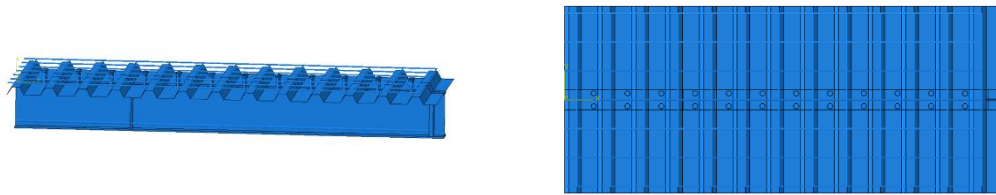
**c. Kayma çivisi arkasında ve iki kayma çivisi ortasında enine donatı düzeni (Chen Donatı V2)**



**d. Kayma çivisinin önünde ve arkasında enine donatı düzeni (Chen Donatı V3)**



**e. Kayma çivisi arkasında 2 sıra enine donatı düzeni (Chen Donatı V4)**



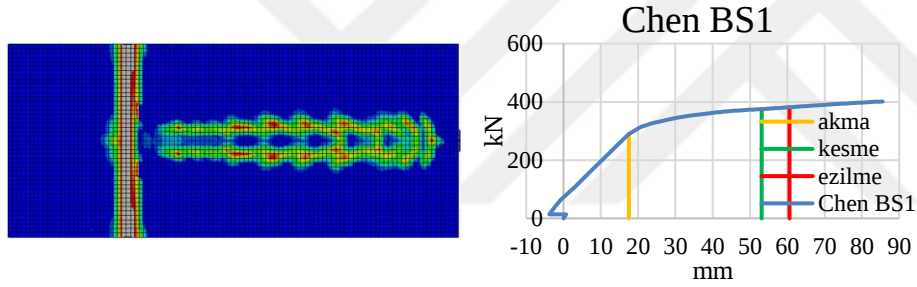
**f. Chen Trapez Saç (Chen Donatı V5)**

**Şekil 5.7. Enine donatı yerleşiminin dikkate alındığı sonlu eleman modelleri**

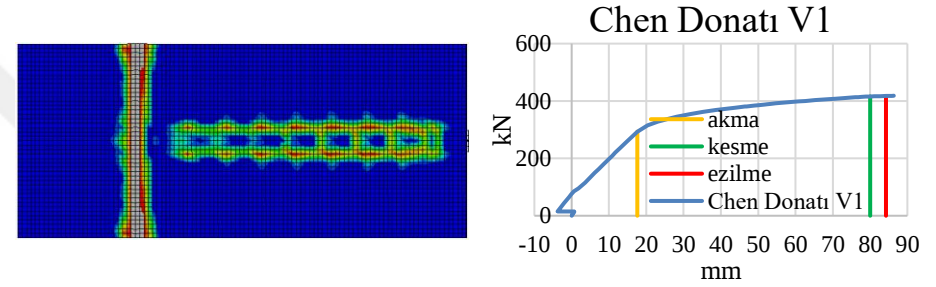
Şekil 5.7’de belirtilen sonlu eleman modellerine Abaqus programında üç adımlı analiz uygulanmıştır. Analizin ilk adımında yerçekimi kuvveti dikkate alınarak kirişler kendi ağırlığınca pozitif sehim yaptırılmıştır. İkinci analiz adımında, öngerme halatlarına Chen BS1 modelinde belirtildiği kadar ardgerme uygulanarak kirişlerin negatif sehim yapması sağlanmıştır. Üçüncü analiz adımında ise kirişler 4 noktalı eğilme düzeni dikkate alınarak düşey yönde 80mm artımsal olarak itilmiştir. Analiz sonuçlarından elde edilen boyuna kesme çatlakları ve yük-sehim grafikleri Şekil 5.8’de

gösterilmiştir. Şekil 5.8'in sol tarafında verilen görsellerde boyuna kesme hasarları gösterilirken, Şekil 5.8'in sağ tarafında verilen görsellerde çelik alt başlığın akma, betonun boyuna kesme ve betonun ezilme durumları yük-sehim grafikleri ile ilişkilendirilerek verilmiştir. Şekil 5.8'in sağ tarafında bulunan yük-sehim grafikleri incelendiğinde; Chen BS1, Chen Donatı V1, Chen Donatı V5 modellerinde beton ezilmesinden önce boyuna kesme hasarının oluştuğu görülmektedir.

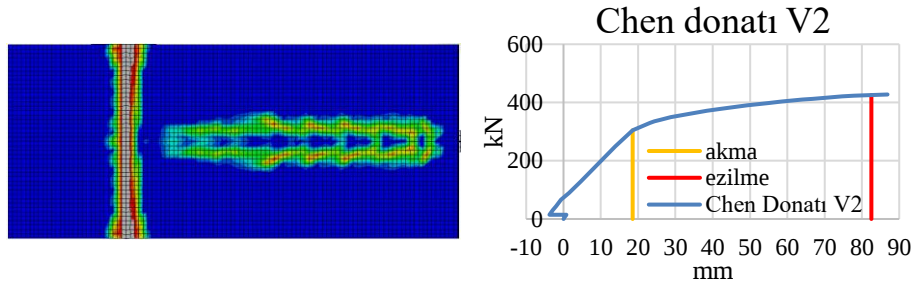




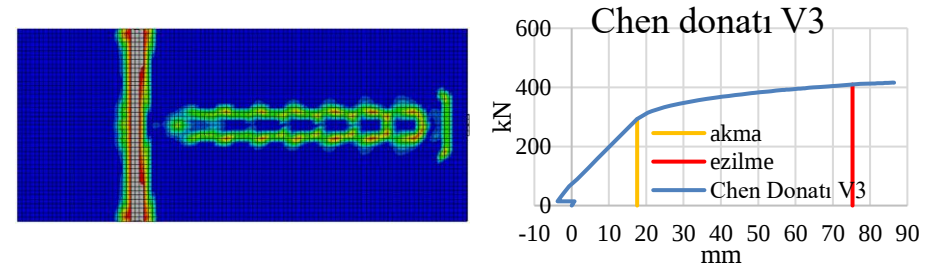
a. Chen BS1 Modeli donatı düzeni (Chen BS1)



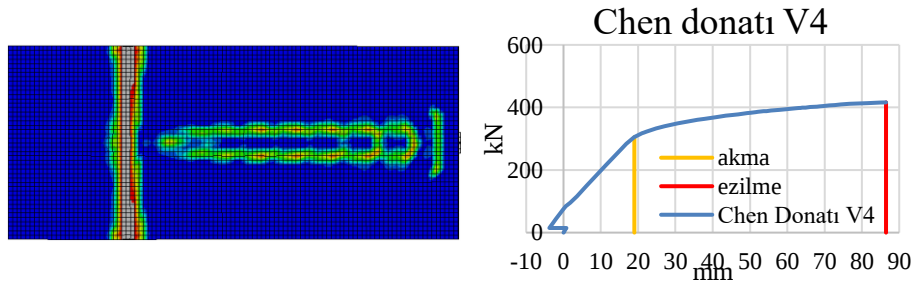
b. Kayma çivisi arkası enine donatı (Chen Donatı V1)



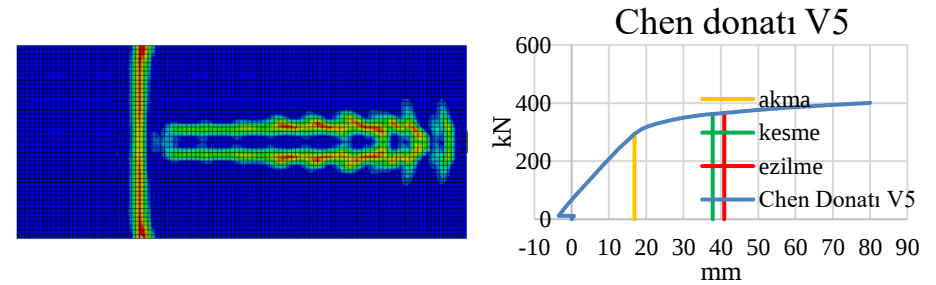
c. Kayma çivisi ve iki kayma çivisi ortasında enine donatı (Chen Donatı V2)



d. Kayma çivisi önü ve kayma çivisi arkası enine donatı (Chen Donatı V3)



e. Kayma çivisi arkası 2 sıra enine donatı (Chen Donatı V4)



f. Chen Trapez Saç (Chen Donatı V5)

Şekil 5.8. Sonlu eleman modellerinde oluşan boyuna kesme çatlakları ve yük-sehim grafikleri

Şekil 5.8 incelendiğinde yaklaşık 18mm pozitif sehime ulaşıldığında trapez saçlı model hariç tüm modellerde çelik kirişin alt başlığında akma tespit edilmiştir. Trapez saçlı modelde ise 16mm pozitif sehime ulaşıldığında çelik kiriş alt başlığı akmıştır. Chen Donatı V5 modelinde trapez saç kullanılmasından dolayı beton tabliye de süreksizlikler bulunmaktadır. Bu durum beton tabliyenin taşıma gücünü azaltmakta buna bağlı olarak tarafsız eksenin konumu değişmektedir.

Chen BS1 modelinin yük-sehim grafiği incelendiğinde, çelik kiriş alt başlık aktıktan sonra göçme durumunu boyuna kesme hasarı belirlemiştir. Boyuna kesme hasarı oluştuğunda 53mm sehim değerine karşılık gelen yük 375 kN olarak tespit edilmiştir. Bu modelde, donatı düzensizliği nedeniyle beton ezilmeye uğrayamadan boyuna kesme çatlağı göçme durumunda belirleyici olmuştur.

Chen Donatı V1 modelinin yük-sehim grafiği incelendiğinde, bu modelde de göçme durumunda boyuna kesme hasarı belirleyici olmuştur. Ancak, bu modelde kayma çivilerinin arkasına yerleştirilen enine donatının etkinliğinden dolayı boyuna kesme hasarı geciktirilmiştir. Chen BS1 modeline göre sehim değeri yaklaşık 27mm daha arttırılmıştır. Bu durum, basit bir donatı düzenlemesiyle kompozit kirişin sünekliğinin ve buna bağlı olarak enerji tüketme kapasitesinin önemli ölçüde iyileştirilebileceğini göstermiştir.

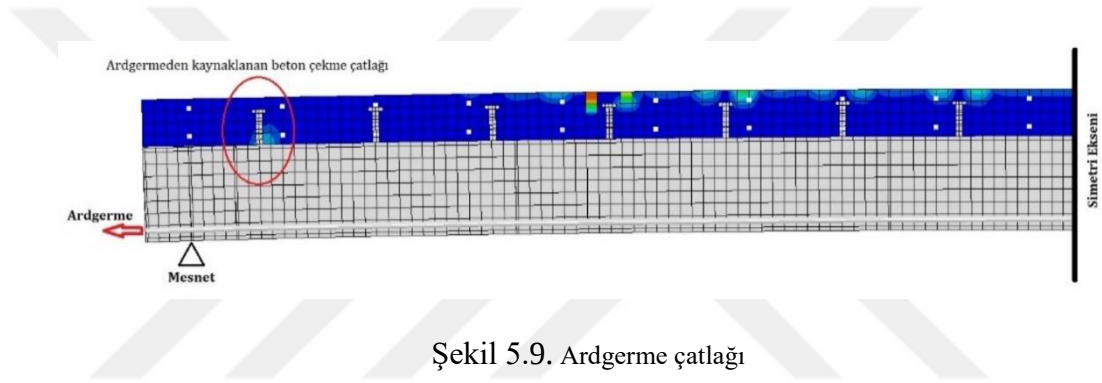
Chen Donatı V2, Chen Donatı V3 ve Chen Donatı V4 modellerinde ise göçme durumunu betonun ezilmesi belirlemiştir. Bu modellerde yüksek oranda donatı kullanıldığından boyuna kesme hasarı göçme modunda belirleyici olamamıştır. Eurocode 4 ve AISC 360-16 yönetmeliklerinde belirtilen  $0.002 \times A_c$  donatı oranı dikkate alındığında bu modellerde fazla donatı kullanıldığı söylenebilir. Chen Donatı V5 modelinde ise trapez saçtan kaynaklanan süreksizlik nedeniyle göçme modunda boyuna kesme hasarı belirleyici olmuştur. Burada ifade edilen göçme durumları nihai durum olarak dikkate alındığında Chen BS1, Chen Donatı V1, Chen Donatı V2, Chen Donatı V3, Chen Donatı V4, Chen Donatı V5 modelleri için süneklik oranları sırasıyla 3,45, 4,78, 4,28, 4,55 ve 2,24 olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak, kayma çivilerinin arkasına enine donatıların yerleştirildiği donatı düzenlemesiyle boyuna kesme hasarı önemli ölçüde geciktirilebilir ve bu durumda daha sünek tasarımların yapılmasına olanak sağlayabilir.

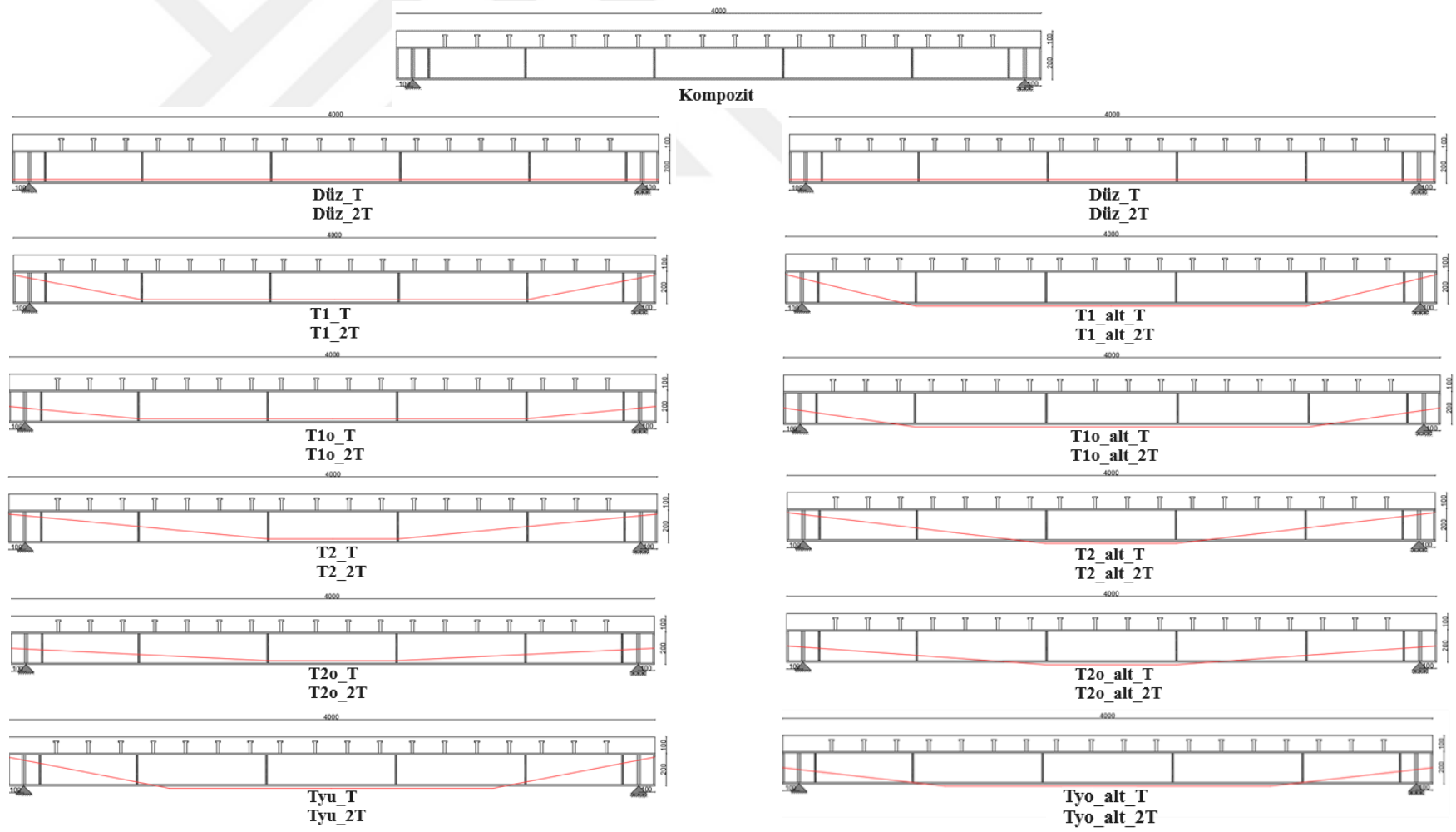
### 5.3. Ardgermeli Çelik-Beton Kompozit Kirişlerde Öngerme Halatı Yerleşiminin Yapısal Davranışa Etkisinin İncelenmesi

Çelik-beton kompozit kirişlere öngerme halatı eklendiğinde kesit taşıma kapasitesi önemli ölçüde arttırılabilmektedir. Kapasitede nasıl bir değişim olacağı öngerme halatının yerleşim düzenine, halat malzeme özelliğine, halat kesit alanına ve halat gerdirme oranına bağlıdır. Bu çalışmada, Bölüm 4'te doğrulanan modelleme tekniği kullanılarak 23 adet sonlu eleman modeli oluşturulmuştur (Şekil 5.10). Sonlu eleman modellerinde çelik kiriş olarak IPE 200 profil seçilmiştir. Mesnetler arası net açıklık 3800mm, beton tabliye genişliği 1000mm ve beton tabliye yüksekliği 100mm olarak belirlenmiştir. Sonlu eleman modellerinde tam etkileşimli kompozit kirişi temsil edecek şekilde kayma çivisi tasarımı yapılmıştır. Öngerme halatı yerleşiminin etkisini değerlendirebilmek amacıyla bir adet model çelik-beton kompozit kiriş olarak tasarlanmıştır. Beton malzeme sınıfı olarak C30, yapısal çelik sınıfı olarak S235 olarak dikkate alınmıştır. Öngerme halatları için ASTM 416 270K malzeme sınıfını temsil eden düşük gevşemeli halatlar seçilmiştir. Öngerme halatlarının kesit alanı  $140\text{mm}^2$ 'dir.

Şekil 5.10'da, sonlu eleman modellerindeki öngerme halatı yerleşimi kırmızı çizgi ile gösterilmiş ve bu yerleşimi temsil eden model isimlendirmeleri kirişlerin altında belirtilmiştir. Burada, isimlendirmede son kısım T harfi olduğunda 2x1 öngerme halatı kullanıldığı ifade edilirken, isimlendirme son kısım 2T olduğunda 2x2 öngerme halatı kullanıldığı ifade edilmektedir. Öngerme halatının uçlarının çelik kiriş üst başlığının altında konumlandırıldığı modeller T1, T2 ve Tyu ile isimlendirilen modellerdir. Öngerme halatı uçlarının çelik kirişin ağırlık merkezinde konumlandırıldığı modeller ise T1o, T1o\_alt, T2o, T2o\_alt ve Tyo ile isimlendirilmiştir. Düz isimlendirmesi ile çelik profil alt başlığının 30mm üstünde açıklık boyunca düz konumlandırılan öngerme halatı yerleşimi ifade edilmektedir. Öngerme halatının mesnet ile kiriş orta noktasındaki mesafenin yarısından döndürülerek dökümlü halat yerleşiminin oluşturulduğu modeller Tyo harfleri ile isimlendirilmiştir. Alt isimlendirmesi ile öngerme halatlarının açıklıkta çelik kiriş alt başlığının altında konumlandırıldığı ifade edilmektedir. Bu kapsamda, 12 adet öngerme halat yerleşiminin dikkate alındığı toplamda 23 adet sonlu eleman modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan sonlu eleman modellerine üç adımlı statik analiz uygulanmıştır. Analizin ilk aşamasında yerçekimi

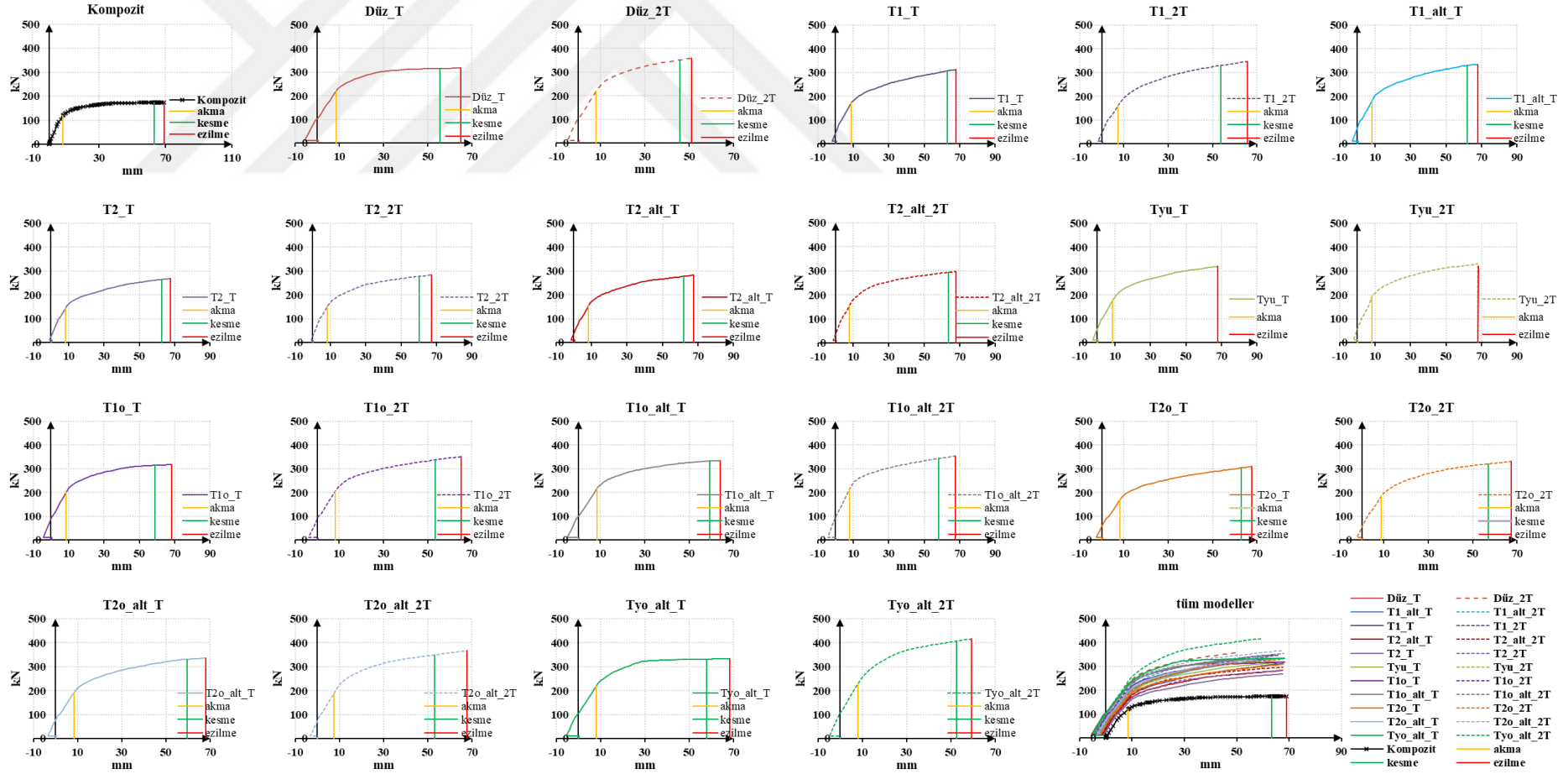
etkileri dikkate alınarak modeller kendi ağırlıkları altında pozitif sehim yaptırılmıştır. Analizin ikinci aşamasında, modellerde herhangi bir beton çatlaması oluşturmayacak şekilde öngerme halatlarına maksimum seviyede ardgerme yükü uygulanarak kirişler negatif sehim yaptırılmıştır. Analizin son aşamasında ise modeller 4 noktalı eğilme altında hedef deplasmana kadar düşey yönde itilerek pozitif sehim yaptırılmıştır. Bu modellerin oluşturulmasındaki amaç; farklı öngerme halatı yerleşimine sahip çelik-beton kompozit kirişlerde efektif öngerme halatı yerleşiminin belirlenmek istenmesidir. Çünkü, öngerme halatı yerleşimi değiştirildiğinde öngerme halatlarına uygulanacak ardgerme kuvveti kirişin yapısal davranışını değiştirmektedir. Örnek olarak mesnet bölgesindeki kayma çivilerin başında başlayan beton kesme çatlağı ardgerme oranını sınırlamaktadır (Şekil 5.9).





Şekil 5.10. Öngerme halatı yerleşiminin dikkate alındığı sonlu eleman modelleri

Şekil 5.11’de, sayısal modellerin statik analiz sonuçlarından elde edilen yük-deplasman grafikleri çizdirilmiştir. Tüm sayısal modellerin analiz sonuçlarının üst üste çizdirildiği grafikte halat profili ve ardgerme farklılığından oluşan negatif sehim ve kesit kapasitesi farklılıkları açıkça görülmektedir. Ayrıca bu grafikte sarı, yeşil ve kırmızı düz düşey çizgilerle sırasıyla çelik kiriş alt başlık akma anı, beton boyuna kesme hasarı ve beton ezilme hasarı ifade edilmektedir. Grafikler incelendiğinde, 2x2 halat kullanımı dışındaki diğer tüm modellerde çelik kiriş alt başlık akması yaklaşık 8mm pozitif sehim değerinde başladığı tespit edilmiştir. Halat profili etkisinden dolayı boyuna kesme hasarları farklı pozitif sehim değerlerinde oluşmuştur. 2x2 halat kullanılan modeller ile 2x1 halat kullanılan modeller kendi içerisinde kıyaslandığında 2x2 halatlı modellerde boyuna kesme hasarının daha erken başladığı tespit edilmiştir. Aynı durum, kompozit kirişe kıyasla 2x1 halatlı modellerde de tespit edilmiştir. Bu durum, çelik kiriş akmaya başlayana kadar beton, çelik kiriş ve halat şekil değiştirmelerinde bir uyum içerisinde (lineer sınır) kalındığı ancak çelik kiriş aktıktan sonra halat şekil değiştirmesinin lineer sınırlar içerisinde kaldığı bu durumun da artan yük etkisiyle sehim değerini sınırlandırarak beton tabliyenin sıkıştırma etkisine maruz bıraktığı düşünülmektedir.



Şekil 5.11. Öngerme halatı yerleşiminin dikkate alındığı sayısal modellerin analiz sonuçlarından elde edilen yük-sehim grafikleri

Sayısal modellerin analiz sonuçlarından kritik noktalardaki sehim ve kuvvet değerleri Çizelge 5.3’de özet tablo olarak sunulmuştur. Çizelge 5.3’de, 23 adet modele ait negatif sehim, ardgerme kuvvetleri, çelik akma anı, boyuna kesme hasarı ve beton ezilme hasarına ait sehim ve yük değerleri özet halinde sunulmuştur.

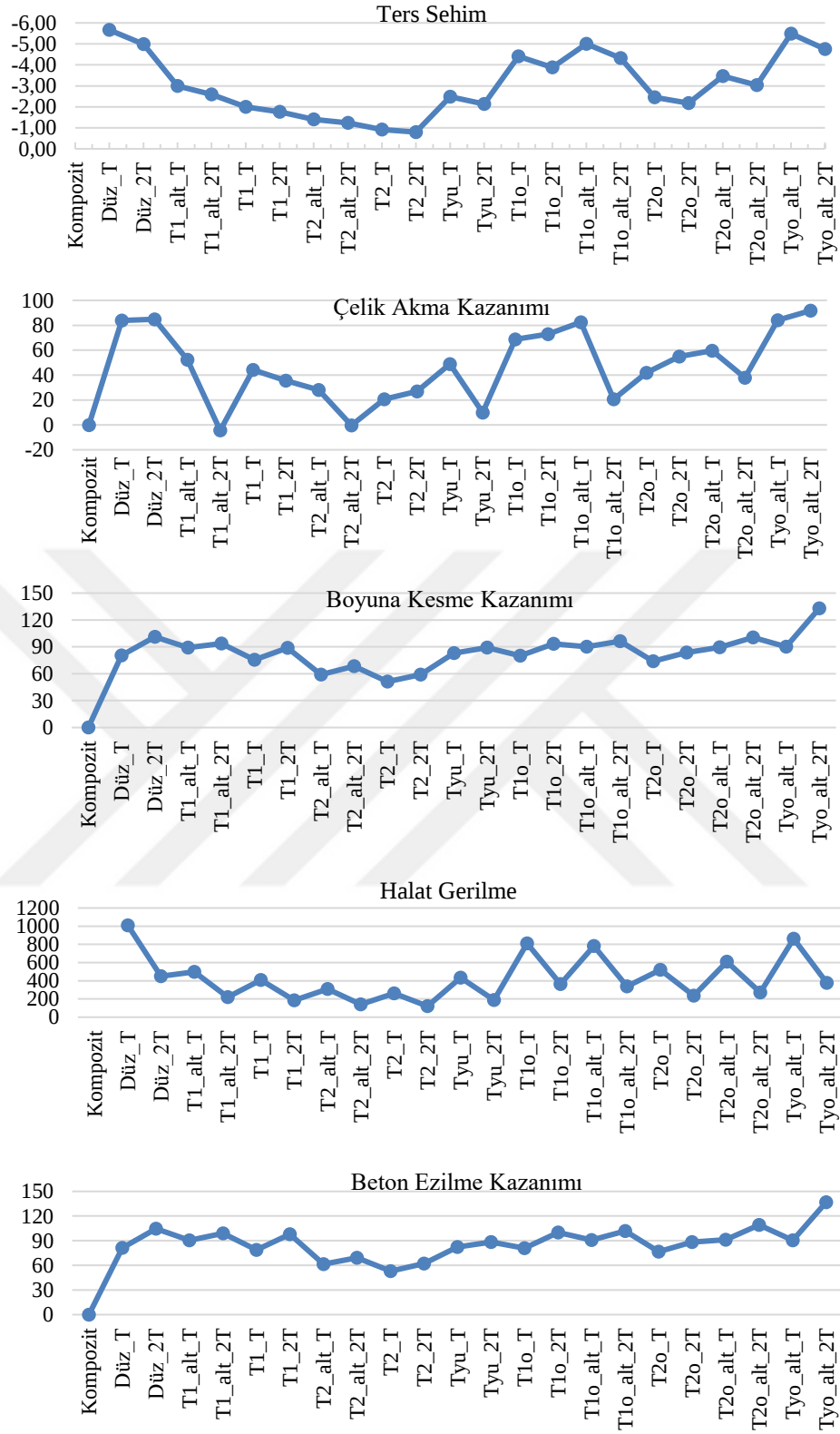
Çizelge 5.3. Öngerme halat yerleşiminin incelendiği sonlu eleman modellerinin analiz sonuçlarının özet tablosu

| No | Model      | Ardgerme |         |               | Çelik Akma |        | Boyuna Kesme |        | Beton Ezilme |        | Akma Kazanımı % | Boyuna Kesme Kazanımı % | Beton Ezilme Kazanımı % |
|----|------------|----------|---------|---------------|------------|--------|--------------|--------|--------------|--------|-----------------|-------------------------|-------------------------|
|    |            | mm       | 2N (kN) | Gerilme (MPa) | mm         | kN     | mm           | kN     | mm           | kN     |                 |                         |                         |
| 1  | Kompozit   |          |         | 1010          | 8,50       | 219,94 | 55,68        | 315,36 | 65,00        | 317,99 | 83,86           | 80,37                   | 81,23                   |
| 2  | Düz_T      | -5,66    | 282,80  | 451           | 8,09       | 221,09 | 45,78        | 351,69 | 51,16        | 359,11 | 84,82           | 101,16                  | 104,67                  |
| 3  | Düz_2T     | -4,99    | 252,56  | 498           | 8,12       | 182,39 | 61,96        | 330,49 | 68,02        | 333,93 | 52,47           | 89,03                   | 90,32                   |
| 4  | T1_alt_T   | -2,99    | 139,44  | 219           | 7,69       | 186,77 | 56,61        | 338,94 | 65,70        | 349,29 | 56,13           | 93,86                   | 99,07                   |
| 5  | T1_alt_2T  | -2,59    | 122,64  | 410           | 8,88       | 172,51 | 62,97        | 306,91 | 67,97        | 313,83 | 44,21           | 75,54                   | 78,87                   |
| 6  | T1_T       | -2,00    | 114,80  | 185           | 7,47       | 162,12 | 53,76        | 330,29 | 65,81        | 346,90 | 35,53           | 88,91                   | 97,71                   |
| 7  | T1_2T      | -1,76    | 103,60  | 310           | 8,12       | 153,20 | 62,01        | 278,01 | 67,70        | 283,29 | 28,07           | 59,01                   | 61,46                   |
| 8  | T2_alt_T   | -1,40    | 86,80   | 140           | 7,90       | 157,48 | 63,67        | 294,26 | 67,72        | 297,22 | 31,64           | 68,31                   | 69,40                   |
| 9  | T2_alt_2T  | -1,24    | 78,40   | 262           | 8,20       | 144,41 | 62,60        | 264,34 | 67,63        | 268,59 | 20,71           | 51,19                   | 53,08                   |
| 10 | T2_T       | -0,91    | 73,36   | 121           | 8,28       | 151,86 | 60,32        | 278,00 | 67,36        | 284,30 | 26,95           | 59,00                   | 62,03                   |
| 11 | T2_2T      | -0,80    | 67,76   | 433           | 8,48       | 178,07 | 68,07        | 320,19 | 68,07        | 320,19 | 48,85           | 83,13                   | 82,49                   |
| 12 | Tyu_T      | -2,48    | 121,24  | 189           | 8,23       | 196,86 | 67,89        | 330,57 | 67,89        | 330,57 | 64,56           | 89,07                   | 88,40                   |
| 13 | Tyu_2T     | -2,14    | 105,84  | 810           | 8,49       | 201,67 | 58,89        | 315,04 | 68,31        | 317,41 | 68,59           | 80,19                   | 80,90                   |
| 14 | T1o_T      | -4,40    | 226,80  | 363           | 8,33       | 206,77 | 53,59        | 337,93 | 65,09        | 350,80 | 72,85           | 93,28                   | 99,93                   |
| 15 | T1o_2T     | -3,87    | 203,28  | 782           | 8,58       | 218,15 | 59,19        | 332,51 | 64,12        | 334,65 | 82,36           | 90,18                   | 90,73                   |
| 16 | T1o_alt_T  | -5,01    | 218,96  | 340           | 7,73       | 213,55 | 58,27        | 343,16 | 67,75        | 354,21 | 78,52           | 96,28                   | 101,88                  |
| 17 | T1o_alt_2T | -4,33    | 190,40  | 519           | 8,24       | 169,59 | 62,99        | 304,24 | 67,81        | 309,71 | 41,77           | 74,01                   | 76,52                   |
| 18 | T2o_T      | -2,46    | 145,32  | 236           | 8,80       | 185,29 | 57,07        | 320,99 | 67,47        | 330,63 | 54,89           | 83,59                   | 88,44                   |
| 19 | T2o_2T     | -2,18    | 132,16  | 610           | 8,36       | 191,00 | 59,57        | 331,55 | 68,03        | 335,58 | 59,67           | 89,64                   | 91,26                   |
| 20 | T2o_alt_T  | -3,46    | 170,80  | 272           | 7,48       | 188,23 | 53,18        | 350,28 | 67,66        | 367,23 | 57,35           | 100,35                  | 109,30                  |
| 21 | T2o_alt_2T | -3,03    | 152,32  | 863           | 8,20       | 220,14 | 57,94        | 332,22 | 68,33        | 334,07 | 84,02           | 90,02                   | 90,40                   |
| 22 | Tyo_T      | -5,49    | 241,64  | 377           | 8,03       | 229,43 | 52,54        | 407,52 | 59,22        | 415,58 | 91,79           | 133,09                  | 136,86                  |
| 23 | Tyo_2T     | -4,75    | 211,12  | 1010          | 8,50       | 219,94 | 55,68        | 315,36 | 65,00        | 317,99 | 83,86           | 80,37                   | 81,23                   |

Çizelge 5.3 incelendiğinde, halatlara en fazla ardgermenin uygulandığı model 2x1 düz halatlı model olduğu tespit edilmiştir. Bu modelde her bir halata 141,40 kN ardgerme kuvveti uygulanmıştır. Bunun sonucunda orta açıklıkta kiriş kesitinin 5,66mm negatif sehim yaptığı tespit edilmiştir. En az ardgermenin uygulandığı model ise 2x2 halatlı T2\_2T modelidir. Bu modelde, beton çekme çatlağının erken başlaması halatların gerdirilmesini ciddi derecede kısıtlamıştır. Halatların her biri 33,88 kN luk bir kuvvetle gerdirilebilmiştir. Bunun sonucunda orta açıklık negatif sehim 0,8mm olarak tespit

edilmiştir. Bu durum için halat kazanımının verimliliği düşmektedir. 2x2 halat kullanılan T1\_alt\_2T, T2\_alt\_2T, Tyu\_2T, T1o\_alt\_2T ve T2o\_alt\_2T modellerinde halat kullanımı kiriş kesitini aşırı sıkıştırarak çelik kiriş alt başlık akmasının erken başlamasına neden olmuştur. Bu şekildeki halat yerleşiminin kullanılmaması gerekmektedir. Ardgerme oranının yüksek olduğu 2x1 halatlı modellerde, 2x1 halat yerine 2x2 halatlı modele geçmek halatlardaki gerilmeyi yaklaşık yarı yarıya düşürerek çelik kiriş akma anındaki halat gerilmesini daha güvenli limit sınırlarında tutulabilir. Çizelge 5.3'deki sonuçların daha basit okunabilmesi amacıyla Şekil 5.12 hazırlanmıştır.

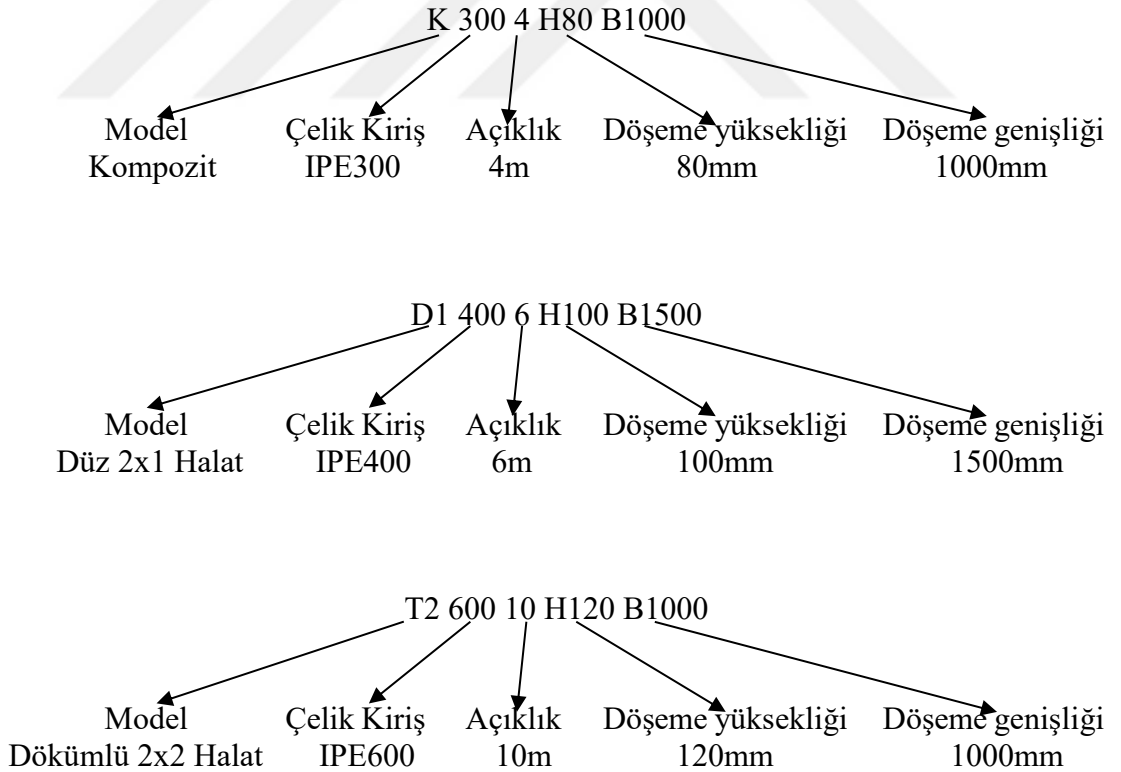
Şekil 5.12 incelendiğinde, en fazla negatif sehimi yaptıran modeller sırasıyla Düz\_T, Tyo\_T ve T1o\_alt\_T olduğu tespit edilmiştir. Bu modellerde 2x1 halat kullanılmıştır. Bu modellerde ardgerme sonunda her bir halatın gerilmesi 800 MPa'nın üzerindedir. Bu durum, halatların %50'den fazla gerildiğini göstermektedir. Bu modellerde halatlarda oluşan yüksek gerilmeyi düşürmek için 2x2 halat kullanımına geçilebilir. Çelik kiriş alt başlık akma anına kadar en verimli halat kullanımları Düz, Tyo ve T1o\_alt halat düzeni kullanımlarıdır. Bu modellerde çelik kiriş alt başlık akma kuvveti kompozit kirişe kıyasla yaklaşık %82-84 oranında arttığı tespit edilmiştir. Boyuna kesme kazanımı incelendiğinde ise bu modellerin 2x2 halat kullanımlı hallerinin daha faydalı olduğu söylenebilir. Beton ezilme durumu içinde bu modellerin 2x2 halat kullanımı daha etkilidir. Sonuç olarak çelik alt başlığın üzerinde düz konumlandırılan ve çelik alt başlığın altında konumlandırılıp mesnet bölgesinde çelik kiriş yüksekliğinin ortasında konumlandırılan (Dökümlü halat profili) halat profilleri en etkili halat profilleridir.

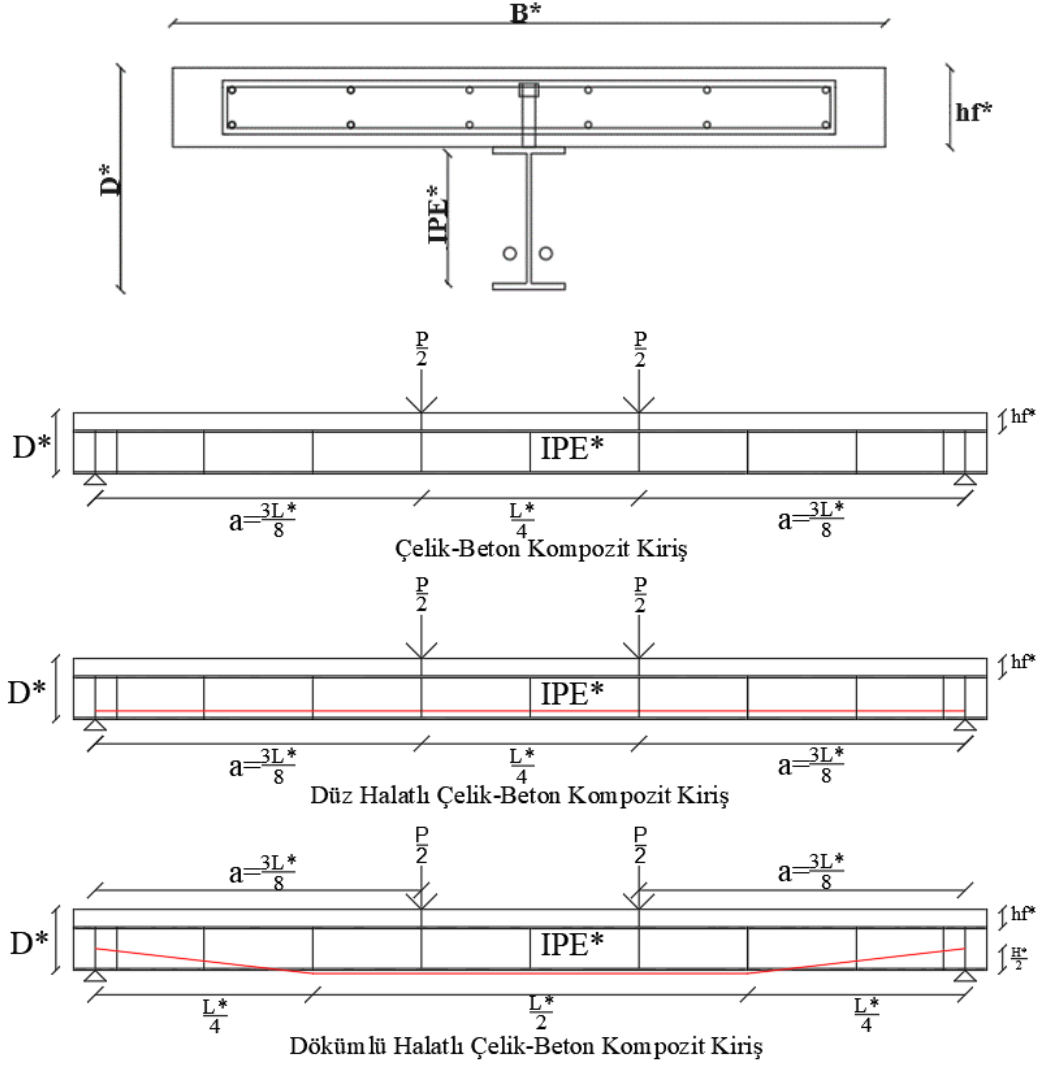


Şekil 5.12. Öngerme halatlı modellerin kritik durumlardaki kazanımlarının karşılaştırılması

#### 5.4. Parametrik Modeller

Şekil 5.13’de, sayısal modellerin hazırlanmasında değişken olarak kabul edilen parametreler yıldızlı ifadeler ile belirtilmiştir. Burada; B\* ile beton tabliye genişliği (B=1000mm B=1500mm), IPE\* ile çelik profil kesiti (IPE300, IPE400, IPE500 ve IPE600), H\* ile IPE profil kesit yüksekliği, hf\* ile 3 farklı beton tabliye yüksekliği (hf=80mm, hf=100mm ve hf=120mm), L\* ile 5 farklı açıklık (L=4m, L=6m, L=8m, L=10m ve L=12m), D\* ile beton tabliye yüksekliğinin modüler oran kullanılarak hesaplandıktan sonra IPE kesit yüksekliği ile toplanması ile elde edilen eşdeğer kesit yüksekliği ifade edilmektedir. Çalışma kapsamında Şekil 5.13’deki Kompozit, 2x1 Düz Halatlı, 2x2 Düz Halatlı, 2x1 Trapez Halatlı ve 2x2 Trapez Halatlı sayısal modeller baz alınmış ve yıldızlı ifadelerde belirtilen boyutsal parametreler değiştirilerek toplamda 600 adet sayısal modelin analizi gerçekleştirilmiştir. Modellerin isimlendirmeleri Çizelge 5.4 - Çizelge 5.7’de sunulmuştur. Modellerin isimlendirmesinde kullanılan kodlama örnekleri aşağıdaki gibidir.





Şekil 5.13. Parametrik çalışmada dikkate alınan değişkenler ve yükleme düzeneği

Sayısal modellere 3 adımlı analiz uygulanmıştır. Analizin ilk adımında yerçekimi kuvveti dikkate alınarak kirişlerin kendi (ölü) ağırlıkları altında statik analizi gerçekleştirilmiştir. Bu analiz adımı sonucunda alınan pozitif sehim değerleri  $\delta_w$  ile ifade edilmektedir. Analizin ikinci adımında halatlı modellere sıcaklık etkisi ile ardgerme kuvveti uygulanmıştır. Bu analiz adımı sonucunda alınan negatif sehim değerleri  $\delta_{PT}$  ile ifade edilmektedir. Analizin üçüncü adımında ise, Çizelge 5.13’de belirtilen yükleme düzeneği kullanılmış ve sayısal modeller statik artımsal yük altında  $L/60$  hedef deplasmana kadar itilmiştir. Üçüncü analiz adımında çelik profil alt başlık akması, beton ezilmesi, nihai deplasman durumları için reaksiyon kuvveti ve orta açıklık sehim değerlerinin okumaları alınmıştır.

Çizelge 5.4. IPE 300 profil kullanılan parametrik modellerin isimlendirmesi

|          |                    | H80_B1000                  | H80_B1500                  | H100_B1000                  | H100_B1500                  | H120_B1000                  | H120_B1500                  |
|----------|--------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 4 metre  | <b>Kompozit</b>    | (A1) K_300_4_H80_B1000     | (A6) K_300_4_H80_B1500     | (A11) K_300_4_H100_B1000    | (A16) K_300_4_H100_B1500    | (A21) K_300_4_H120_B1000    | (A26) K_300_4_H120_B1500    |
|          | <b>Düz 2x1</b>     | (A2) D1_300_4_H80_B1000    | (A7) D1_300_4_H80_B1500    | (A12) D1_300_4_H100_B1000   | (A17) D1_300_4_H100_B1500   | (A22) D1_300_4_H120_B1000   | (A27) D1_300_4_H120_B1500   |
|          | <b>Düz 2x2</b>     | (A3) D2_300_4_H80_B1000    | (A8) D2_300_4_H80_B1500    | (A13) D2_300_4_H100_B1000   | (A18) D2_300_4_H100_B1500   | (A23) D2_300_4_H120_B1000   | (A28) D2_300_4_H120_B1500   |
|          | <b>Dökümlü 2x1</b> | (A4) T1_300_4_H80_B1000    | (A9) T1_300_4_H80_B1500    | (A14) T1_300_4_H100_B1000   | (A19) T1_300_4_H100_B1500   | (A24) T1_300_4_H120_B1000   | (A29) T1_300_4_H120_B1500   |
|          | <b>Dökümlü 2x2</b> | (A5) T2_300_4_H80_B1000    | (A10) T2_300_4_H80_B1500   | (A15) T2_300_4_H100_B1000   | (A20) T2_300_4_H100_B1500   | (A25) T2_300_4_H120_B1000   | (A30) T2_300_4_H120_B1500   |
| 6 metre  | <b>Kompozit</b>    | (A31) K_300_6_H80_B1000    | (A36) K_300_6_H80_B1500    | (A41) K_300_6_H100_B1000    | (A46) K_300_6_H100_B1500    | (A51) K_300_6_H120_B1000    | (A56) K_300_6_H120_B1500    |
|          | <b>Düz 2x1</b>     | (A32) D1_300_6_H80_B1000   | (A37) D1_300_6_H80_B1500   | (A42) D1_300_6_H100_B1000   | (A47) D1_300_6_H100_B1500   | (A52) D1_300_6_H120_B1000   | (A57) D1_300_6_H120_B1500   |
|          | <b>Düz 2x2</b>     | (A33) D2_300_6_H80_B1000   | (A38) D2_300_6_H80_B1500   | (A43) D2_300_6_H100_B1000   | (A48) D2_300_6_H100_B1500   | (A53) D2_300_6_H120_B1000   | (A58) D2_300_6_H120_B1500   |
|          | <b>Dökümlü 2x1</b> | (A34) T1_300_6_H80_B1000   | (A39) T1_300_6_H80_B1500   | (A44) T1_300_6_H100_B1000   | (A49) T1_300_6_H100_B1500   | (A54) T1_300_6_H120_B1000   | (A59) T1_300_6_H120_B1500   |
|          | <b>Dökümlü 2x2</b> | (A35) T2_300_6_H80_B1000   | (A40) T2_300_6_H80_B1500   | (A45) T2_300_6_H100_B1000   | (A50) T2_300_6_H100_B1500   | (A55) T2_300_6_H120_B1000   | (A60) T2_300_6_H120_B1500   |
| 8 metre  | <b>Kompozit</b>    | (A61) K_300_8_H80_B1000    | (A66) K_300_8_H80_B1500    | (A71) K_300_8_H100_B1000    | (A76) K_300_8_H100_B1500    | (A81) K_300_8_H120_B1000    | (A86) K_300_8_H120_B1500    |
|          | <b>Düz 2x1</b>     | (A62) D1_300_8_H80_B1000   | (A67) D1_300_8_H80_B1500   | (A72) D1_300_8_H100_B1000   | (A77) D1_300_8_H100_B1500   | (A82) D1_300_8_H120_B1000   | (A87) D1_300_8_H120_B1500   |
|          | <b>Düz 2x2</b>     | (A63) D2_300_8_H80_B1000   | (A68) D2_300_8_H80_B1500   | (A73) D2_300_8_H100_B1000   | (A78) D2_300_8_H100_B1500   | (A83) D2_300_8_H120_B1000   | (A88) D2_300_8_H120_B1500   |
|          | <b>Dökümlü 2x1</b> | (A64) T1_300_8_H80_B1000   | (A69) T1_300_8_H80_B1500   | (A74) T1_300_8_H100_B1000   | (A79) T1_300_8_H100_B1500   | (A84) T1_300_8_H120_B1000   | (A89) T1_300_8_H120_B1500   |
|          | <b>Dökümlü 2x2</b> | (A65) T2_300_8_H80_B1000   | (A70) T2_300_8_H80_B1500   | (A75) T2_300_8_H100_B1000   | (A80) T2_300_8_H100_B1500   | (A85) T2_300_8_H120_B1000   | (A90) T2_300_8_H120_B1500   |
| 10 metre | <b>Kompozit</b>    | (A91) K_300_10_H80_B1000   | (A96) K_300_10_H80_B1500   | (A101) K_300_10_H100_B1000  | (A106) K_300_10_H100_B1500  | (A111) K_300_10_H120_B1000  | (A116) K_300_10_H120_B1500  |
|          | <b>Düz 2x1</b>     | (A92) D1_300_10_H80_B1000  | (A97) D1_300_10_H80_B1500  | (A102) D1_300_10_H100_B1000 | (A107) D1_300_10_H100_B1500 | (A112) D1_300_10_H120_B1000 | (A117) D1_300_10_H120_B1500 |
|          | <b>Düz 2x2</b>     | (A93) D2_300_10_H80_B1000  | (A98) D2_300_10_H80_B1500  | (A103) D2_300_10_H100_B1000 | (A108) D2_300_10_H100_B1500 | (A113) D2_300_10_H120_B1000 | (A118) D2_300_10_H120_B1500 |
|          | <b>Dökümlü 2x1</b> | (A94) T1_300_10_H80_B1000  | (A99) T1_300_10_H80_B1500  | (A104) T1_300_10_H100_B1000 | (A109) T1_300_10_H100_B1500 | (A114) T1_300_10_H120_B1000 | (A119) T1_300_10_H120_B1500 |
|          | <b>Dökümlü 2x2</b> | (A95) T2_300_10_H80_B1000  | (A100) T2_300_10_H80_B1500 | (A105) T2_300_10_H100_B1000 | (A110) T2_300_10_H100_B1500 | (A115) T2_300_10_H120_B1000 | (A120) T2_300_10_H120_B1500 |
| 12 metre | <b>Kompozit</b>    | (A121) K_300_12_H80_B1000  | (A126) K_300_12_H80_B1500  | (A131) K_300_12_H100_B1000  | (A136) K_300_12_H100_B1500  | (A141) K_300_12_H120_B1000  | (A146) K_300_12_H120_B1500  |
|          | <b>Düz 2x1</b>     | (A122) D1_300_12_H80_B1000 | (A127) D1_300_12_H80_B1500 | (A132) D1_300_12_H100_B1000 | (A137) D1_300_12_H100_B1500 | (A142) D1_300_12_H120_B1000 | (A147) D1_300_12_H120_B1500 |
|          | <b>Düz 2x2</b>     | (A123) D2_300_12_H80_B1000 | (A128) D2_300_12_H80_B1500 | (A133) D2_300_12_H100_B1000 | (A138) D2_300_12_H100_B1500 | (A143) D2_300_12_H120_B1000 | (A148) D2_300_12_H120_B1500 |
|          | <b>Dökümlü 2x1</b> | (A124) T1_300_12_H80_B1000 | (A129) T1_300_12_H80_B1500 | (A134) T1_300_12_H100_B1000 | (A139) T1_300_12_H100_B1500 | (A144) T1_300_12_H120_B1000 | (A149) T1_300_12_H120_B1500 |
|          | <b>Dökümlü 2x2</b> | (A125) T2_300_12_H80_B1000 | (A130) T2_300_12_H80_B1500 | (A135) T2_300_12_H100_B1000 | (A140) T2_300_12_H100_B1500 | (A145) T2_300_12_H120_B1000 | (A150) T2_300_12_H120_B1500 |

Çizelge 5.5. IPE 400 profil kullanılan parametrik modellerin isimlendirmesi

|          |                    | H80_B1000                  | H80_B1500                  | H100_B1000                  | H100_B1500                  | H120_B1000                  | H120_B1500                  |
|----------|--------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 4 metre  | <b>Kompozit</b>    | (B1) K_400_4_H80_B1000     | (B6) K_400_4_H80_B1500     | (B11) K_400_4_H100_B1000    | (B16) K_400_4_H100_B1500    | (B21) K_400_4_H120_B1000    | (B26) K_400_4_H120_B1500    |
|          | <b>Düz 2x1</b>     | (B2) D1_400_4_H80_B1000    | (B7) D1_400_4_H80_B1500    | (B12) D1_400_4_H100_B1000   | (B17) D1_400_4_H100_B1500   | (B22) D1_400_4_H120_B1000   | (B27) D1_400_4_H120_B1500   |
|          | <b>Düz 2x2</b>     | (B3) D2_400_4_H80_B1000    | (B8) D2_400_4_H80_B1500    | (B13) D2_400_4_H100_B1000   | (B18) D2_400_4_H100_B1500   | (B23) D2_400_4_H120_B1000   | (B28) D2_400_4_H120_B1500   |
|          | <b>Dökümlü 2x1</b> | (B4) T1_400_4_H80_B1000    | (B9) T1_400_4_H80_B1500    | (B14) T1_400_4_H100_B1000   | (B19) T1_400_4_H100_B1500   | (B24) T1_400_4_H120_B1000   | (B29) T1_400_4_H120_B1500   |
|          | <b>Dökümlü 2x2</b> | (B5) T2_400_4_H80_B1000    | (B10) T2_400_4_H80_B1500   | (B15) T2_400_4_H100_B1000   | (B20) T2_400_4_H100_B1500   | (B25) T2_400_4_H120_B1000   | (B30) T2_400_4_H120_B1500   |
| 6 metre  | <b>Kompozit</b>    | (B31) K_400_6_H80_B1000    | (B36) K_400_6_H80_B1500    | (B41) K_400_6_H100_B1000    | (B46) K_400_6_H100_B1500    | (B51) K_400_6_H120_B1000    | (B56) K_400_6_H120_B1500    |
|          | <b>Düz 2x1</b>     | (B32) D1_400_6_H80_B1000   | (B37) D1_400_6_H80_B1500   | (B42) D1_400_6_H100_B1000   | (B47) D1_400_6_H100_B1500   | (B52) D1_400_6_H120_B1000   | (B57) D1_400_6_H120_B1500   |
|          | <b>Düz 2x2</b>     | (B33) D2_400_6_H80_B1000   | (B38) D2_400_6_H80_B1500   | (B43) D2_400_6_H100_B1000   | (B48) D2_400_6_H100_B1500   | (B53) D2_400_6_H120_B1000   | (B58) D2_400_6_H120_B1500   |
|          | <b>Dökümlü 2x1</b> | (B34) T1_400_6_H80_B1000   | (B39) T1_400_6_H80_B1500   | (B44) T1_400_6_H100_B1000   | (B49) T1_400_6_H100_B1500   | (B54) T1_400_6_H120_B1000   | (B59) T1_400_6_H120_B1500   |
|          | <b>Dökümlü 2x2</b> | (B35) T2_400_6_H80_B1000   | (B40) T2_400_6_H80_B1500   | (B45) T2_400_6_H100_B1000   | (B50) T2_400_6_H100_B1500   | (B55) T2_400_6_H120_B1000   | (B60) T2_400_6_H120_B1500   |
| 8 metre  | <b>Kompozit</b>    | (B61) K_400_8_H80_B1000    | (B66) K_400_8_H80_B1500    | (B71) K_400_8_H100_B1000    | (B76) K_400_8_H100_B1500    | (B81) K_400_8_H120_B1000    | (B86) K_400_8_H120_B1500    |
|          | <b>Düz 2x1</b>     | (B62) D1_400_8_H80_B1000   | (B67) D1_400_8_H80_B1500   | (B72) D1_400_8_H100_B1000   | (B77) D1_400_8_H100_B1500   | (B82) D1_400_8_H120_B1000   | (B87) D1_400_8_H120_B1500   |
|          | <b>Düz 2x2</b>     | (B63) D2_400_8_H80_B1000   | (B68) D2_400_8_H80_B1500   | (B73) D2_400_8_H100_B1000   | (B78) D2_400_8_H100_B1500   | (B83) D2_400_8_H120_B1000   | (B88) D2_400_8_H120_B1500   |
|          | <b>Dökümlü 2x1</b> | (B64) T1_400_8_H80_B1000   | (B69) T1_400_8_H80_B1500   | (B74) T1_400_8_H100_B1000   | (B79) T1_400_8_H100_B1500   | (B84) T1_400_8_H120_B1000   | (B89) T1_400_8_H120_B1500   |
|          | <b>Dökümlü 2x2</b> | (B65) T2_400_8_H80_B1000   | (B70) T2_400_8_H80_B1500   | (B75) T2_400_8_H100_B1000   | (B80) T2_400_8_H100_B1500   | (B85) T2_400_8_H120_B1000   | (B90) T2_400_8_H120_B1500   |
| 10 metre | <b>Kompozit</b>    | (B91) K_400_10_H80_B1000   | (B96) K_400_10_H80_B1500   | (B101) K_400_10_H100_B1000  | (B106) K_400_10_H100_B1500  | (B111) K_400_10_H120_B1000  | (B116) K_400_10_H120_B1500  |
|          | <b>Düz 2x1</b>     | (B92) D1_400_10_H80_B1000  | (B97) D1_400_10_H80_B1500  | (B102) D1_400_10_H100_B1000 | (B107) D1_400_10_H100_B1500 | (B112) D1_400_10_H120_B1000 | (B117) D1_400_10_H120_B1500 |
|          | <b>Düz 2x2</b>     | (B93) D2_400_10_H80_B1000  | (B98) D2_400_10_H80_B1500  | (B103) D2_400_10_H100_B1000 | (B108) D2_400_10_H100_B1500 | (B113) D2_400_10_H120_B1000 | (B118) D2_400_10_H120_B1500 |
|          | <b>Dökümlü 2x1</b> | (B94) T1_400_10_H80_B1000  | (B99) T1_400_10_H80_B1500  | (B104) T1_400_10_H100_B1000 | (B109) T1_400_10_H100_B1500 | (B114) T1_400_10_H120_B1000 | (B119) T1_400_10_H120_B1500 |
|          | <b>Dökümlü 2x2</b> | (B95) T2_400_10_H80_B1000  | (B100) T2_400_10_H80_B1500 | (B105) T2_400_10_H100_B1000 | (B110) T2_400_10_H100_B1500 | (B115) T2_400_10_H120_B1000 | (B120) T2_400_10_H120_B1500 |
| 12 metre | <b>Kompozit</b>    | (B121) K_400_12_H80_B1000  | (B126) K_400_12_H80_B1500  | (B131) K_400_12_H100_B1000  | (B136) K_400_12_H100_B1500  | (B141) K_400_12_H120_B1000  | (B146) K_400_12_H120_B1500  |
|          | <b>Düz 2x1</b>     | (B122) D1_400_12_H80_B1000 | (B127) D1_400_12_H80_B1500 | (B132) D1_400_12_H100_B1000 | (B137) D1_400_12_H100_B1500 | (B142) D1_400_12_H120_B1000 | (B147) D1_400_12_H120_B1500 |
|          | <b>Düz 2x2</b>     | (B123) D2_400_12_H80_B1000 | (B128) D2_400_12_H80_B1500 | (B133) D2_400_12_H100_B1000 | (B138) D2_400_12_H100_B1500 | (B143) D2_400_12_H120_B1000 | (B148) D2_400_12_H120_B1500 |
|          | <b>Dökümlü 2x1</b> | (B124) T1_400_12_H80_B1000 | (B129) T1_400_12_H80_B1500 | (B134) T1_400_12_H100_B1000 | (B139) T1_400_12_H100_B1500 | (B144) T1_400_12_H120_B1000 | (B149) T1_400_12_H120_B1500 |
|          | <b>Dökümlü 2x2</b> | (B125) T2_400_12_H80_B1000 | (B130) T2_400_12_H80_B1500 | (B135) T2_400_12_H100_B1000 | (B140) T2_400_12_H100_B1500 | (B145) T2_400_12_H120_B1000 | (B150) T2_400_12_H120_B1500 |

Çizelge 5.6. IPE 500 profil kullanılan parametrik modellerin isimlendirmesi

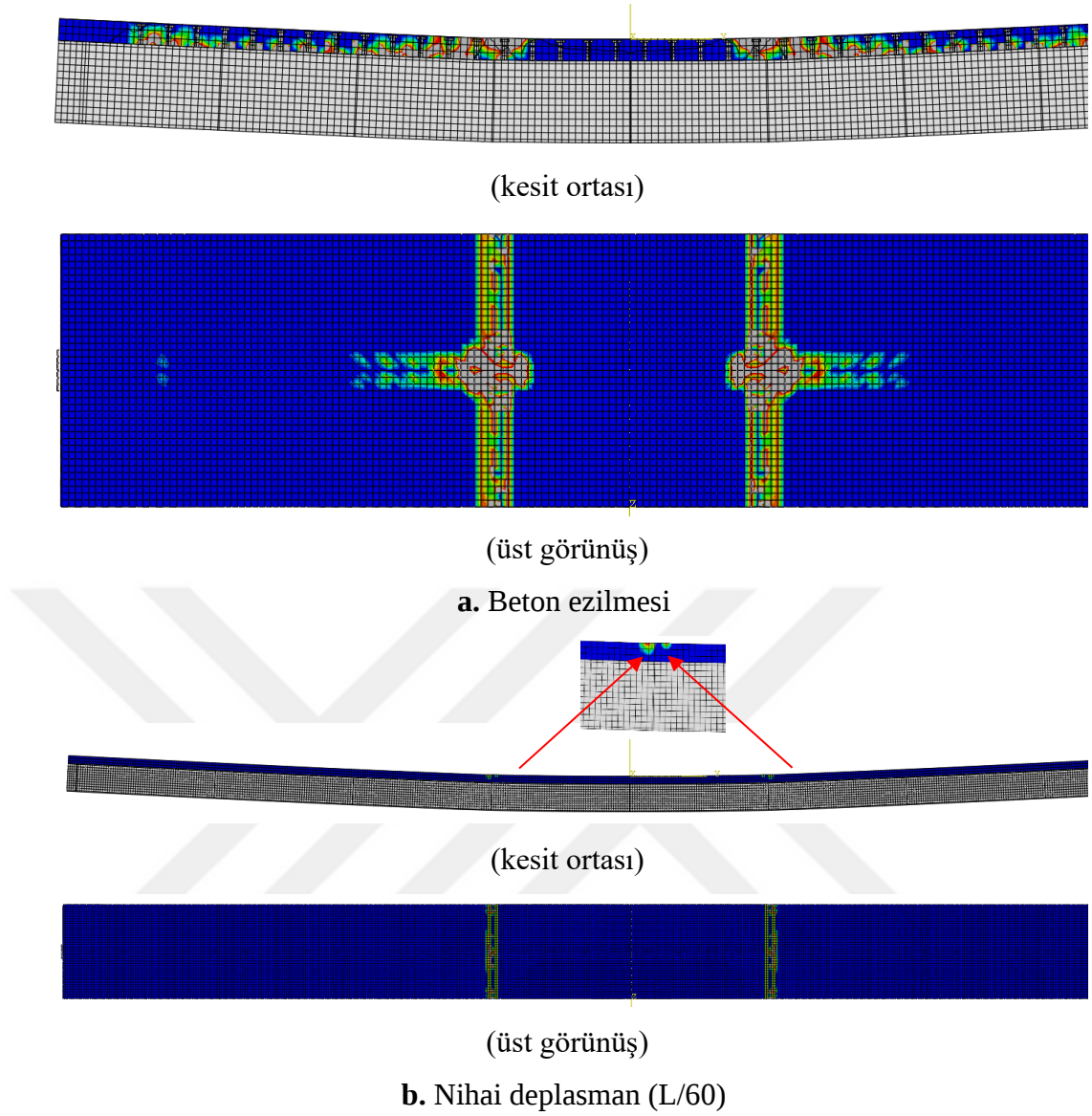
|          |                    | H80_B1000                  | H80_B1500                  | H100_B1000                  | H100_B1500                  | H120_B1000                  | H120_B1500                  |
|----------|--------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 4 metre  | <b>Kompozit</b>    | (C1) K_500_4_H80_B1000     | (C6) K_500_4_H80_B1500     | (C11) K_500_4_H100_B1000    | (C16) K_500_4_H100_B1500    | (C21) K_500_4_H120_B1000    | (C26) K_500_4_H120_B1500    |
|          | <b>Düz 2x1</b>     | (C2) D1_500_4_H80_B1000    | (C7) D1_500_4_H80_B1500    | (C12) D1_500_4_H100_B1000   | (C17) D1_500_4_H100_B1500   | (C22) D1_500_4_H120_B1000   | (C27) D1_500_4_H120_B1500   |
|          | <b>Düz 2x2</b>     | (C3) D2_500_4_H80_B1000    | (C8) D2_500_4_H80_B1500    | (C13) D2_500_4_H100_B1000   | (C18) D2_500_4_H100_B1500   | (C23) D2_500_4_H120_B1000   | (C28) D2_500_4_H120_B1500   |
|          | <b>Dökümlü 2x1</b> | (C4) T1_500_4_H80_B1000    | (C9) T1_500_4_H80_B1500    | (C14) T1_500_4_H100_B1000   | (C19) T1_500_4_H100_B1500   | (C24) T1_500_4_H120_B1000   | (C29) T1_500_4_H120_B1500   |
|          | <b>Dökümlü 2x2</b> | (C5) T2_500_4_H80_B1000    | (C10) T2_500_4_H80_B1500   | (C15) T2_500_4_H100_B1000   | (C20) T2_500_4_H100_B1500   | (C25) T2_500_4_H120_B1000   | (C30) T2_500_4_H120_B1500   |
| 6 metre  | <b>Kompozit</b>    | (C31) K_500_6_H80_B1000    | (C36) K_500_6_H80_B1500    | (C41) K_500_6_H100_B1000    | (C46) K_500_6_H100_B1500    | (C51) K_500_6_H120_B1000    | (C56) K_500_6_H120_B1500    |
|          | <b>Düz 2x1</b>     | (C32) D1_500_6_H80_B1000   | (C37) D1_500_6_H80_B1500   | (C42) D1_500_6_H100_B1000   | (C47) D1_500_6_H100_B1500   | (C52) D1_500_6_H120_B1000   | (C57) D1_500_6_H120_B1500   |
|          | <b>Düz 2x2</b>     | (C33) D2_500_6_H80_B1000   | (C38) D2_500_6_H80_B1500   | (C43) D2_500_6_H100_B1000   | (C48) D2_500_6_H100_B1500   | (C53) D2_500_6_H120_B1000   | (C58) D2_500_6_H120_B1500   |
|          | <b>Dökümlü 2x1</b> | (C34) T1_500_6_H80_B1000   | (C39) T1_500_6_H80_B1500   | (C44) T1_500_6_H100_B1000   | (C49) T1_500_6_H100_B1500   | (C54) T1_500_6_H120_B1000   | (C59) T1_500_6_H120_B1500   |
|          | <b>Dökümlü 2x2</b> | (C35) T2_500_6_H80_B1000   | (C40) T2_500_6_H80_B1500   | (C45) T2_500_6_H100_B1000   | (C50) T2_500_6_H100_B1500   | (C55) T2_500_6_H120_B1000   | (C60) T2_500_6_H120_B1500   |
| 8 metre  | <b>Kompozit</b>    | (C61) K_500_8_H80_B1000    | (C66) K_500_8_H80_B1500    | (C71) K_500_8_H100_B1000    | (C76) K_500_8_H100_B1500    | (C81) K_500_8_H120_B1000    | (C86) K_500_8_H120_B1500    |
|          | <b>Düz 2x1</b>     | (C62) D1_500_8_H80_B1000   | (C67) D1_500_8_H80_B1500   | (C72) D1_500_8_H100_B1000   | (C77) D1_500_8_H100_B1500   | (C82) D1_500_8_H120_B1000   | (C87) D1_500_8_H120_B1500   |
|          | <b>Düz 2x2</b>     | (C63) D2_500_8_H80_B1000   | (C68) D2_500_8_H80_B1500   | (C73) D2_500_8_H100_B1000   | (C78) D2_500_8_H100_B1500   | (C83) D2_500_8_H120_B1000   | (C88) D2_500_8_H120_B1500   |
|          | <b>Dökümlü 2x1</b> | (C64) T1_500_8_H80_B1000   | (C69) T1_500_8_H80_B1500   | (C74) T1_500_8_H100_B1000   | (C79) T1_500_8_H100_B1500   | (C84) T1_500_8_H120_B1000   | (C89) T1_500_8_H120_B1500   |
|          | <b>Dökümlü 2x2</b> | (C65) T2_500_8_H80_B1000   | (C70) T2_500_8_H80_B1500   | (C75) T2_500_8_H100_B1000   | (C80) T2_500_8_H100_B1500   | (C85) T2_500_8_H120_B1000   | (C90) T2_500_8_H120_B1500   |
| 10 metre | <b>Kompozit</b>    | (C91) K_500_10_H80_B1000   | (C96) K_500_10_H80_B1500   | (C101) K_500_10_H100_B1000  | (C106) K_500_10_H100_B1500  | (C111) K_500_10_H120_B1000  | (C116) K_500_10_H120_B1500  |
|          | <b>Düz 2x1</b>     | (C92) D1_500_10_H80_B1000  | (C97) D1_500_10_H80_B1500  | (C102) D1_500_10_H100_B1000 | (C107) D1_500_10_H100_B1500 | (C112) D1_500_10_H120_B1000 | (C117) D1_500_10_H120_B1500 |
|          | <b>Düz 2x2</b>     | (C93) D2_500_10_H80_B1000  | (C98) D2_500_10_H80_B1500  | (C103) D2_500_10_H100_B1000 | (C108) D2_500_10_H100_B1500 | (C113) D2_500_10_H120_B1000 | (C118) D2_500_10_H120_B1500 |
|          | <b>Dökümlü 2x1</b> | (C94) T1_500_10_H80_B1000  | (C99) T1_500_10_H80_B1500  | (C104) T1_500_10_H100_B1000 | (C109) T1_500_10_H100_B1500 | (C114) T1_500_10_H120_B1000 | (C119) T1_500_10_H120_B1500 |
|          | <b>Dökümlü 2x2</b> | (C95) T2_500_10_H80_B1000  | (C100) T2_500_10_H80_B1500 | (C105) T2_500_10_H100_B1000 | (C110) T2_500_10_H100_B1500 | (C115) T2_500_10_H120_B1000 | (C120) T2_500_10_H120_B1500 |
| 12 metre | <b>Kompozit</b>    | (C121) K_500_12_H80_B1000  | (C126) K_500_12_H80_B1500  | (C131) K_500_12_H100_B1000  | (C136) K_500_12_H100_B1500  | (C141) K_500_12_H120_B1000  | (C146) K_500_12_H120_B1500  |
|          | <b>Düz 2x1</b>     | (C122) D1_500_12_H80_B1000 | (C127) D1_500_12_H80_B1500 | (C132) D1_500_12_H100_B1000 | (C137) D1_500_12_H100_B1500 | (C142) D1_500_12_H120_B1000 | (C147) D1_500_12_H120_B1500 |
|          | <b>Düz 2x2</b>     | (C123) D2_500_12_H80_B1000 | (C128) D2_500_12_H80_B1500 | (C133) D2_500_12_H100_B1000 | (C138) D2_500_12_H100_B1500 | (C143) D2_500_12_H120_B1000 | (C148) D2_500_12_H120_B1500 |
|          | <b>Dökümlü 2x1</b> | (C124) T1_500_12_H80_B1000 | (C129) T1_500_12_H80_B1500 | (C134) T1_500_12_H100_B1000 | (C139) T1_500_12_H100_B1500 | (C144) T1_500_12_H120_B1000 | (C149) T1_500_12_H120_B1500 |
|          | <b>Dökümlü 2x2</b> | (C125) T2_500_12_H80_B1000 | (C130) T2_500_12_H80_B1500 | (C135) T2_500_12_H100_B1000 | (C140) T2_500_12_H100_B1500 | (C145) T2_500_12_H120_B1000 | (C150) T2_500_12_H120_B1500 |

Çizelge 5.7. IPE 600 profil kullanılan parametrik modellerin isimlendirmesi

|          |                    | H80_B1000                  | H80_B1500                  | H100_B1000                  | H100_B1500                  | H120_B1000                  | H120_B1500                  |
|----------|--------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 4 metre  | <b>Kompozit</b>    | (D1) K_600_4_H80_B1000     | (D6) K_600_4_H80_B1500     | (D11) K_600_4_H100_B1000    | (D16) K_600_4_H100_B1500    | (D21) K_600_4_H120_B1000    | (D26) K_600_4_H120_B1500    |
|          | <b>Düz 2x1</b>     | (D2) D1_600_4_H80_B1000    | (D7) D1_600_4_H80_B1500    | (D12) D1_600_4_H100_B1000   | (D17) D1_600_4_H100_B1500   | (D22) D1_600_4_H120_B1000   | (D27) D1_600_4_H120_B1500   |
|          | <b>Düz 2x2</b>     | (D3) D2_600_4_H80_B1000    | (D8) D2_600_4_H80_B1500    | (D13) D2_600_4_H100_B1000   | (D18) D2_600_4_H100_B1500   | (D23) D2_600_4_H120_B1000   | (D28) D2_600_4_H120_B1500   |
|          | <b>Dökümlü 2x1</b> | (D4) T1_600_4_H80_B1000    | (D9) T1_600_4_H80_B1500    | (D14) T1_600_4_H100_B1000   | (D19) T1_600_4_H100_B1500   | (D24) T1_600_4_H120_B1000   | (D29) T1_600_4_H120_B1500   |
|          | <b>Dökümlü 2x2</b> | (D5) T2_600_4_H80_B1000    | (D10) T2_600_4_H80_B1500   | (D15) T2_600_4_H100_B1000   | (D20) T2_600_4_H100_B1500   | (D25) T2_600_4_H120_B1000   | (D30) T2_600_4_H120_B1500   |
| 6 metre  | <b>Kompozit</b>    | (D31) K_600_6_H80_B1000    | (D36) K_600_6_H80_B1500    | (D41) K_600_6_H100_B1000    | (D46) K_600_6_H100_B1500    | (D51) K_600_6_H120_B1000    | (D56) K_600_6_H120_B1500    |
|          | <b>Düz 2x1</b>     | (D32) D1_600_6_H80_B1000   | (D37) D1_600_6_H80_B1500   | (D42) D1_600_6_H100_B1000   | (D47) D1_600_6_H100_B1500   | (D52) D1_600_6_H120_B1000   | (D57) D1_600_6_H120_B1500   |
|          | <b>Düz 2x2</b>     | (D33) D2_600_6_H80_B1000   | (D38) D2_600_6_H80_B1500   | (D43) D2_600_6_H100_B1000   | (D48) D2_600_6_H100_B1500   | (D53) D2_600_6_H120_B1000   | (D58) D2_600_6_H120_B1500   |
|          | <b>Dökümlü 2x1</b> | (D34) T1_600_6_H80_B1000   | (D39) T1_600_6_H80_B1500   | (D44) T1_600_6_H100_B1000   | (D49) T1_600_6_H100_B1500   | (D54) T1_600_6_H120_B1000   | (D59) T1_600_6_H120_B1500   |
|          | <b>Dökümlü 2x2</b> | (D35) T2_600_6_H80_B1000   | (D40) T2_600_6_H80_B1500   | (D45) T2_600_6_H100_B1000   | (D50) T2_600_6_H100_B1500   | (D55) T2_600_6_H120_B1000   | (D60) T2_600_6_H120_B1500   |
| 8 metre  | <b>Kompozit</b>    | (D61) K_600_8_H80_B1000    | (D66) K_600_8_H80_B1500    | (D71) K_600_8_H100_B1000    | (D76) K_600_8_H100_B1500    | (D81) K_600_8_H120_B1000    | (D86) K_600_8_H120_B1500    |
|          | <b>Düz 2x1</b>     | (D62) D1_600_8_H80_B1000   | (D67) D1_600_8_H80_B1500   | (D72) D1_600_8_H100_B1000   | (D77) D1_600_8_H100_B1500   | (D82) D1_600_8_H120_B1000   | (D87) D1_600_8_H120_B1500   |
|          | <b>Düz 2x2</b>     | (D63) D2_600_8_H80_B1000   | (D68) D2_600_8_H80_B1500   | (D73) D2_600_8_H100_B1000   | (D78) D2_600_8_H100_B1500   | (D83) D2_600_8_H120_B1000   | (D88) D2_600_8_H120_B1500   |
|          | <b>Dökümlü 2x1</b> | (D64) T1_600_8_H80_B1000   | (D69) T1_600_8_H80_B1500   | (D74) T1_600_8_H100_B1000   | (D79) T1_600_8_H100_B1500   | (D84) T1_600_8_H120_B1000   | (D89) T1_600_8_H120_B1500   |
|          | <b>Dökümlü 2x2</b> | (D65) T2_600_8_H80_B1000   | (D70) T2_600_8_H80_B1500   | (D75) T2_600_8_H100_B1000   | (D80) T2_600_8_H100_B1500   | (D85) T2_600_8_H120_B1000   | (D90) T2_600_8_H120_B1500   |
| 10 metre | <b>Kompozit</b>    | (D91) K_600_10_H80_B1000   | (D96) K_600_10_H80_B1500   | (D101) K_600_10_H100_B1000  | (D106) K_600_10_H100_B1500  | (D111) K_600_10_H120_B1000  | (D116) K_600_10_H120_B1500  |
|          | <b>Düz 2x1</b>     | (D92) D1_600_10_H80_B1000  | (D97) D1_600_10_H80_B1500  | (D102) D1_600_10_H100_B1000 | (D107) D1_600_10_H100_B1500 | (D112) D1_600_10_H120_B1000 | (D117) D1_600_10_H120_B1500 |
|          | <b>Düz 2x2</b>     | (D93) D2_600_10_H80_B1000  | (D98) D2_600_10_H80_B1500  | (D103) D2_600_10_H100_B1000 | (D108) D2_600_10_H100_B1500 | (D113) D2_600_10_H120_B1000 | (D118) D2_600_10_H120_B1500 |
|          | <b>Dökümlü 2x1</b> | (D94) T1_600_10_H80_B1000  | (D99) T1_600_10_H80_B1500  | (D104) T1_600_10_H100_B1000 | (D109) T1_600_10_H100_B1500 | (D114) T1_600_10_H120_B1000 | (D119) T1_600_10_H120_B1500 |
|          | <b>Dökümlü 2x2</b> | (D95) T2_600_10_H80_B1000  | (D100) T2_600_10_H80_B1500 | (D105) T2_600_10_H100_B1000 | (D110) T2_600_10_H100_B1500 | (D115) T2_600_10_H120_B1000 | (D120) T2_600_10_H120_B1500 |
| 12 metre | <b>Kompozit</b>    | (D121) K_600_12_H80_B1000  | (D126) K_600_12_H80_B1500  | (D131) K_600_12_H100_B1000  | (D136) K_600_12_H100_B1500  | (D141) K_600_12_H120_B1000  | (D146) K_600_12_H120_B1500  |
|          | <b>Düz 2x1</b>     | (D122) D1_600_12_H80_B1000 | (D127) D1_600_12_H80_B1500 | (D132) D1_600_12_H100_B1000 | (D137) D1_600_12_H100_B1500 | (D142) D1_600_12_H120_B1000 | (D147) D1_600_12_H120_B1500 |
|          | <b>Düz 2x2</b>     | (D123) D2_600_12_H80_B1000 | (D128) D2_600_12_H80_B1500 | (D133) D2_600_12_H100_B1000 | (D138) D2_600_12_H100_B1500 | (D143) D2_600_12_H120_B1000 | (D148) D2_600_12_H120_B1500 |
|          | <b>Dökümlü 2x1</b> | (D124) T1_600_12_H80_B1000 | (D129) T1_600_12_H80_B1500 | (D134) T1_600_12_H100_B1000 | (D139) T1_600_12_H100_B1500 | (D144) T1_600_12_H120_B1000 | (D149) T1_600_12_H120_B1500 |
|          | <b>Dökümlü 2x2</b> | (D125) T2_600_12_H80_B1000 | (D130) T2_600_12_H80_B1500 | (D135) T2_600_12_H100_B1000 | (D140) T2_600_12_H100_B1500 | (D145) T2_600_12_H120_B1000 | (D150) T2_600_12_H120_B1500 |

## 6. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

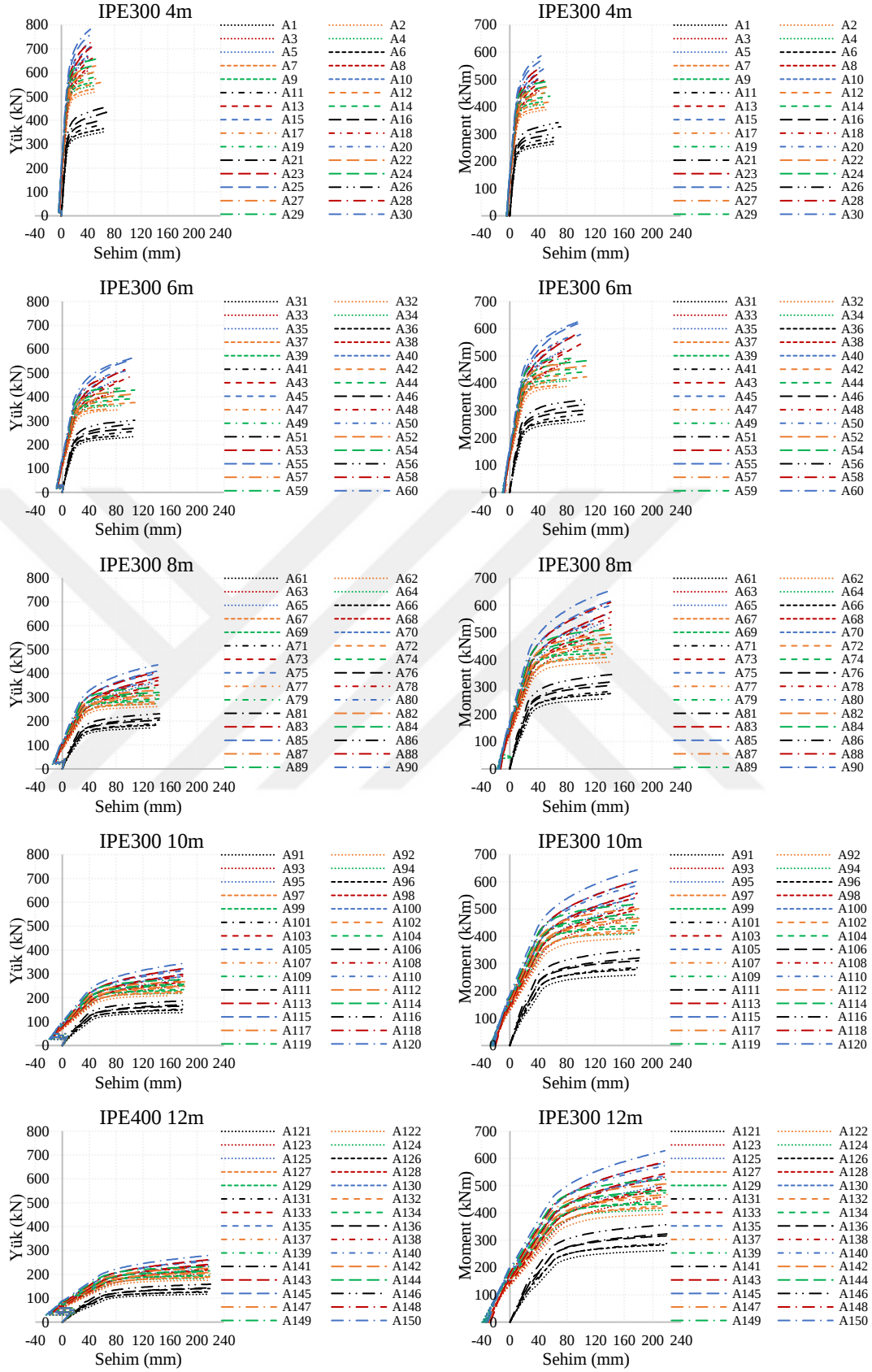
Öngerme halatlı çelik-beton kompozit kirişlerin yapısal davranışlarının daha iyi anlaşılabilmesi amacıyla Çizelge Ek A.1-A.4'te çelik profil alt başlık akması, tabliye tabliye betonunun ezilmesi, nihai deplasman ( $L/60$ ) durumlarına ait orta açıklık sehim ve reaksiyon kuvvetlerinin okumaları sunulmuştur. Çizelgelerde belirtilen göçme durumu için iki mod etkin durumdadır. Bunlar beton ezilmesi ve hedef deplasman ( $L/60$ ) durumlarıdır (Şekil 6.1). Çizelgelerde belirtilen nihai durum, beton ezilmesi veya hedef deplasman durumlarını temsil etmektedir. Sonlu eleman modellerinin analiz sonucunda beton ezilme durumu tespit edilmiş ise göçme durumu çizelgelerde "B.E." olarak belirtilmiştir. Beton ezilmeden hedef deplasman değerine kadar analiz devam ettirilebilmiş ise göçme durumu çizelgelerde "N.D." olarak belirtilmiştir. Sayısal modellerin süneklik katsayılarının belirlenmesinde, Nihai Durum/ çelik profil alt başlık akma durumlarına ait orta açıklık sehim değerleri kullanılmıştır.



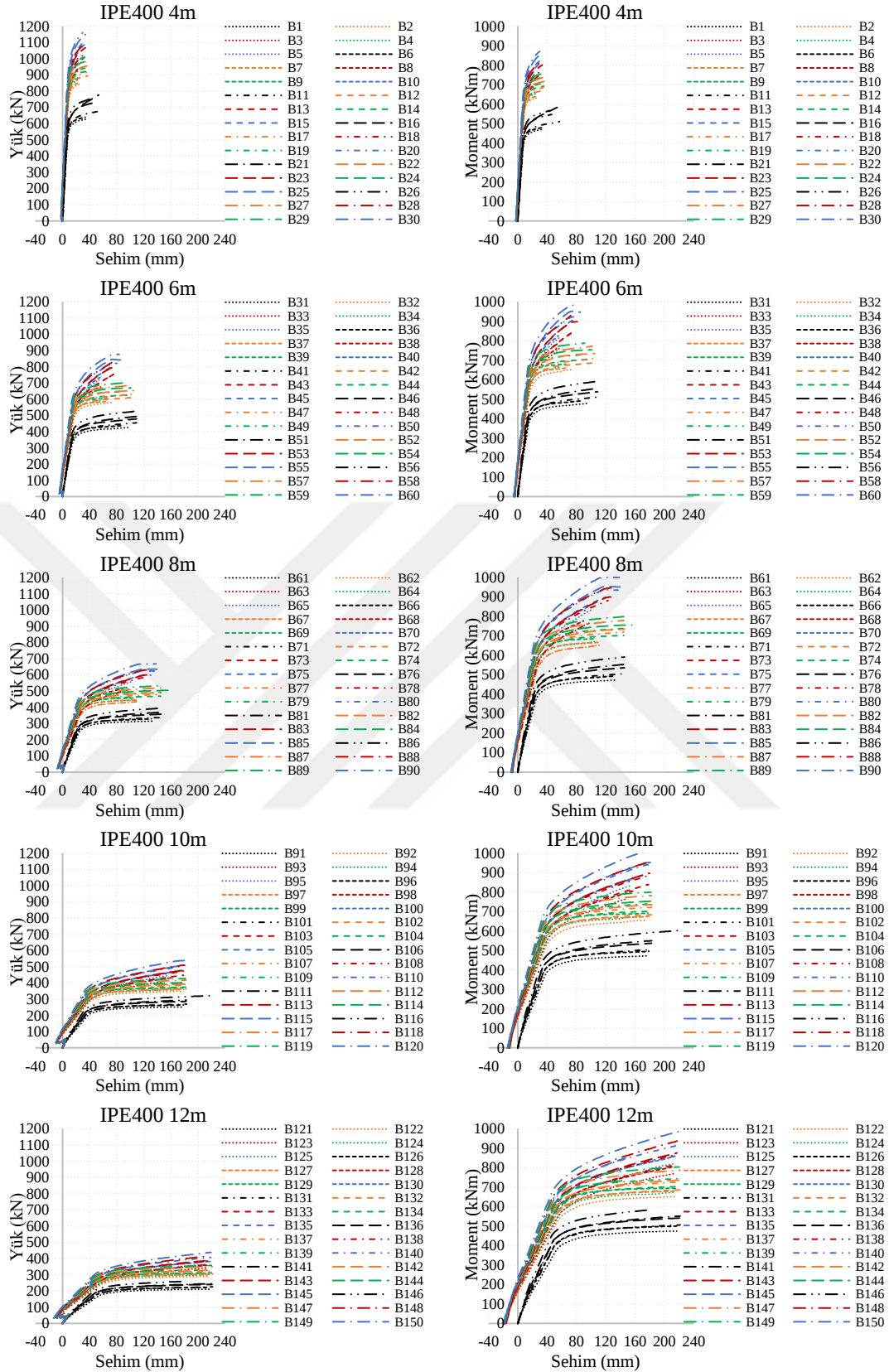
Şekil 6.1. Sonlu eleman modellerinin göçme durumları

### 6.1. Yük-Sehim ve Moment-Sehim Grafiklerinin İncelenmesi

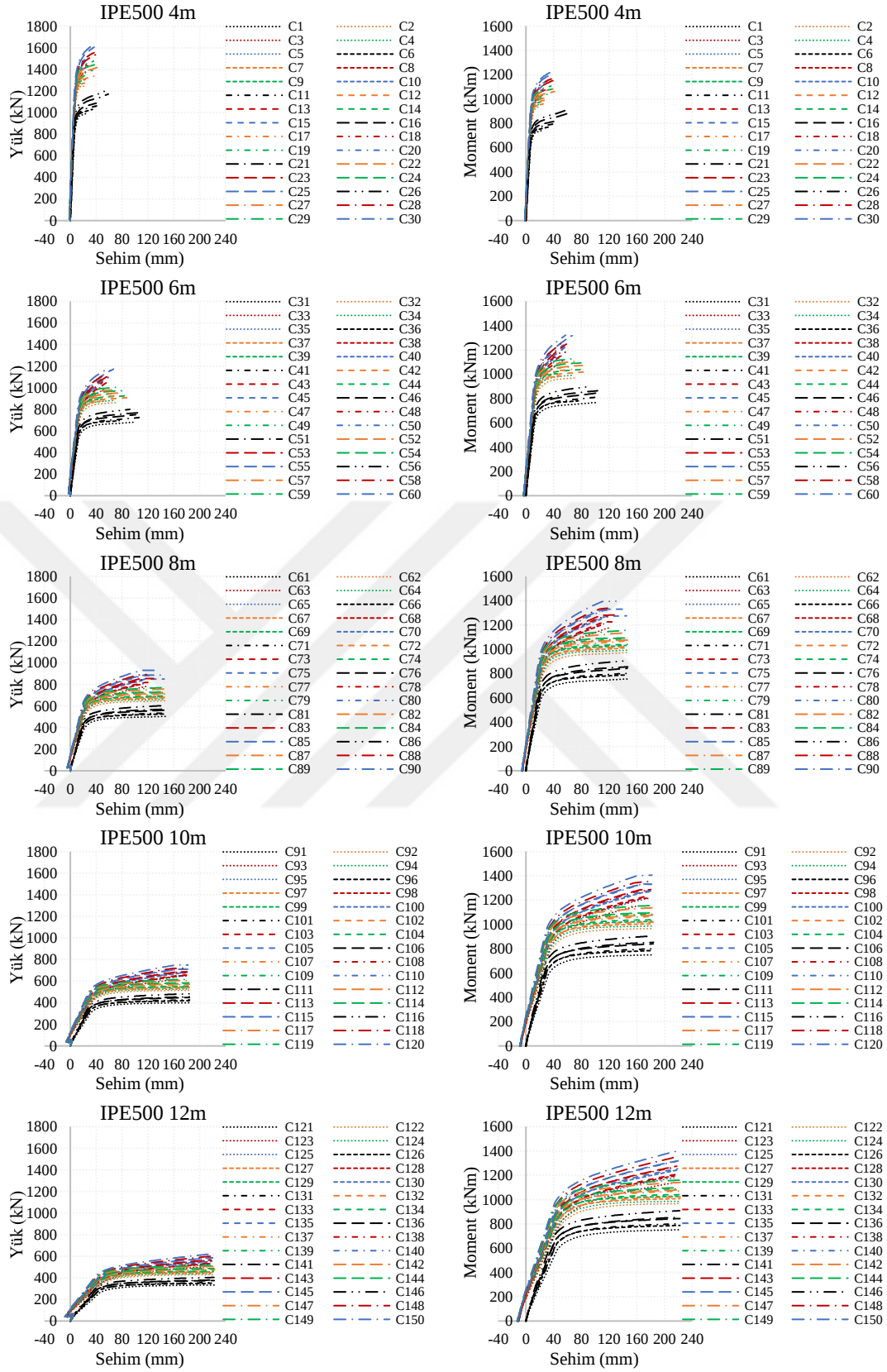
Yukarıda belirtilen göçme durumlarının dikkate alındığı sayısal modellerin analiz sonuçlarından tüm modeller için yük-sehim ve moment – sehim grafikleri çizdirilmiştir (Şekil 6.2 - Şekil 6.5).



Şekil 6.2. IPE300 çelik profilli sayısal modellerin yük – sehim ve moment – sehim grafikleri



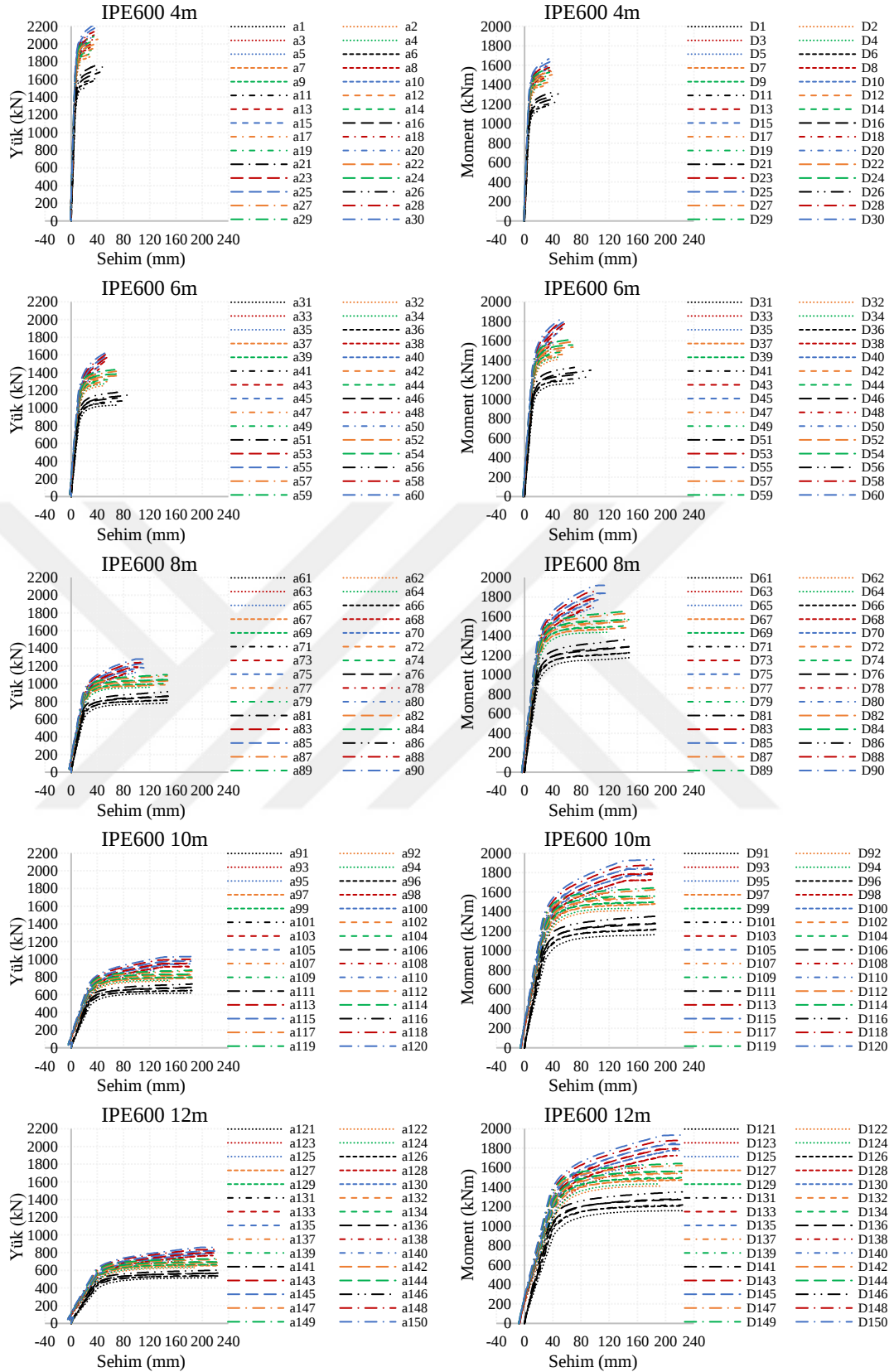
Şekil 6.3. IPE400 çelik profilli sayısal modellerin yük – sehim ve moment – sehim grafikleri



a. Yük – Sehim grafikleri

b. Moment – Sehim grafikleri

Şekil 6.4. IPE500 çelik profilli sayısal modellerin yük – sehim ve moment – sehim grafikleri



Şekil 6.5. IPE600 çelik profilli sayısal modellerin yük – sehim ve moment – sehim grafikleri

Şekil 6.2’de IPE300 profilli modellerin yük-sehim grafikleri çizdirilmiştir. Kiriş açıklığının 4 metre olduğu durum için kompozit kiriş modelleri ile halatlı modellerin göçme durumundaki sehim miktarları incelendiğinde kompozit kirişlerin daha sünek davranış gösterdiği tespit edilmiştir. Halatlı modellerin kompozit kiriş modellerine kıyasla daha az sehimde daha fazla yük taşıma kapasitesi sağlamaktadır. Halatlı modeller de kendi içerisinde 2x1 ve 2x2 halat düzeni olarak ayrılmaktadır. Bu durumda, halatlı modeller arasındaki kapasite farkının oluşmasına neden olmaktadır. Kiriş açıklığının 4 metre olduğu halatlı modellerde maksimum moment 600 kNm değerinin altında kalmıştır. Kiriş açıklığı 6 metre ve üzeri olan modeller incelendiğinde ise göçme durumuna ait sehim değerlerinin birbirlerine yaklaştığı görülmektedir. Kiriş açıklığının 6 metre ve üzeri olduğu durumlara ait moment grafikleri incelendiğinde halatlı modellerden elde edilen maksimum moment değeri 600 kNm değerinin üzerine çıkmıştır. Bu durumlar değerlerinde, IPE300 profilli kullanılan modellerde kiriş açıklığı 6 metre üzerine çıkıldığında halatların daha efektif çalıştığı düşünülmektedir. Kompozit kirişler için yük-sehim grafikleri incelendiğinde ise beton tabliye yüksekliğinin artması ile birlikte hem kapasite artışı hem de başlangıç rijitliğinde artış görülmüştür. Ayrıca kiriş açıklığı arttıkça kompozit kesitin eğilme rijitliğinde azalma meydana geldiğinden dolayı halatların ardgerilmesi sonucu negatif sehim değerlerinde artış gözlenmiştir.

Şekil 6.3’de IPE400 profilli modellerin yük-sehim ve moment-sehim grafikleri çizdirilmiştir. IPE400 profilli için göçme durumlarına ait sehim değerleri incelendiğinde 8 metre kiriş açıklığı için kompozit modeller ile halatlı modellerin sehim değerlerinin birbirine yaklaştığı görülmektedir. Moment grafikleri incelendiğinde ise özellikle 4 metre kiriş açıklığı için halatlı modellerin moment değerleri 650-870 kNm aralığında olduğu tespit edilmiştir. 4 metre üzeri açıklarda ise halatlı modellerin moment kapasiteleri 650-1000 kNm aralığındadır.

Şekil 6.4’de IPE500 profilli kullanılan modellerin yük-sehim moment sehim grafikleri incelendiğinde; 2x1 halatlı modeller için 8 metre kiriş açıklığında, 2x2 halatlı modeller için 10 metre kiriş açıklığında göçme durumuna ait sehim değerlerinin kompozit kiriş sehim değerlerine yaklaştığı görülmektedir. Moment grafikleri incelendiğinde ise kiriş açıklığı 8 metrenin altında kaldığı durumlarda halatlı modellerin moment grafikleri

1400 kNm değerinin altında kalmaktadır. Kiriş açıklığı 8 metrenin üzerinde olduğu halatlı modellerde ise maksimum moment değerleri 1400 kNm mertebelerindedir.

Şekil 6.5’de IPE600 profili kullanılan modellerin yük-sehim moment sehim grafikleri incelendiğinde; kiriş açıklığının 12 metre olduğu durumda halatlı modeller ile kompozit modellerin göçme durumuna ait sehim değerleri birbirine yaklaşmaktadır. Moment-sehim grafikleri incelendiğinde, halatlı modellerin 4 metre ve 6 metre kiriş açıklıkları için sırasıyla moment değerleri 1400-1600 kNm ve 1400-1820 kNm aralığında tespit edilmiştir. 8 metre ve kiriş açıklığı için ise halatlı modellerin moment değerleri 1400-1920 kNm değerleri arasında olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 6.2-Şekil 6.5 incelendiğinde, çelik-beton kompozit kirişlere halatlarla ardgerme tekniği uygulandığında beton tabliyenin açıklığa bağlı olarak sıkıştırma etkisine girdiği söylenebilir. IPE300 profilli kompozit ve halatlı modeller karşılaştırıldığında 6 metre açıklığın altında kompozit modellere kıyasla halatlı modeller daha az sehim değerlerinde beton ezilmesine uğramıştır. 6 metre ve üzeri açıklıklarda ise kompozit ve halatlı modellerin beton ezilmesine karşılık gelen sehim değerleri birbirine paralellik göstermektedir. Bu durum; IPE 400 ve IPE500 çelik profilli modeller için 8 metre açıklık sınırı için görülürken, IPE600 çelik profilli modeller için açıklık sınırı 10 metre olarak söylenebilir. Çelik-beton kompozit kirişlerde, dökümlü halat kullanımının düz halat kullanımına kıyasla beton tabliyeyi daha çok sıkıştırma etkisine maruz bırakmaktadır (Şekil 6.2-Şekil 6.5). Bu durum, kapasite artışını beraberinde getirmiş olmasına rağmen daha az sehim değerlerinde beton malzemesinin güç tükenmesine neden olmaktadır.

Çelik-beton kompozit kirişlere halat ile ardgerme uygulandığında kesit ortasında oluşan negatif sehim değerleri Şekil 6.2-Şekil 6.5’den incelenmiş ve tüm modeller için negatif sehim değerleri Çizelge Ek A.1-A.4’e işlenmiştir. Çizelgelerde belirtilen değerler incelendiğinde, dökümlü halat profili kullanımı düz halat profili kullanımına kıyasla kiriş ortasında daha fazla negatif sehim yaptırmaktadır. Bu durumun sonucu olarak düz halatlı modellere kıyasla dökümlü halat profiline sahip çelik-beton kompozit kiriş modellerinde kapasite daha fazla olmaktadır. Ancak, kiriş açıklığı burada önemli bir parametredir. Kiriş açıklığı azaldıkça beton tabliye daha fazla

sıkışmaktadır. Bunun sonucunda da beton ezilmesi daha erken oluşmakta ve kesit gevrek davranış göstermektedir. Negatif sehim değerlerini etkileyen bir diğer unsur ise kesit eğilme rijitliğidir. Çelik-beton kompozit kirişlerde kesit eğilme rijitliğini beton tabliye yüksekliği ve çelik profil yüksekliği önemli derecede etkilemektedir. Şekil 6.2-Şekil 6.5 incelendiğinde, IPE300 çelik profilli modellerden IPE600 çelik profilli modellere gidildiğinde kesit ortası negatif sehim değerlerinin azaldığı görülebilir. Aynı çelik profile sahip ancak daha kalın beton tabliyeli modellerde de bu durum benzerlik göstermektedir.

Çizelge A.1-A.4 incelendiğinde, çelik-beton kompozit kirişlere halatlar ile ardgerme uygulamak çelik profil alt başlık akmasını hem geciktirmekte hem de bu durum daha fazla yük altında gerçekleşmektedir.

## **6.2. Çelik Profil Kirişlerin Yük Taşıma Kapasitesine Etkisinin Değerlendirilmesi**

Pozitif eğilme etkisi altındaki çelik-beton kompozit kirişlerin taşıma kapasitesinin önemli bir kısmı çelik profil kiriş tarafından karşılanmaktadır. Çelik profil kiriş boyutları değiştiğinde kesit yüksekliği ve başlık kalınlıkları değişmektedir. Bunun sonucunda tarafsız eksenin altında kalan çekme bölgesi derinliği ve kesit alanı artmakta bu durum da yük taşıma kapasitesinde artış sağlamaktadır. Bu çalışma kapsamında IPE300, IPE400, IPE500 ve IPE 600 profillerinin her biri için 150 adet sonlu eleman modeli oluşturulmuş ve analiz edilmiştir. Sonlu eleman modellerinin analiz sonuçlarından elde edilen kiriş nihai taşıma kapasiteleri Çizelge Ek A.1-A.4 'te sunulmuştur. Çizelge Ek A.1-A.4 kullanılarak, IPE profillerin taşıma kapasitesine etkisinin değerlendirilebilmesi için beton tabliye yüksekliği ve beton tabliye genişliği aynı olmak koşulu ile modeller kendi içerisinde değerlendirilmiştir. Daha sonra, bu değerlendirme sonucu elde edilen kazanımlar incelenmiş ve kazanımların birbirine yakın olduğu görülmüştür. Model sayısının oldukça fazla olmasından dolayı her bir kiriş tipi için sonuçlar aritmetik ortalama alınarak Çizelge 6.1'de sunulmuştur.

Çizelge 6.1. IPE profil kazanımları

|               | K_1000<br>(%) | K_1500<br>(%) | D1_1000<br>(%) | D1_1500<br>(%) | D2_1000<br>(%) | D2_1500<br>(%) | T1_1000<br>(%) | T1_1500<br>(%) | T2_1000<br>(%) | T2_1500<br>(%) |
|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| IPE300-IPE400 | 76,70         | 75,53         | 61,28          | 60,53          | 57,56          | 60,18          | 59,29          | 58,39          | 55,52          | 57,37          |
| IPE300-IPE500 | 178,89        | 172,74        | 139,48         | 136,96         | 130,46         | 130,98         | 134,27         | 132,41         | 118,65         | 122,26         |
| IPE300-IPE600 | 323,47        | 313,04        | 244,36         | 242,16         | 221,52         | 225,95         | 236,14         | 233,76         | 205,08         | 209,34         |
| IPE400-IPE500 | 57,80         | 55,49         | 48,50          | 47,59          | 46,27          | 44,20          | 47,07          | 46,71          | 40,50          | 41,23          |
| IPE400-IPE600 | 139,54        | 135,37        | 113,51         | 113,09         | 104,04         | 103,45         | 110,98         | 110,67         | 96,19          | 96,51          |
| IPE500-IPE600 | 51,79         | 51,37         | 43,78          | 44,37          | 39,49          | 41,10          | 43,46          | 43,58          | 39,79          | 39,14          |

Çizelge 6.1 incelendiğinde, beton tabliye genişliğinin 1000mm olduğu durumlar için IPE 300 profil yerine IPE 400 profil kullanılır ise kompozit (K\_1000), 2x1 Düz halatlı (D1\_1000), 2x2 düz halatlı (D2\_1000), 2x1 dökümlü halatlı (T1\_1000) ve 2x2 dökümlü halatlı (T2\_1000) modeller için yük taşıma kapasitesinin sırasıyla yaklaşık %76,70, %61,28, %, %57,56, %59,29 ve %55,52 oranında artışlar sağlandığı tespit edilmiştir. Beton tabliye genişliğinin 1500mm olduğu durumlar için IPE 300 profil yerine IPE 400 profil kullanılır ise kompozit (K\_1500), 2x1 Düz halatlı (D1\_1500), 2x2 düz halatlı (D2\_1500), 2x1 dökümlü halatlı (T1\_1500) ve 2x2 dökümlü halatlı (T2\_1500) modeller için yük taşıma kapasitesinin sırasıyla yaklaşık %75,53, %60,53, %60,18, %58,39 ve %57,37 oranında artışlar sağlandığı tespit edilmiştir.

Çizelge 6.1 incelendiğinde, beton tabliye genişliğinin 1000mm olduğu durumlar için IPE 400 profil yerine IPE 500 profil kullanılır ise kompozit (K\_1000), 2x1 Düz halatlı (D1\_1000), 2x2 düz halatlı (D2\_1000), 2x1 dökümlü halatlı (T1\_1000) ve 2x2 dökümlü halatlı (T2\_1000) modeller için yük taşıma kapasitesinin sırasıyla yaklaşık %57,80, %48,50, %, %46,27, %47,07 ve %40,50 oranında artışlar sağlandığı tespit edilmiştir. Beton tabliye genişliğinin 1500mm olduğu durumlar için IPE 400 profil yerine IPE 500 profil kullanılır ise kompozit (K\_1500), 2x1 Düz halatlı (D1\_1500), 2x2 düz halatlı (D2\_1500), 2x1 dökümlü halatlı (T1\_1500) ve 2x2 dökümlü halatlı (T2\_1500) modeller için yük taşıma kapasitesinin sırasıyla yaklaşık %55,49, %47,59, %44,20, %46,71 ve %41,23 oranında artışlar sağlandığı tespit edilmiştir.

Çizelge 6.1 incelendiğinde, beton tabliye genişliğinin 1000mm olduğu durumlar için IPE 500 profil yerine IPE 600 profil kullanılır ise kompozit (K\_1000), 2x1 Düz halatlı (D1\_1000), 2x2 düz halatlı (D2\_1000), 2x1 dökümlü halatlı (T1\_1000) ve 2x2

dökümlü halatlı (T2\_1000) modeller için yük taşıma kapasitesinin sırasıyla yaklaşık %51,79, %43,78, %, %39,49, %43,46 ve %39,79 oranında artışlar sağlandığı tespit edilmiştir. Beton tabliye genişliğinin 1500mm olduğu durumlar için IPE 400 profil yerine IPE 500 profil kullanılır ise kompozit (K\_1500), 2x1 Düz halatlı (D1\_1500), 2x2 düz halatlı (D2\_1500), 2x1 dökümlü halatlı (T1\_1500) ve 2x2 dökümlü halatlı (T2\_1500) modeller için yük taşıma kapasitesinin sırasıyla yaklaşık %51,37, %44,37, %41,10, %43,58 ve %39,14 oranında artışlar sağlandığı tespit edilmiştir.

Ardgermeli kompozit kiriş modellerinde halatların da bir miktar çekme gerilmelerini karşıladığı düşünüldüğünde, profil kesiti kaynaklı kapasite kazanımlarının kompozit kirişlere kıyasla ardgermeli modellerde daha az oranlarda kaldığı görülmüştür.

### 6.3. Beton Tabliye Yüksekliğinin Yük Taşıma Kapasitesine Etkisinin Değerlendirilmesi

Pozitif eğilme etkisi altındaki çelik-beton kompozit kirişlerin taşıma kapasitesinin bir kısmı beton tabliye tarafından karşılanmaktadır. Beton tabliye boyutları değiştiğinde kesit yüksekliği ve beton tabliye alanı değişmektedir. Bunun sonucunda tarafsız eksenin üstünde kalan basınç bölgesi derinliği ve bu bölgedeki kesit alanı artmaktadır. Bu durum, yük taşıma kapasitesinde artış sağlamaktadır. Bu çalışma kapsamında beton tabliye yüksekliği 80mm, 100mm ve 120mm olarak belirlenmiştir. Beton tabliye yüksekliğinin yük taşıma kapasitesine etkisinin değerlendirilebilmesi için aynı çelik profil yüksekliği, beton tabliye genişliği ve kiriş tipindeki modeller birbirleri arasında kıyaslanmıştır. Model sayısının fazla olması ve kıyaslama sonrası farkların birbirine yakın olması nedeniyle sonuçların aritmetik ortalaması alınarak sonuçlar Çizelge 6.2’de sunulmuştur.

Çizelge 6.2. Beton tabliye yüksekliği kazanımları

|                        | IPE300 (%) | IPE400 (%) | IPE500 (%) | IPE600 (%) |
|------------------------|------------|------------|------------|------------|
| <b>hf=80 - hf=100</b>  | 9,43       | 7,77       | 6,13       | 5,68       |
| <b>hf=100 - hf=120</b> | 9,76       | 7,51       | 5,95       | 5,08       |
| <b>hf=80 - hf=120</b>  | 20,11      | 15,71      | 12,45      | 11,06      |

Çizelge 6.2 incelendiğinde, beton tabliye yüksekliğinin 80 milimetreden 100 milimetreye çıkarıldığı durum için IPE300, IPE400, IPE500 ve IPE600 modellerinin yük taşıma kapasitelerinin sırasıyla yaklaşık %9,43, %7,77, %6,13 ve %5,68 oranlarında arttığı söylenebilir. Beton tabliye yüksekliğinin 100 milimetreden 120 milimetreye çıkarıldığı durumda ise IPE300, IPE400, IPE500 ve IPE600 modellerinin yük taşıma kapasitelerinin sırasıyla yaklaşık %9,76, %7,51, %5,95 ve %5,08 oranlarında arttığı söylenebilir. Beton tabliye yüksekliğinin 80 milimetreden 120 milimetreye çıkarıldığı durumda ise IPE300, IPE400, IPE500 ve IPE600 modellerinin yük taşıma kapasitelerinin sırasıyla yaklaşık %20,11, %15,71, %12,45 ve %11,06 oranlarında arttığı söylenebilir.

#### **6.4. Öngerme Halatının Yük Taşıma Kapasitesine Etkisinin Değerlendirilmesi**

Ardgermeli modellerde öngerme halatlarına sıcaklık etkisi ile ardgerme uygulanırken beton tabliye içerisinde boyuna kesme oluşmaması için analizlerde beton hasar parametreleri kontrol edilmiş ve yinelemeli analiz gerçekleştirilmiştir. Bu sayede halatlar kirişte herhangi bir hasar oluşmadan maksimum seviyede gerdirilmiştir. Çizelge Ek A1. – Çizelge Ek A.4'te halatların gerilme ve kirişlerin negatif sehim değerleri verilmiştir. Çizelge Ek A1. – Çizelge Ek A.4 incelendiğinde, 2x1 halatlı modellerde halatlar kopma dayanımının yaklaşık %70'i kadar gerdirilebilmiştir. 2x2 halatlı modellerde ise halatlar kopma dayanımının yaklaşık %35'i kadar gerdirilebilmiştir.

Öngerme halatlarının yük taşıma kapasitesine etkisinin değerlendirildiği bu kısımda, aynı kesit boyutlarına sahip kirişler için halatlı modellerin kompozit modellere sağladığı kapasite kazanımları Çizelge 6.3 – Çizelge 6.6'da sunulmuştur.

Çizelge 6.3'de IPE300 çelik profil sabit olmak koşulu ile beton boyutları ve halat profili değiştirilen modellerin aynı kesite sahip çelik-beton kompozit kirişlere göre kapasite kazanımları sunulmuştur. Çizelge 6.3 incelendiğinde, 2x1 halatlı modeller için açıklık 4 metreden 10 metreye kadar çıkarıldığında kiriş yük taşıma kapasitesinde artışlar gözlenmiş 10 metre açıklıktan sonra kiriş yük taşıma kapasitesinin artışının durduğu tespit edilmiştir. Bu durum 2x2 halatlı modellerde ise 8 metre açıklık değeri

için tespit edilmiştir. 2x1 halatlı modeller ile 2x2 halatlı modellerin yük taşıma kapasite kazanımları incelendiğinde ise 2x2 halatlı modellerin açık bir şekilde daha fazla kazanım sağladığı görülmektedir.

Çizelge 6.4’de IPE400 çelik profil sabit olmak koşulu ile beton boyutları ve halat profili değiştirilen modellerin aynı kesite sahip çelik-beton kompozit kirişlere göre kapasite kazanımları sunulmuştur. Çizelge 6.4 incelendiğinde, 2x1 halatlı modeller için açıklık 4 metreden 10 metreye kadar çıkarıldığında kiriş yük taşıma kapasitesinde artışlar gözlenmiş 10 metre açıklıktan sonra kiriş yük taşıma kapasitesinin artışının durduğu tespit edilmiştir. Bu durum 2x2 halatlı modellerde ise 10 metre açıklık değeri için tespit edilmiştir. 2x1 halatlı modeller ile 2x2 halatlı modellerin yük taşıma kapasite kazanımları incelendiğinde ise 2x2 halatlı modellerin açık bir şekilde daha fazla kazanım sağladığı görülmektedir.

Çizelge 6.5’de IPE500 çelik profil sabit olmak koşulu ile beton boyutları ve halat profili değiştirilen modellerin aynı kesite sahip çelik-beton kompozit kirişlere göre kapasite kazanımları sunulmuştur. Çizelge 6.5 incelendiğinde, 2x1 halatlı modeller için açıklık 4 metreden 12 metreye kadar çıkarıldığında kiriş yük taşıma kapasitesinde artışlar gözlenmiştir. 2x2 halatlı modellerde ise açıklık 4 metreden 10 metreye kadar çıkarıldığında yük taşıma kapasitesinde artışlar gözlenmiş 10 metre açıklıktan sonra kiriş yük taşıma kapasitesinin artışının durduğu tespit edilmiştir. 2x1 halatlı modeller ile 2x2 halatlı modellerin yük taşıma kapasite kazanımları incelendiğinde ise 2x2 halatlı modellerin açık bir şekilde daha fazla kazanım sağladığı görülmektedir.

Çizelge 6.6’da IPE600 çelik profil sabit olmak koşulu ile beton boyutları ve halat profili değiştirilen modellerin aynı kesite sahip çelik-beton kompozit kirişlere göre kapasite kazanımları sunulmuştur. Çizelge 6.6 incelendiğinde, 2x1 ve 2x2 halatlı modeller için açıklık 4 metreden 12 metreye kadar çıkarıldığında kiriş yük taşıma kapasitesinde artışlar gözlenmiştir. 2x1 halatlı modeller ile 2x2 halatlı modellerin yük taşıma kapasite kazanımları incelendiğinde ise 2x2 halatlı modellerin açık bir şekilde daha fazla kazanım sağladığı görülmektedir.

Düz 2x1 halat profili kullanılması kapasiteyi IPE300, IPE400, IPE500 ve IPE600 modelleri için sırasıyla yaklaşık %51-37, %38-29, %28-19 ve %21-15 oranı aralığında arttırmıştır. Bu oran aralıkları beton tabliye yüksekliği nedeni ile oluşmaktadır. Düz 2x2 halat profili kullanıldığında ise kapasite artışlarının IPE300, IPE400, IPE500 ve IPE600 modelleri için sırasıyla yaklaşık %88-59, %63-43, %55-28 ve %42-20 oranı aralığında olduğu tespit edilmiştir.

Dökümlü 2x1 profili kullanılması kapasiteyi IPE300, IPE400, IPE500 ve IPE600 modelleri için sırasıyla yaklaşık %59-44, %42-32, %31-22 ve %23-17 oranı aralığında arttırmıştır. Dökümlü 2x2 halat profili kullanıldığında ise kapasite artışlarının IPE300, IPE400, IPE500 ve IPE600 modelleri için sırasıyla yaklaşık %108-71, %76-53, %62-34 ve %44-24 oranı aralığında olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 6.3. IPE300 profilli modellerde halat kazanımları

| Model No | Model               | Kapasite Kazanımı % | Model No | Model               | Kapasite Kazanımı % | Model No | Model               | Kapasite Kazanımı % | Model No | Model                | Kapasite Kazanımı % | Model No | Model                | Kapasite Kazanımı % |
|----------|---------------------|---------------------|----------|---------------------|---------------------|----------|---------------------|---------------------|----------|----------------------|---------------------|----------|----------------------|---------------------|
| A1       | K_300_4_H80_B1000   |                     | A31      | K_300_6_H80_B1000   |                     | A61      | K_300_8_H80_B1000   |                     | A91      | K_300_10_H80_B1000   |                     | A121     | K_300_12_H80_B1000   |                     |
| A2       | D1_300_4_H80_B1000  | 47,49               | A32      | D1_300_6_H80_B1000  | 48,05               | A62      | D1_300_8_H80_B1000  | 52,64               | A92      | D1_300_10_H80_B1000  | 51,29               | A122     | D1_300_12_H80_B1000  | 50,87               |
| A3       | D2_300_4_H80_B1000  | 74,25               | A33      | D2_300_6_H80_B1000  | 86,40               | A63      | D2_300_8_H80_B1000  | 84,55               | A93      | D2_300_10_H80_B1000  | 82,94               | A123     | D2_300_12_H80_B1000  | 75,02               |
| A4       | T1_300_4_H80_B1000  | 54,89               | A34      | T1_300_6_H80_B1000  | 56,32               | A64      | T1_300_8_H80_B1000  | 59,38               | A94      | T1_300_10_H80_B1000  | 58,35               | A124     | T1_300_12_H80_B1000  | 56,33               |
| A5       | T2_300_4_H80_B1000  | 87,59               | A35      | T2_300_6_H80_B1000  | 101,65              | A65      | T2_300_8_H80_B1000  | 108,81              | A95      | T2_300_10_H80_B1000  | 101,31              | A125     | T2_300_12_H80_B1000  | 92,60               |
| A6       | K_300_4_H80_B1500   |                     | A36      | K_300_6_H80_B1500   |                     | A66      | K_300_8_H80_B1500   |                     | A96      | K_300_10_H80_B1500   |                     | A126     | K_300_12_H80_B1500   |                     |
| A7       | D1_300_4_H80_B1500  | 45,39               | A37      | D1_300_6_H80_B1500  | 47,70               | A67      | D1_300_8_H80_B1500  | 48,24               | A97      | D1_300_10_H80_B1500  | 48,27               | A127     | D1_300_12_H80_B1500  | 47,82               |
| A8       | D2_300_4_H80_B1500  | 69,75               | A38      | D2_300_6_H80_B1500  | 71,09               | A68      | D2_300_8_H80_B1500  | 74,99               | A98      | D2_300_10_H80_B1500  | 77,53               | A128     | D2_300_12_H80_B1500  | 71,53               |
| A9       | T1_300_4_H80_B1500  | 52,46               | A39      | T1_300_6_H80_B1500  | 55,40               | A69      | T1_300_8_H80_B1500  | 54,15               | A99      | T1_300_10_H80_B1500  | 53,79               | A129     | T1_300_12_H80_B1500  | 52,80               |
| A10      | T2_300_4_H80_B1500  | 83,29               | A40      | T2_300_6_H80_B1500  | 87,34               | A70      | T2_300_8_H80_B1500  | 91,99               | A100     | T2_300_10_H80_B1500  | 93,00               | A130     | T2_300_12_H80_B1500  | 85,57               |
| A11      | K_300_4_H100_B1000  |                     | A41      | K_300_6_H100_B1000  |                     | A71      | K_300_8_H100_B1000  |                     | A101     | K_300_10_H100_B1000  |                     | A131     | K_300_12_H100_B1000  |                     |
| A12      | D1_300_4_H100_B1000 | 46,36               | A42      | D1_300_6_H100_B1000 | 47,09               | A72      | D1_300_8_H100_B1000 | 48,31               | A102     | D1_300_10_H100_B1000 | 48,40               | A132     | D1_300_12_H100_B1000 | 47,97               |
| A13      | D2_300_4_H100_B1000 | 74,20               | A43      | D2_300_6_H100_B1000 | 88,72               | A73      | D2_300_8_H100_B1000 | 85,60               | A103     | D2_300_10_H100_B1000 | 78,80               | A133     | D2_300_12_H100_B1000 | 72,13               |
| A14      | T1_300_4_H100_B1000 | 52,87               | A44      | T1_300_6_H100_B1000 | 53,52               | A74      | T1_300_8_H100_B1000 | 54,32               | A104     | T1_300_10_H100_B1000 | 54,03               | A134     | T1_300_12_H100_B1000 | 53,12               |
| A15      | T2_300_4_H100_B1000 | 87,87               | A45      | T2_300_6_H100_B1000 | 100,97              | A75      | T2_300_8_H100_B1000 | 99,86               | A105     | T2_300_10_H100_B1000 | 96,70               | A135     | T2_300_12_H100_B1000 | 85,94               |
| A16      | K_300_4_H100_B1500  |                     | A46      | K_300_6_H100_B1500  |                     | A76      | K_300_8_H100_B1500  |                     | A106     | K_300_10_H100_B1500  |                     | A136     | K_300_12_H100_B1500  |                     |
| A17      | D1_300_4_H100_B1500 | 45,17               | A47      | D1_300_6_H100_B1500 | 42,25               | A77      | D1_300_8_H100_B1500 | 46,04               | A107     | D1_300_10_H100_B1500 | 46,08               | A137     | D1_300_12_H100_B1500 | 45,10               |
| A18      | D2_300_4_H100_B1500 | 69,73               | A48      | D2_300_6_H100_B1500 | 73,32               | A78      | D2_300_8_H100_B1500 | 80,79               | A108     | D2_300_10_H100_B1500 | 75,01               | A138     | D2_300_12_H100_B1500 | 67,98               |
| A19      | T1_300_4_H100_B1500 | 51,68               | A49      | T1_300_6_H100_B1500 | 49,84               | A79      | T1_300_8_H100_B1500 | 51,42               | A109     | T1_300_10_H100_B1500 | 51,07               | A139     | T1_300_12_H100_B1500 | 49,80               |
| A20      | T2_300_4_H100_B1500 | 82,84               | A50      | T2_300_6_H100_B1500 | 88,94               | A80      | T2_300_8_H100_B1500 | 95,45               | A110     | T2_300_10_H100_B1500 | 88,89               | A140     | T2_300_12_H100_B1500 | 81,19               |
| A21      | K_300_4_H120_B1000  |                     | A51      | K_300_6_H120_B1000  |                     | A81      | K_300_8_H120_B1000  |                     | A111     | K_300_10_H120_B1000  |                     | A141     | K_300_12_H120_B1000  |                     |
| A22      | D1_300_4_H120_B1000 | 38,08               | A52      | D1_300_6_H120_B1000 | 43,39               | A82      | D1_300_8_H120_B1000 | 44,92               | A112     | D1_300_10_H120_B1000 | 45,02               | A142     | D1_300_12_H120_B1000 | 44,79               |
| A23      | D2_300_4_H120_B1000 | 62,23               | A53      | D2_300_6_H120_B1000 | 79,11               | A83      | D2_300_8_H120_B1000 | 80,11               | A113     | D2_300_10_H120_B1000 | 73,81               | A143     | D2_300_12_H120_B1000 | 68,23               |
| A24      | T1_300_4_H120_B1000 | 45,02               | A54      | T1_300_6_H120_B1000 | 49,26               | A84      | T1_300_8_H120_B1000 | 50,36               | A114     | T1_300_10_H120_B1000 | 49,94               | A144     | T1_300_12_H120_B1000 | 49,41               |
| A25      | T2_300_4_H120_B1000 | 73,38               | A55      | T2_300_6_H120_B1000 | 91,26               | A85      | T2_300_8_H120_B1000 | 92,88               | A115     | T2_300_10_H120_B1000 | 87,82               | A145     | T2_300_12_H120_B1000 | 80,84               |
| A26      | K_300_4_H120_B1500  |                     | A56      | K_300_6_H120_B1500  |                     | A86      | K_300_8_H120_B1500  |                     | A116     | K_300_10_H120_B1500  |                     | A146     | K_300_12_H120_B1500  |                     |
| A27      | D1_300_4_H120_B1500 | 37,91               | A57      | D1_300_6_H120_B1500 | 38,73               | A87      | D1_300_8_H120_B1500 | 42,93               | A117     | D1_300_10_H120_B1500 | 42,70               | A147     | D1_300_12_H120_B1500 | 41,98               |
| A28      | D2_300_4_H120_B1500 | 59,00               | A58      | D2_300_6_H120_B1500 | 60,84               | A88      | D2_300_8_H120_B1500 | 76,36               | A118     | D2_300_10_H120_B1500 | 71,79               | A148     | D2_300_12_H120_B1500 | 64,38               |
| A29      | T1_300_4_H120_B1500 | 44,22               | A59      | T1_300_6_H120_B1500 | 44,56               | A89      | T1_300_8_H120_B1500 | 47,83               | A119     | T1_300_10_H120_B1500 | 47,29               | A149     | T1_300_12_H120_B1500 | 46,22               |
| A30      | T2_300_4_H120_B1500 | 71,55               | A60      | T2_300_6_H120_B1500 | 86,03               | A90      | T2_300_8_H120_B1500 | 88,93               | A120     | T2_300_10_H120_B1500 | 83,35               | A150     | T2_300_12_H120_B1500 | 75,77               |

Çizelge 6.4. IPE400 profilli modellerde halat kazanımları

| Model No | Model               | Kapasite Kazanımı % | Model No | Model               | Kapasite Kazanımı % | Model No | Model               | Kapasite Kazanımı % | Model No | Model                | Kapasite Kazanımı % | Model No | Model                | Kapasite Kazanımı % |
|----------|---------------------|---------------------|----------|---------------------|---------------------|----------|---------------------|---------------------|----------|----------------------|---------------------|----------|----------------------|---------------------|
| B1       | K_400_4_H80_B1000   |                     | B31      | K_400_6_H80_B1000   |                     | B61      | K_400_8_H80_B1000   |                     | B91      | K_400_10_H80_B1000   |                     | B121     | K_400_12_H80_B1000   |                     |
| B2       | D1_400_4_H80_B1000  | 34,11               | B32      | D1_400_6_H80_B1000  | 36,25               | B62      | D1_400_8_H80_B1000  | 37,62               | B92      | D1_400_10_H80_B1000  | 38,02               | B122     | D1_400_12_H80_B1000  | 37,44               |
| B3       | D2_400_4_H80_B1000  | 47,79               | B33      | D2_400_6_H80_B1000  | 60,52               | B63      | D2_400_8_H80_B1000  | 61,48               | B93      | D2_400_10_H80_B1000  | 61,52               | B123     | D2_400_12_H80_B1000  | 62,07               |
| B4       | T1_400_4_H80_B1000  | 38,61               | B34      | T1_400_6_H80_B1000  | 38,65               | B64      | T1_400_8_H80_B1000  | 41,73               | B94      | T1_400_10_H80_B1000  | 42,31               | B124     | T1_400_12_H80_B1000  | 41,85               |
| B5       | T2_400_4_H80_B1000  | 58,40               | B35      | T2_400_6_H80_B1000  | 70,86               | B65      | T2_400_8_H80_B1000  | 76,27               | B95      | T2_400_10_H80_B1000  | 76,26               | B125     | T2_400_12_H80_B1000  | 73,04               |
| B6       | K_400_4_H80_B1500   |                     | B36      | K_400_6_H80_B1500   |                     | B66      | K_400_8_H80_B1500   |                     | B96      | K_400_10_H80_B1500   |                     | B126     | K_400_12_H80_B1500   |                     |
| B7       | D1_400_4_H80_B1500  | 33,63               | B37      | D1_400_6_H80_B1500  | 34,16               | B67      | D1_400_8_H80_B1500  | 35,04               | B97      | D1_400_10_H80_B1500  | 36,02               | B127     | D1_400_12_H80_B1500  | 35,77               |
| B8       | D2_400_4_H80_B1500  | 46,64               | B38      | D2_400_6_H80_B1500  | 54,64               | B68      | D2_400_8_H80_B1500  | 57,03               | B98      | D2_400_10_H80_B1500  | 63,23               | B128     | D2_400_12_H80_B1500  | 61,20               |
| B9       | T1_400_4_H80_B1500  | 37,93               | B39      | T1_400_6_H80_B1500  | 38,45               | B69      | T1_400_8_H80_B1500  | 38,91               | B99      | T1_400_10_H80_B1500  | 39,57               | B129     | T1_400_12_H80_B1500  | 38,78               |
| B10      | T2_400_4_H80_B1500  | 56,47               | B40      | T2_400_6_H80_B1500  | 68,04               | B70      | T2_400_8_H80_B1500  | 71,57               | B100     | T2_400_10_H80_B1500  | 75,66               | B130     | T2_400_12_H80_B1500  | 71,82               |
| B11      | K_400_4_H100_B1000  |                     | B41      | K_400_6_H100_B1000  |                     | B71      | K_400_8_H100_B1000  |                     | B101     | K_400_10_H100_B1000  |                     | B131     | K_400_12_H100_B1000  |                     |
| B12      | D1_400_4_H100_B1000 | 31,39               | B42      | D1_400_6_H100_B1000 | 34,36               | B72      | D1_400_8_H100_B1000 | 35,32               | B102     | D1_400_10_H100_B1000 | 35,61               | B132     | D1_400_12_H100_B1000 | 35,56               |
| B13      | D2_400_4_H100_B1000 | 47,92               | B43      | D2_400_6_H100_B1000 | 63,76               | B73      | D2_400_8_H100_B1000 | 51,22               | B103     | D2_400_10_H100_B1000 | 66,46               | B133     | D2_400_12_H100_B1000 | 61,25               |
| B14      | T1_400_4_H100_B1000 | 35,52               | B44      | T1_400_6_H100_B1000 | 37,97               | B74      | T1_400_8_H100_B1000 | 38,93               | B104     | T1_400_10_H100_B1000 | 39,15               | B134     | T1_400_12_H100_B1000 | 38,84               |
| B15      | T2_400_4_H100_B1000 | 59,49               | B45      | T2_400_6_H100_B1000 | 76,26               | B75      | T2_400_8_H100_B1000 | 77,44               | B105     | T2_400_10_H100_B1000 | 77,67               | B135     | T2_400_12_H100_B1000 | 70,31               |
| B16      | K_400_4_H100_B1500  |                     | B46      | K_400_6_H100_B1500  |                     | B76      | K_400_8_H100_B1500  |                     | B106     | K_400_10_H100_B1500  |                     | B136     | K_400_12_H100_B1500  |                     |
| B17      | D1_400_4_H100_B1500 | 17,77               | B47      | D1_400_6_H100_B1500 | 31,87               | B77      | D1_400_8_H100_B1500 | 34,12               | B107     | D1_400_10_H100_B1500 | 34,23               | B137     | D1_400_12_H100_B1500 | 34,14               |
| B18      | D2_400_4_H100_B1500 | 31,97               | B48      | D2_400_6_H100_B1500 | 58,94               | B78      | D2_400_8_H100_B1500 | 64,35               | B108     | D2_400_10_H100_B1500 | 64,83               | B138     | D2_400_12_H100_B1500 | 60,30               |
| B19      | T1_400_4_H100_B1500 | 21,28               | B49      | T1_400_6_H100_B1500 | 35,47               | B79      | T1_400_8_H100_B1500 | 37,68               | B109     | T1_400_10_H100_B1500 | 37,45               | B139     | T1_400_12_H100_B1500 | 37,28               |
| B20      | T2_400_4_H100_B1500 | 40,94               | B50      | T2_400_6_H100_B1500 | 71,51               | B80      | T2_400_8_H100_B1500 | 74,42               | B110     | T2_400_10_H100_B1500 | 75,05               | B140     | T2_400_12_H100_B1500 | 69,07               |
| B21      | K_400_4_H120_B1000  |                     | B51      | K_400_6_H120_B1000  |                     | B81      | K_400_8_H120_B1000  |                     | B111     | K_400_10_H120_B1000  |                     | B141     | K_400_12_H120_B1000  |                     |
| B22      | D1_400_4_H120_B1000 | 30,96               | B52      | D1_400_6_H120_B1000 | 32,22               | B82      | D1_400_8_H120_B1000 | 32,59               | B112     | D1_400_10_H120_B1000 | 33,70               | B142     | D1_400_12_H120_B1000 | 33,63               |
| B23      | D2_400_4_H120_B1000 | 46,32               | B53      | D2_400_6_H120_B1000 | 61,69               | B83      | D2_400_8_H120_B1000 | 62,50               | B113     | D2_400_10_H120_B1000 | 63,17               | B143     | D2_400_12_H120_B1000 | 58,81               |
| B24      | T1_400_4_H120_B1000 | 34,91               | B54      | T1_400_6_H120_B1000 | 35,70               | B84      | T1_400_8_H120_B1000 | 36,50               | B114     | T1_400_10_H120_B1000 | 36,92               | B144     | T1_400_12_H120_B1000 | 33,30               |
| B25      | T2_400_4_H120_B1000 | 57,54               | B55      | T2_400_6_H120_B1000 | 70,52               | B85      | T2_400_8_H120_B1000 | 71,83               | B115     | T2_400_10_H120_B1000 | 73,08               | B145     | T2_400_12_H120_B1000 | 54,11               |
| B26      | K_400_4_H120_B1500  |                     | B56      | K_400_6_H120_B1500  |                     | B86      | K_400_8_H120_B1500  |                     | B116     | K_400_10_H120_B1500  |                     | B146     | K_400_12_H120_B1500  |                     |
| B27      | D1_400_4_H120_B1500 | 29,80               | B57      | D1_400_6_H120_B1500 | 30,29               | B87      | D1_400_8_H120_B1500 | 31,76               | B117     | D1_400_10_H120_B1500 | 29,75               | B147     | D1_400_12_H120_B1500 | 34,75               |
| B28      | D2_400_4_H120_B1500 | 43,89               | B58      | D2_400_6_H120_B1500 | 56,76               | B88      | D2_400_8_H120_B1500 | 60,18               | B118     | D2_400_10_H120_B1500 | 58,57               | B148     | D2_400_12_H120_B1500 | 60,35               |
| B29      | T1_400_4_H120_B1500 | 33,52               | B59      | T1_400_6_H120_B1500 | 32,89               | B89      | T1_400_8_H120_B1500 | 35,10               | B119     | T1_400_10_H120_B1500 | 32,67               | B149     | T1_400_12_H120_B1500 | 37,66               |
| B30      | T2_400_4_H120_B1500 | 53,48               | B60      | T2_400_6_H120_B1500 | 66,43               | B90      | T2_400_8_H120_B1500 | 69,22               | B120     | T2_400_10_H120_B1500 | 67,19               | B150     | T2_400_12_H120_B1500 | 68,80               |

Çizelge 6.5. IPE500 profilli modellerde halat kazanımları

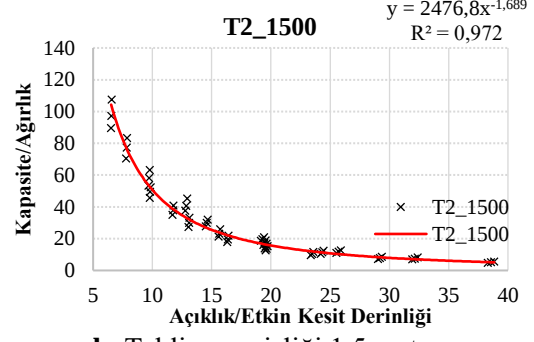
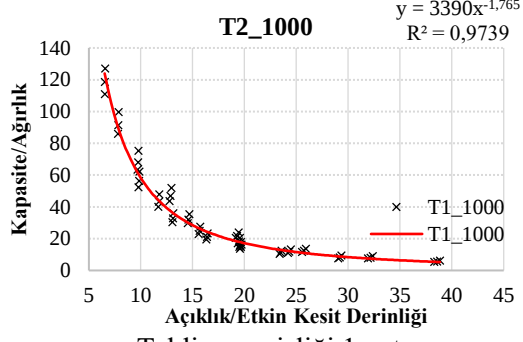
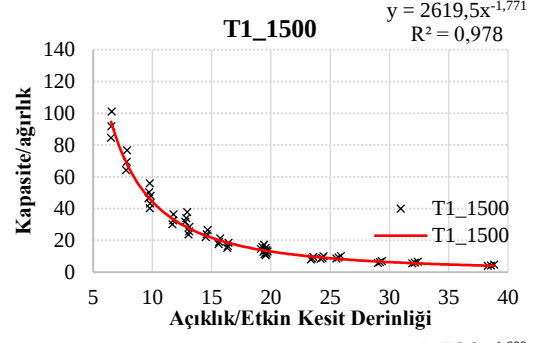
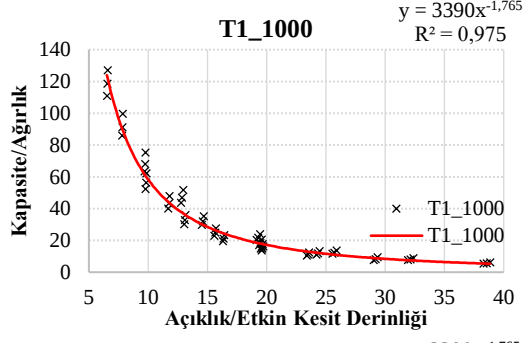
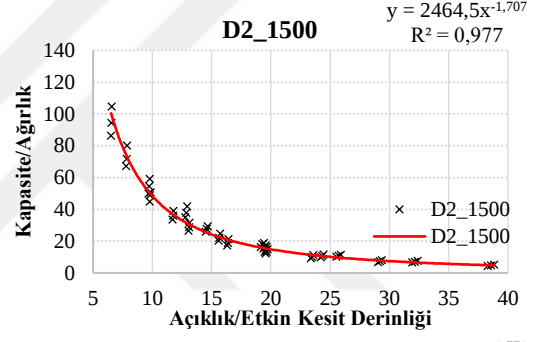
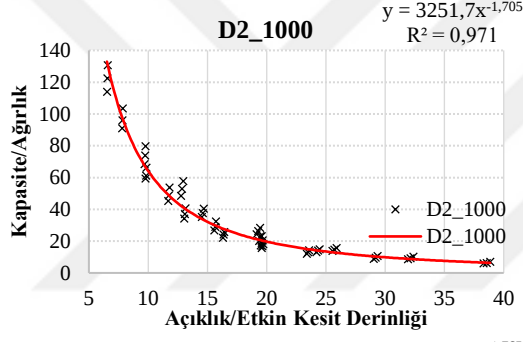
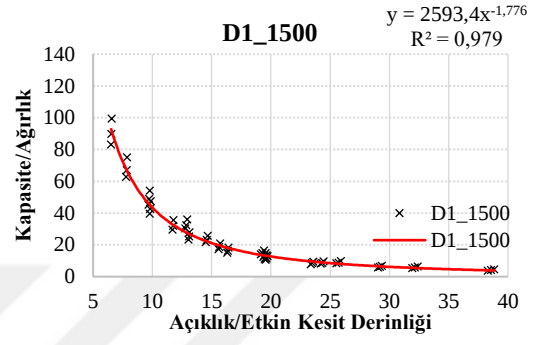
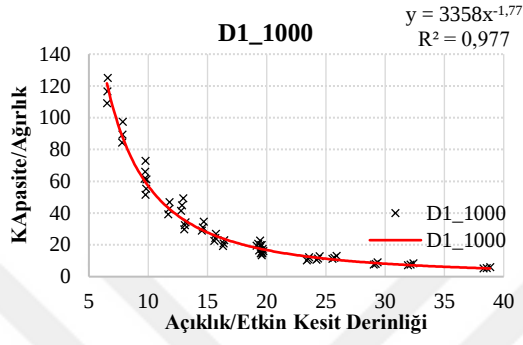
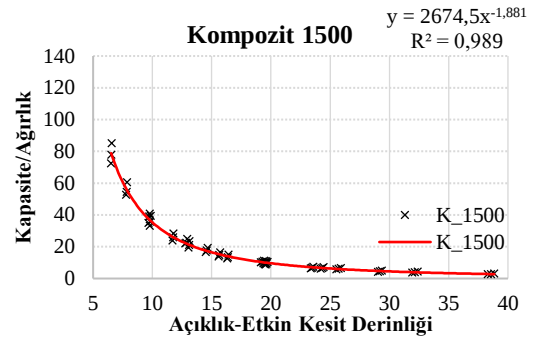
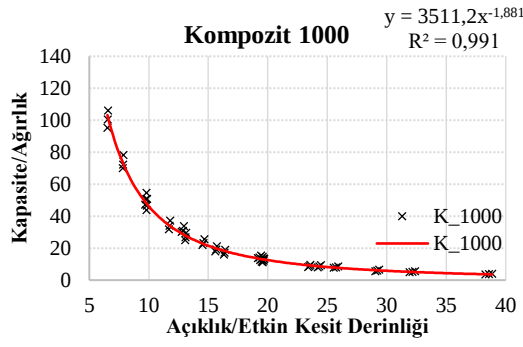
| Model No | Model               | Kapasite Kazanımı % | Model No | Model               | Kapasite Kazanımı % | Model No | Model               | Kapasite Kazanımı % | Model No | Model                | Kapasite Kazanımı % | Model No | Model                | Kapasite Kazanımı % |
|----------|---------------------|---------------------|----------|---------------------|---------------------|----------|---------------------|---------------------|----------|----------------------|---------------------|----------|----------------------|---------------------|
| C1       | K_500_4_H80_B1000   |                     | C31      | K_500_6_H80_B1000   |                     | C61      | K_500_8_H80_B1000   |                     | C91      | K_500_10_H80_B1000   |                     | C121     | K_500_12_H80_B1000   |                     |
| C2       | D1_500_4_H80_B1000  | 25,56               | C32      | D1_500_6_H80_B1000  | 26,27               | C62      | D1_500_8_H80_B1000  | 28,71               | C92      | D1_500_10_H80_B1000  | 28,80               | C122     | D1_500_12_H80_B1000  | 28,66               |
| C3       | D2_500_4_H80_B1000  | 34,19               | C33      | D2_500_6_H80_B1000  | 45,78               | C63      | D2_500_8_H80_B1000  | 55,62               | C93      | D2_500_10_H80_B1000  | 53,35               | C123     | D2_500_12_H80_B1000  | 51,83               |
| C4       | T1_500_4_H80_B1000  | 28,35               | C34      | T1_500_6_H80_B1000  | 29,16               | C64      | T1_500_8_H80_B1000  | 31,22               | C94      | T1_500_10_H80_B1000  | 31,43               | C124     | T1_500_12_H80_B1000  | 31,09               |
| C5       | T2_500_4_H80_B1000  | 39,34               | C35      | T2_500_6_H80_B1000  | 50,84               | C65      | T2_500_8_H80_B1000  | 60,01               | C95      | T2_500_10_H80_B1000  | 62,31               | C125     | T2_500_12_H80_B1000  | 57,24               |
| C6       | K_500_4_H80_B1500   |                     | C36      | K_500_6_H80_B1500   |                     | C66      | K_500_8_H80_B1500   |                     | C96      | K_500_10_H80_B1500   |                     | C126     | K_500_12_H80_B1500   |                     |
| C7       | D1_500_4_H80_B1500  | 24,54               | C37      | D1_500_6_H80_B1500  | 26,28               | C67      | D1_500_8_H80_B1500  | 28,03               | C97      | D1_500_10_H80_B1500  | 28,21               | C127     | D1_500_12_H80_B1500  | 28,08               |
| C8       | D2_500_4_H80_B1500  | 33,60               | C38      | D2_500_6_H80_B1500  | 39,02               | C68      | D2_500_8_H80_B1500  | 51,64               | C98      | D2_500_10_H80_B1500  | 55,01               | C128     | D2_500_12_H80_B1500  | 52,13               |
| C9       | T1_500_4_H80_B1500  | 27,03               | C39      | T1_500_6_H80_B1500  | 29,03               | C69      | T1_500_8_H80_B1500  | 30,50               | C99      | T1_500_10_H80_B1500  | 30,66               | C129     | T1_500_12_H80_B1500  | 30,47               |
| C10      | T2_500_4_H80_B1500  | 39,06               | C40      | T2_500_6_H80_B1500  | 46,00               | C70      | T2_500_8_H80_B1500  | 58,81               | C100     | T2_500_10_H80_B1500  | 61,43               | C130     | T2_500_12_H80_B1500  | 57,85               |
| C11      | K_500_4_H100_B1000  |                     | C41      | K_500_6_H100_B1000  |                     | C71      | K_500_8_H100_B1000  |                     | C101     | K_500_10_H100_B1000  |                     | C131     | K_500_12_H100_B1000  |                     |
| C12      | D1_500_4_H100_B1000 | 24,34               | C42      | D1_500_6_H100_B1000 | 25,32               | C72      | D1_500_8_H100_B1000 | 27,31               | C102     | D1_500_10_H100_B1000 | 27,60               | C132     | D1_500_12_H100_B1000 | 27,59               |
| C13      | D2_500_4_H100_B1000 | 34,48               | C43      | D2_500_6_H100_B1000 | 44,98               | C73      | D2_500_8_H100_B1000 | 52,66               | C103     | D2_500_10_H100_B1000 | 53,80               | C133     | D2_500_12_H100_B1000 | 50,81               |
| C14      | T1_500_4_H100_B1000 | 27,03               | C44      | T1_500_6_H100_B1000 | 27,81               | C74      | T1_500_8_H100_B1000 | 29,62               | C104     | T1_500_10_H100_B1000 | 30,00               | C134     | T1_500_12_H100_B1000 | 29,92               |
| C15      | T2_500_4_H100_B1000 | 40,27               | C45      | T2_500_6_H100_B1000 | 51,36               | C75      | T2_500_8_H100_B1000 | 58,81               | C105     | T2_500_10_H100_B1000 | 59,54               | C135     | T2_500_12_H100_B1000 | 56,48               |
| C16      | K_500_4_H100_B1500  |                     | C46      | K_500_6_H100_B1500  |                     | C76      | K_500_8_H100_B1500  |                     | C106     | K_500_10_H100_B1500  |                     | C136     | K_500_12_H100_B1500  |                     |
| C17      | D1_500_4_H100_B1500 | 23,66               | C47      | D1_500_6_H100_B1500 | 23,45               | C77      | D1_500_8_H100_B1500 | 26,79               | C107     | D1_500_10_H100_B1500 | 27,01               | C137     | D1_500_12_H100_B1500 | 26,84               |
| C18      | D2_500_4_H100_B1500 | 32,62               | C48      | D2_500_6_H100_B1500 | 39,57               | C78      | D2_500_8_H100_B1500 | 50,32               | C108     | D2_500_10_H100_B1500 | 52,35               | C138     | D2_500_12_H100_B1500 | 50,63               |
| C19      | T1_500_4_H100_B1500 | 27,90               | C49      | T1_500_6_H100_B1500 | 26,08               | C79      | T1_500_8_H100_B1500 | 29,07               | C109     | T1_500_10_H100_B1500 | 29,26               | C139     | T1_500_12_H100_B1500 | 29,07               |
| C20      | T2_500_4_H100_B1500 | 43,02               | C50      | T2_500_6_H100_B1500 | 46,90               | C80      | T2_500_8_H100_B1500 | 56,92               | C110     | T2_500_10_H100_B1500 | 58,51               | C140     | T2_500_12_H100_B1500 | 56,30               |
| C21      | K_500_4_H120_B1000  |                     | C51      | K_500_6_H120_B1000  |                     | C81      | K_500_8_H120_B1000  |                     | C111     | K_500_10_H120_B1000  |                     | C141     | K_500_12_H120_B1000  |                     |
| C22      | D1_500_4_H120_B1000 | 20,92               | C52      | D1_500_6_H120_B1000 | 24,19               | C82      | D1_500_8_H120_B1000 | 25,68               | C112     | D1_500_10_H120_B1000 | 26,21               | C142     | D1_500_12_H120_B1000 | 26,28               |
| C23      | D2_500_4_H120_B1000 | 31,04               | C53      | D2_500_6_H120_B1000 | 44,46               | C83      | D2_500_8_H120_B1000 | 49,70               | C113     | D2_500_10_H120_B1000 | 50,82               | C143     | D2_500_12_H120_B1000 | 49,18               |
| C24      | T1_500_4_H120_B1000 | 23,14               | C54      | T1_500_6_H120_B1000 | 26,51               | C84      | T1_500_8_H120_B1000 | 27,81               | C114     | T1_500_10_H120_B1000 | 28,39               | C144     | T1_500_12_H120_B1000 | 28,46               |
| C25      | T2_500_4_H120_B1000 | 37,03               | C55      | T2_500_6_H120_B1000 | 52,66               | C85      | T2_500_8_H120_B1000 | 55,33               | C115     | T2_500_10_H120_B1000 | 56,12               | C145     | T2_500_12_H120_B1000 | 54,33               |
| C26      | K_500_4_H120_B1500  |                     | C56      | K_500_6_H120_B1500  |                     | C86      | K_500_8_H120_B1500  |                     | C116     | K_500_10_H120_B1500  |                     | C146     | K_500_12_H120_B1500  |                     |
| C27      | D1_500_4_H120_B1500 | 19,74               | C57      | D1_500_6_H120_B1500 | 23,21               | C87      | D1_500_8_H120_B1500 | 25,32               | C117     | D1_500_10_H120_B1500 | 25,70               | C147     | D1_500_12_H120_B1500 | 25,62               |
| C28      | D2_500_4_H120_B1500 | 28,76               | C58      | D2_500_6_H120_B1500 | 41,30               | C88      | D2_500_8_H120_B1500 | 47,47               | C118     | D2_500_10_H120_B1500 | 49,67               | C148     | D2_500_12_H120_B1500 | 48,84               |
| C29      | T1_500_4_H120_B1500 | 22,29               | C59      | T1_500_6_H120_B1500 | 25,61               | C89      | T1_500_8_H120_B1500 | 27,50               | C119     | T1_500_10_H120_B1500 | 27,79               | C149     | T1_500_12_H120_B1500 | 27,68               |
| C30      | T2_500_4_H120_B1500 | 34,82               | C60      | T2_500_6_H120_B1500 | 47,01               | C90      | T2_500_8_H120_B1500 | 53,87               | C120     | T2_500_10_H120_B1500 | 55,46               | C150     | T2_500_12_H120_B1500 | 54,39               |

Çizelge 6.6. IPE600 profilli modellerde halat kazanımları

| Model No | Model               | Kapasite Kazanımı % | Model No | Model               | Kapasite Kazanımı % | Model No | Model               | Kapasite Kazanımı % | Model No | Model                | Kapasite Kazanımı % | Model No | Model                | Kapasite Kazanımı % |
|----------|---------------------|---------------------|----------|---------------------|---------------------|----------|---------------------|---------------------|----------|----------------------|---------------------|----------|----------------------|---------------------|
| D1       | K_600_4_H80_B1000   |                     | D31      | K_600_6_H80_B1000   |                     | D61      | K_600_8_H80_B1000   |                     | D91      | K_600_10_H80_B1000   |                     | D121     | K_600_12_H80_B1000   |                     |
| D2       | D1_600_4_H80_B1000  | 18,61               | D32      | D1_600_6_H80_B1000  | 20,87               | D62      | D1_600_8_H80_B1000  | 16,87               | D92      | D1_600_10_H80_B1000  | 21,30               | D122     | D1_600_12_H80_B1000  | 21,86               |
| D3       | D2_600_4_H80_B1000  | 24,72               | D33      | D2_600_6_H80_B1000  | 31,46               | D63      | D2_600_8_H80_B1000  | 39,61               | D93      | D2_600_10_H80_B1000  | 37,88               | D123     | D2_600_12_H80_B1000  | 37,75               |
| D4       | T1_600_4_H80_B1000  | 20,55               | D34      | T1_600_6_H80_B1000  | 22,96               | D64      | T1_600_8_H80_B1000  | 22,52               | D94      | T1_600_10_H80_B1000  | 23,24               | D124     | T1_600_12_H80_B1000  | 23,67               |
| D5       | T2_600_4_H80_B1000  | 27,06               | D35      | T2_600_6_H80_B1000  | 36,15               | D65      | T2_600_8_H80_B1000  | 44,14               | D95      | T2_600_10_H80_B1000  | 42,08               | D125     | T2_600_12_H80_B1000  | 40,86               |
| D6       | K_600_4_H80_B1500   |                     | D36      | K_600_6_H80_B1500   |                     | D66      | K_600_8_H80_B1500   |                     | D96      | K_600_10_H80_B1500   |                     | D126     | K_600_12_H80_B1500   |                     |
| D7       | D1_600_4_H80_B1500  | 17,25               | D37      | D1_600_6_H80_B1500  | 20,86               | D67      | D1_600_8_H80_B1500  | 19,97               | D97      | D1_600_10_H80_B1500  | 21,81               | D127     | D1_600_12_H80_B1500  | 21,85               |
| D8       | D2_600_4_H80_B1500  | 24,04               | D38      | D2_600_6_H80_B1500  | 29,71               | D68      | D2_600_8_H80_B1500  | 36,06               | D98      | D2_600_10_H80_B1500  | 42,35               | D128     | D2_600_12_H80_B1500  | 42,70               |
| D9       | T1_600_4_H80_B1500  | 19,22               | D39      | T1_600_6_H80_B1500  | 22,32               | D69      | T1_600_8_H80_B1500  | 22,14               | D99      | T1_600_10_H80_B1500  | 23,44               | D129     | T1_600_12_H80_B1500  | 23,53               |
| D10      | T2_600_4_H80_B1500  | 27,41               | D40      | T2_600_6_H80_B1500  | 33,62               | D70      | T2_600_8_H80_B1500  | 42,92               | D100     | T2_600_10_H80_B1500  | 46,92               | D130     | T2_600_12_H80_B1500  | 47,04               |
| D11      | K_600_4_H100_B1000  |                     | D41      | K_600_6_H100_B1000  |                     | D71      | K_600_8_H100_B1000  |                     | D101     | K_600_10_H100_B1000  |                     | D131     | K_600_12_H100_B1000  | 0,00                |
| D12      | D1_600_4_H100_B1000 | 16,63               | D42      | D1_600_6_H100_B1000 | 19,18               | D72      | D1_600_8_H100_B1000 | 20,99               | D102     | D1_600_10_H100_B1000 | 21,33               | D132     | D1_600_12_H100_B1000 | 21,42               |
| D13      | D2_600_4_H100_B1000 | 23,06               | D43      | D2_600_6_H100_B1000 | 32,34               | D73      | D2_600_8_H100_B1000 | 39,22               | D103     | D2_600_10_H100_B1000 | 41,07               | D133     | D2_600_12_H100_B1000 | 41,85               |
| D14      | T1_600_4_H100_B1000 | 18,65               | D44      | T1_600_6_H100_B1000 | 21,24               | D74      | T1_600_8_H100_B1000 | 22,58               | D104     | T1_600_10_H100_B1000 | 22,92               | D134     | T1_600_12_H100_B1000 | 23,09               |
| D15      | T2_600_4_H100_B1000 | 27,06               | D45      | T2_600_6_H100_B1000 | 36,77               | D75      | T2_600_8_H100_B1000 | 44,30               | D105     | T2_600_10_H100_B1000 | 45,41               | D135     | T2_600_12_H100_B1000 | 44,51               |
| D16      | K_600_4_H100_B1500  |                     | D46      | K_600_6_H100_B1500  |                     | D76      | K_600_8_H100_B1500  |                     | D106     | K_600_10_H100_B1500  |                     | D136     | K_600_12_H100_B1500  |                     |
| D17      | D1_600_4_H100_B1500 | 15,70               | D47      | D1_600_6_H100_B1500 | 19,89               | D77      | D1_600_8_H100_B1500 | 20,63               | D107     | D1_600_10_H100_B1500 | 21,10               | D137     | D1_600_12_H100_B1500 | 21,05               |
| D18      | D2_600_4_H100_B1500 | 22,34               | D48      | D2_600_6_H100_B1500 | 37,92               | D78      | D2_600_8_H100_B1500 | 37,83               | D108     | D2_600_10_H100_B1500 | 40,76               | D138     | D2_600_12_H100_B1500 | 41,14               |
| D19      | T1_600_4_H100_B1500 | 18,37               | D49      | T1_600_6_H100_B1500 | 21,59               | D79      | T1_500_8_H100_B1500 | 22,30               | D109     | T1_600_10_H100_B1500 | 22,61               | D139     | T1_600_12_H100_B1500 | 22,61               |
| D20      | T2_600_4_H100_B1500 | 25,87               | D50      | T2_600_6_H100_B1500 | 39,81               | D80      | T2_600_8_H100_B1500 | 42,66               | D110     | T2_600_10_H100_B1500 | 45,20               | D140     | T2_600_12_H100_B1500 | 45,30               |
| D21      | K_600_4_H120_B1000  |                     | D51      | K_600_6_H120_B1000  |                     | D81      | K_600_8_H120_B1000  |                     | D111     | K_600_10_H120_B1000  |                     | D141     | K_600_12_H120_B1000  |                     |
| D22      | D1_600_4_H120_B1000 | 15,08               | D52      | D1_600_6_H120_B1000 | 18,23               | D82      | D1_600_8_H120_B1000 | 20,15               | D112     | D1_600_10_H120_B1000 | 20,42               | D142     | D1_600_12_H120_B1000 | 20,60               |
| D23      | D2_600_4_H120_B1000 | 20,70               | D53      | D2_600_6_H120_B1000 | 36,71               | D83      | D2_600_8_H120_B1000 | 38,30               | D113     | D2_600_10_H120_B1000 | 39,35               | D143     | D2_600_12_H120_B1000 | 40,12               |
| D24      | T1_600_4_H120_B1000 | 17,04               | D54      | T1_600_6_H120_B1000 | 19,92               | D84      | T1_600_8_H120_B1000 | 21,70               | D114     | T1_600_10_H120_B1000 | 21,88               | D144     | T1_600_12_H120_B1000 | 22,09               |
| D25      | T2_600_4_H120_B1000 | 25,25               | D55      | T2_600_6_H120_B1000 | 38,58               | D85      | T2_600_8_H120_B1000 | 42,54               | D115     | T2_600_10_H120_B1000 | 43,63               | D145     | T2_600_12_H120_B1000 | 43,79               |
| D26      | K_600_4_H120_B1500  |                     | D56      | K_600_6_H120_B1500  |                     | D86      | K_600_8_H120_B1500  |                     | D116     | K_600_10_H120_B1500  |                     | D146     | K_600_12_H120_B1500  |                     |
| D27      | D1_600_4_H120_B1500 | 15,33               | D57      | D1_600_6_H120_B1500 | 20,02               | D87      | D1_600_8_H120_B1500 | 19,61               | D117     | D1_600_10_H120_B1500 | 20,22               | D147     | D1_600_12_H120_B1500 | 20,17               |
| D28      | D2_600_4_H120_B1500 | 20,11               | D58      | D2_600_6_H120_B1500 | 35,98               | D88      | D2_600_8_H120_B1500 | 36,13               | D118     | D2_600_10_H120_B1500 | 38,95               | D148     | D2_600_12_H120_B1500 | 39,16               |
| D29      | T1_600_4_H120_B1500 | 17,02               | D59      | T1_600_6_H120_B1500 | 21,58               | D89      | T1_600_8_H120_B1500 | 21,19               | D119     | T1_600_10_H120_B1500 | 21,63               | D149     | T1_600_12_H120_B1500 | 21,61               |
| D30      | T2_600_4_H120_B1500 | 24,60               | D60      | T2_600_6_H120_B1500 | 38,82               | D90      | T2_600_8_H120_B1500 | 40,61               | D120     | T2_600_10_H120_B1500 | 43,13               | D150     | T2_600_12_H120_B1500 | 43,19               |

## 6.5. Denklem Önerisi

Sayısal modellerin analiz sonuçlarından elde edilen okumalarda, kirişlerin kendi ağırlıkları etkisiyle kiriş ortasında oluşan pozitif sehim ( $\delta_W$ ) ve ardgerme sonrası kiriş ortasında oluşan negatif sehim ( $\delta_{PT}$ ) değerlerine de Çizelge Ek A.1 – A.4'te yer verilmiştir. Çizelgelerde D harfi ile ifade edilen etkin kesit yüksekliği modüler oran ( $n=Es/Ec$ ) kullanılarak belirlenmiştir. Burada, Es ile çelik profil malzemesinin Elastisite Modülü ve Ec ile beton malzemesinin Elastisite Modülü ifade edilmektedir. Beton tabliye yüksekliği modüler oran kullanılarak eşdeğer çelik yüksekliğine dönüştürülmüş ve çelik profil kesit yüksekliği ile toplanarak etkin kesit yüksekliği (D) hesaplanmıştır. Çalışmanın parametrik olarak gerçekleştirilmesinden dolayı çok fazla sayıda sonuç çıktısı vardır. Bu çıktıların anlamlı bir hale getirilmesi amacıyla açıklık/etkin kesit yüksekliği ( $L/D$ ) ve yük taşıma kapasitesi/ağırlık oranları boyutsuzlaştırılmıştır (Şekil 6.6).

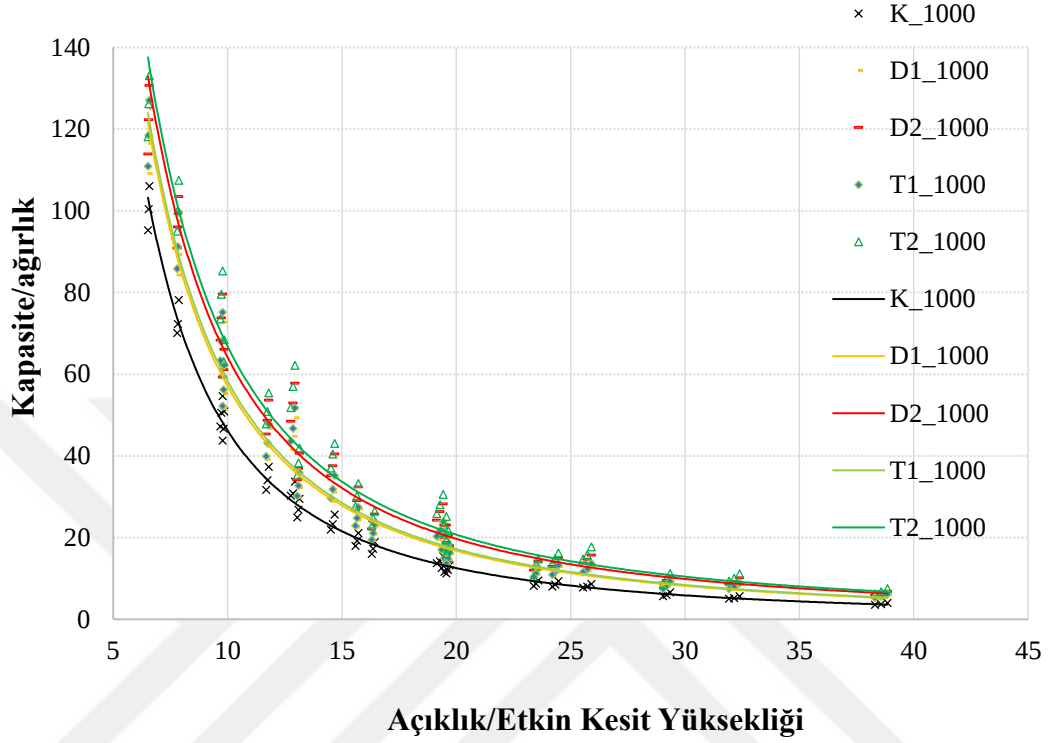


a. Tabliye genişliği 1metre

b. Tabliye genişliği 1,5 metre

Şekil 6.6. Kapasite/Ağırlık-Açıklık/Etkin kesit yüksekliği grafiği

Şekil 6.7’de 1 metre tabliye genişliği için analiz sonuçlarından elde edilen kapasite/ağırlık ve açıklık/etkin kesit yüksekliği grafikleri çizdirilmiştir.



Şekil 6.7. 1 metre beton tabliye genişliği için Kapasite/Ağırlık-Açıklık/Etkin kesit yüksekliği grafiği

Şekil 6.7’de çizdirilen siyah eğri ile 1 metre genişliğindeki kompozit kirişler için üssel güç fonksiyonu elde edilmiştir. Bu fonksiyon Denklem 6.1’de belirtilmiştir. Denklem 6.1, bu tez çalışması kapsamında çelik-beton kompozit kirişler için referans olarak ele alınmıştır. Ardgermeli çelik-beton kompozit kirişler için Çizelge 6.7’deki  $\alpha$  ve  $\beta$  katsayıları Denklem 6.1’e eklenerek Denklem 6.2 elde edilmiştir. Denklem 6.2 ile halat yerleşim şekline bağlı olarak ardgermeli çelik-beton kompozit kirişlerin etkin ön boyutlandırması yapılabilir.

$$y = A \cdot x^b \quad (6.1)$$

$$y = A \cdot \alpha \cdot x^{b \cdot \beta} \quad (6.2)$$

burada, y yük taşıma kapasitesi/ kiriş ağırlığı, x açıklık uzunluğu/etkin kesit derinliği, A kompozit kiriş için hesaplanan katsayı, b kompozit kiriş için hesaplanan üssel

katsayı,  $\alpha$  ve  $\beta$  kompozit kirişler için hesaplanan üssel fonksiyonun ardgermeli modeller için modifiye edilmesine olanak sağlayan katsayılardır.

Çizelge 6.7. Ardgermeli çelik-beton kompozit kirişler için  $\alpha$  ve  $\beta$  katsayıları

| Model   | A katsayı | b katsayı | Standart Hata | R <sup>2</sup> | $\alpha$ katsayı | $\beta$ katsayı |
|---------|-----------|-----------|---------------|----------------|------------------|-----------------|
| K_1000  | 3511,20   | -1,881    | 2,359         | 0,991          |                  |                 |
| D1_1000 |           |           | 4,645         | 0,977          | 0,956            | 0,941           |
| D2_1000 |           |           | 5,495         | 0,969          | 0,926            | 0,906           |
| T1_1000 |           |           | 4,758         | 0,975          | 0,965            | 0,938           |
| T2_1000 |           |           | 5,820         | 0,965          | 0,932            | 0,898           |
| K_1500  |           |           | 2,040         | 0,989          | 0,762            | 1,000           |
| D1_1500 |           |           | 3,232         | 0,979          | 0,739            | 0,944           |
| D2_1500 |           |           | 3,592         | 0,977          | 0,702            | 0,907           |
| T1_1500 |           |           | 3,455         | 0,978          | 0,746            | 0,942           |
| T2_1500 |           |           | 4,066         | 0,972          | 0,705            | 0,898           |

## 7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çelik-beton kompozit kirişler farklı malzemelerin bir arada çalıştırılarak ekonomik kesitler elde edilebilmesine olanak sağlamaktadır. Bu ekonomik kesitlere halat eklenerek daha verimli kesitler elde edilebilir. Ancak, zaten birçok elemanın bir araya getirilmesinden dolayı farklı göçme durumlarına sahip olan çelik-beton kompozit kirişlere halat eklendiğinde kompozit kirişlerin göçme durumlarında değişiklikler meydana gelmektedir. Öngerme halatlı çelik-beton kompozit kirişlerin geleneksel çelik-beton kompozit kirişlere kıyasla yapısal davranışındaki bu değişiklikleri belirleyebilmek amacıyla bu tez çalışmasında sonlu eleman analizlerine dayanan detaylı bir çalışma yürütülmüştür. Bu kapsamda, halat profili, halat alanı, enine donatı konumlandırılması, halatların ardgerdirmeye oranı, çelik profil tipi, kiriş açıklığı, beton tabliye yüksekliği ve derinliği dikkate alınarak parametrik bir çalışma yürütülmüştür. Parametrik çalışmada kullanılan sonlu eleman modellerinin analiz sonuçlarına göre;

- Beton tabliye kalınlığı 20mm arttırıldığında IPE300, IPE400, IPE500 ve IPE600 profilli modellerin yük taşıma kapasitesi sırasıyla yaklaşık %9,43, %7,77, %6,13 ve %5,68 oranında arttığı tespit edilmiştir. Tabliye kalınlığı 40mm arttırıldığında ise 20mm tabliye kalınlığındaki kazanımların yaklaşık iki katına çıkmaktadır.
- Ardgermeli modellerde IPE 300, IPE400, IPE500 ve IPE600 için halatın etkin çalıştığı açıklıklar sırasıyla 8m, 10m, 10m ve 12m olarak tespit edilmiştir.
- Halat konumlandırması parametrik çalışmada kullanılan düz ve dökümlü halat profili gibi yapıldığı takdirde 2x1 halatlı modeller %70, 2x2 halatlı modeller %35 halat kopma mukavemetine kadar gerilebilir.
- 2x2 halatlı modeller 2x1 halatlı modellere kıyasla daha rijit davranış sergilemekte ancak özellikle kısa açıklıklarda erken beton ezilmesine neden olmaktadır.
- Çelik-beton kompozit kirişlerde beton tabliye yüksekliğini arttırmak hem kapasite artışını hem de kiriş başlangıç rijitliğini arttırmaktadır.
- Çelik-beton kompozit kirişlerde, kirişin eğilme durumuna göre kayma çivisi yakınına (kayma çivisi önüne veya arkasına) enine donatı konumlandırılır ise

elik-beton kompozit kirişlerin boyuna kesme durumu geciktirilebilir. Bu durum, daha sünek kiriş tasarımı yapılabilmesine olanak sağlayabilir.

- elik-beton kompozit kirişlere öngerme halatları ile ardgerme uygulamak elastik sınırlar içerisindeki yük taşıma kapasitesini önemli ölçüde arttırabilmektedir. Buradaki kapasite artışı profil tipi, kiriş açıklığı, beton tabliye yüksekliği ve malzeme özelliklerine bağlıdır.
- elik-beton kompozit kirişlere öngerme halatları ile ardgerme uygulanacak ise en az %70 bağlantı derecesinin sağlanması önerilmektedir.
- ngerme halatlı elik-beton kompozit kirişlerde halat konumlandırması oldukça önemlidir. Özellikle kısa açıklarda mesnet bölgelerinde elik profil st başlığına yakın halat ucu konumlandırılır ise bu durum kompozit kirişin erken boyuna kesme hasarına uğramasına neden olabilir. Mesnet bölgelerinde halat uçlarının elik profil kiriş ortasında veya elik profil kiriş alt başlığına yakın bölgede konumlandırılması önerilmektedir.
- elik-beton kompozit kirişlere öngerme halatı eklemek elik kiriş akma anındanki sehim değerini ve kiriş taşıma kapasitesini arttırmaktadır. Ancak beton ezilme durumundaki sehim değerini azaltmaktadır. Bunun sonucu olarak kiriş daha gevrek davranış göstermektedir.
- Pozitif eğilme etkisindeki ardgermeli elik-beton kompozit kirişlerde elik alt başlık aktığı anda halatlardaki şekil değiştirmeler lineer sınırlar içerisinde kalmaktadır. Bu durum, şekil değiştirme uyumsuzluğunu ortaya çıkarmakta ve kirişte yeniden dağılım oluşmaktadır. Bunun sonucunda elik kiriş eğilme rijitliğinde düşüş olmasına rağmen halat nedeniyle kiriş düşey yüklere karşı daha rijit davranmakta ve sehim değerleri sınırlandırılmaktadır. Bu nedenle beton tabliyede sıkıştırma etkisi oluşmakta ve beton ezilmesi kompozit kirişe kıyasla daha erken sehim değerlerinde oluşmaktadır.
- elik-beton kompozit kirişlerde ardgerme uygulamak beton tabliyenin boyuna kesmesine neden olabilir. Bu nedenle, kiriş uçlarındaki başlıklı kayma çivisi yerleşim mesafesi ve ardgerme oranı kontrol edilmelidir.
- Literatürde sınırlı deney verisi nedeniyle elik-beton kompozit kirişlerde halat kullanımının kapasiteyi yaklaşık %25 oranında arttırabileceği belirtilmektedir. Ancak bu durumu etkileyen birçok parametre vardır. Bu çalışmada bu durum açıkça görülmüştür. Bu nedenle çalışma kapsamında ele alınan analiz

sonuçlarına göre kompozit kirişlerin n tasarımı için Denklem 6.1, öngerme halatlı kompozit kirişlerin n tasarımı için Denklem 6.2 boyutsuz olacak şekilde önerilmiştir. Denklemlerde  $R^2$  değerleri 0,965-0,991 aralığında, standart hata değerleri ise 2,04 ila 5,82 aralığında bulunmuştur. Bu alışma kapsamında yapısal elik için S235, beton için C30 beton sınıfı kullanılmıştır. Verilen denklem nerileri bu malzeme sınıfları için geçerlidir. Diğer malzeme sınıfları da dikkate alınarak önerilen denklem geliştirilebilir.



## KAYNAKLAR

- Abaqus, G. 2011. Abaqus 6.11. Dassault Systemes Simulia Corp. Providence, RI, USA.
- Ahmed, A., 2014. Modeling of a Reinforced Concrete Beam Subjected to Impact Vibration Using ABAQUS. *International Journal of Civil and Structural Engineering*, 4(3), 227-236.
- Almeida, R. M. M., Souza A. S. C., Albuquerque A.T., Rossi A., 2022. Parametric Analysis of Steel-Concrete Composite Beams Prestressed with External Tendons. *Journal of Constructional Steel Research*, 189. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2021.107087>
- AISC 360-16. Specification for Structural Steel Buildings. America, 2016
- ASTM A416/A416M-18 Standard Specification for Low-Relaxation, Seven-Wire Steel Strand for Prestressed Concrete. ASTM, Philadelphia
- Ayyub B. M., Sohn Y. G., Saadatmanesh H., 1990. Prestressed Composite Girders under Positive Moment. *Journal of Structural Engineering*, 116 (11). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(1990\)116:11\(2931\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1990)116:11(2931))
- Birtel V., Mark, P., 2006. Parameterised Finite Element Modelling of RC Beam Shear Failure. ABAQUS Users Conference.
- Chen S., 2005. Experimental Study of Prestressed Steel–Concrete Composite Beams with External Tendons for Negative Moments. *Journal of Constructional Steel Research*, 61, 1613-1630. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2005.05.005>
- Chen S., Gu, P., 2005. Load Carrying Capacity of Composite Beams Prestressed with External Tendons under Positive Moment. *Journal of Constructional Steel Research*, 61, 515-530. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2004.09.004>

- Chen S., Zhang Z., 2006. Effective Width of a Concrete Slab in Steel–Concrete Composite Beams Prestressed with External Tendons. *Journal of Constructional Steel Research*, 62, 493-500. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2005.08.009>
- Chen S., Wang X., Jia Y., 2009. A Comparative Study of Continuous Steel–Concrete Composite Beams Prestressed with External Tendons: Experimental Investigation. *Journal of Constructional Steel Research*, 65 (7). <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2009.03.005>
- Çelik İ. D., Çifçi M., Öztürk Y. (2020). Effects of the External Tendons on the System Capacity and Stud Behavior in Composite Beams. *Structures*, 24, 851-863. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2020.02.010>
- ÇYTHY, 2016. Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair yönetmelik, Ankara. 2016
- Dall'Asta, A. ve Zona A., 2005. Finite Element Model for Externally Prestressed Composite Beams with Deformable Connection. *Journal of Structural Engineering*, 131 (5). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(2005\)131:5\(706\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(2005)131:5(706))
- Dall'Asta, A., Ragni L., Zona, A., 2006. Steel-Concrete Composite Beams Prestressed by External Tendons: Effects of Material and Geometric Nonlinearities. *Advanced Steel Construction*, 2, 53-70.
- Dere, Y., Koroğlu, M. A., 2017. Nonlinear FE Modeling of Reinforced Concrete. *International Journal of Structural and Civil Engineering Research*, 6 (1), 71-74.
- EN 1994-1-1 Eurocode 4: Design of Composite Steel and Concrete Structures – Part 1-1: General Rules and Rules For Buildings 1994-2. 2004.

EN 1994-1-2 Eurocode 4: Design of Composite Steel and Concrete Structures – Part 2: General Rules and Rules For Bridges. 2005.

EN 1993-1-1 Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings. 2005.

El-Zohairy, A., Salim, H., Shaaban, H., Mustafa, S., El-Shihy, A., 2015. Finite-Element Modeling of Externally Posttensioned composite Beams. *Journal of Bridge Engineering*, 20 (12). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)BE.1943-5592.0000756](https://doi.org/10.1061/(ASCE)BE.1943-5592.0000756)

El-Zohairy A. ve Salim H., 2017. Parametric Study for Post-tensioned Composite Beams with External Tendons. *Advances in Structural Engineering*, 20 (10). <https://doi.org/10.1177/1369433216684352>

El-Zohairy A., Salim H., Shaaban H., Mustafa S., El-Shihy A., 2017. Finite Element Analysis and Parametric Study of Continuous Steel–Concrete Composite Beams Stiffened with Post-Tensioned Tendons. *Advances in Structural Engineering*, 21 (6). <https://doi.org/10.1177/136943321773249>

El-Zohairy A., Alsharari F., Salim H., 2020. Analytical Model and Parametric Study for Externally Post-Tensioned Reinforced Concrete-Steel Composite Beams. *Structures*, 27, 411-423. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2020.05.060>

Ersoy U., Özcebe G., Canbay E., 2006. *Betonarme Davranış ve Hesap İlkeleri*. Orta Doğu Teknik Üniversitesi.

İbrahim, A.M., Salman, W.D., 2015. Parametric Study of Continous Composite Steel-Concrete Beam with External Prestressing. *Eng. and Tech. Journal*, 33, 738-752.

- Kambal, M.E.M., jia, Y., 2018. Theoretical and Experimental Study on Flexural Behavior of Prestressed Steel Plate Girders, *Journal of Constructional Steel Research*, 142, 5-16. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2017.12.007>
- Lee, Deuck Hang, Oh, Jae Yuel, Kim, Kang Su., Kim, Hyung Jun, Kim Heung Youl, 2015. Structural Performance of Prestressed Composite Girders with Corrugated Steel Plate Webs. *Journal of Constructional Steel Research*, 104, 9-21. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2014.09.014>
- Liban, R.I., Tayşi N., 2017. Nonlinear Finite Element Analysis of Composite Cantilever Beam with External Prestressing. *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Civil and Environmental Engineering* 11 (4), 511-517. [doi.org/10.5281/zenodo.1130935](https://doi.org/10.5281/zenodo.1130935)
- Liu, X.P., 2001. Design and Construction of Composite Girder Bridges of the Zhongshan Road, in the Inner Ring Road of Guangzhou, *Standart Design Railway*, 21 (12), 11-12.
- Lorenc, W., Kubica, E., 2006. Behavior of Composite Beams Prestressed with External Tendons: Experimental Study. *Journal of Constructional Steel Research*, 62, 1353–1366. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2006.01.007>
- Lou T., Lopes S. M. R., Lopes A. V., 2016. Numerical Modeling of Externally Prestressed Steel–Concrete Composite Beams. *Journal of Constructional Steel Research*, 121, 229-236. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2016.02.008>
- Nie J., Tao M., Cai C. S., Li S., 2009. Deformation Analysis of Prestressed Continuous Steel-Concrete Composite Beams. *Journal of Structural Engineering*, 135 (11). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0000067](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0000067)
- Popovics, S., 1973. A Numerical Approach to the Complete Stress-Strain Curves of Concrete, *Cement and Concrete Research*, 3 (5), 583-599.

- Qader A.H., Agarwal V.C., İbrahim A.M., 2013. Nonlinear Behavior of Continuous Composite Steel Concrete Beam with External Prestress. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)*, 3 (7), 76-82.
- Saadatmanesh H., Albrecht P., Ayyub B. M., 1989. Experimental Study of Prestressed Composite Beams. *Journal of Structural Engineering*, 115 (9). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(1989\)115:9\(2348\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1989)115:9(2348))
- Saadatmanesh H., Albrecht P., Ayyub B. M., 1989. Guidelines for Flexural Design of Prestressed Composite Beams. *Journal of Structural Engineering*, 115 (11). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(1989\)115:11\(2944\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1989)115:11(2944))
- Sousa Jr. J. B. M., Parente Jr. E., Lima E. M. F., Oliveira M. V. X., 2019. Beam-Tendon Finite Elements For Post-Tensioned Steel-Concrete Composite Beams With Partial Interaction. *Journal of Constructional Steel Research*, 159, 147-160. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2019.04.009>
- Thorenfeldt E., Tomaszewicz, A., Jensen, J.J., 1987. Mechanical Properties of High-Strength Concrete and Application in Design. *Proc. Symposium on Utilization of High-Strength Concrete*, , 149-159, Tapir, Trondheim, Norway.
- Troitsky M. S., Zielinski Z.A., Nouraeyan A., 1989. Pre-Tensioned and Posttensioned Composite Girders. *Journal of Structural Engineering*, 115 (12). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(1989\)115:12\(3142\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1989)115:12(3142))
- TS3233 Öngerilmeli Beton Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları Yönetmeliği. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Xue, W.C., Li, J., 2001. Studies on Performance of Prestressed Steel-Concrete Composite Beams. 26th Conference on Our World in Concrete and Structures, 27-28 Ağustos 2001, Singapur.

Yun X., Gardner, L., 2017. Stress-Strain Curves for Hot-Rolled Steels. *Journal of Constructional Steel Research*, 133, 36-46.

Zhang W., 1998. Construction and Site Testing of Steel-Concrete Composite Beams of the Fujian City Hall. *Construction Technology*, 27 (12), 30-31.

Zona A., Ragni L., Dall'Asta A., 2009. Simplified Method for the Analysis of Externally Prestressed Steel-Concrete Composite Beams. *Journal of Constructional Steel Research*, 65 (2), 308-313.  
<https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2008.07.015>



## EKLER

### EK A. Parametrik Sonlu Eleman Modellerinin Analiz Sonuçları

Çizelge A.1. IPE300 profili kullanılan parametrik modellerin sayısal analiz sonuçları

| NO  | Model               | Çelik Akma |        | Beton Ezilme |        | Nihai Durum |        | Göçme Durumu | Süneklik Katsayısı | $\delta_W$ | $\delta_{PT}$ | Açıklık (L) | Etkin Kesit Yüksekliği (D) (mm) | L/D   | Ağırlık kN | Kapasite / Ağırlık | Halat Başlangıç Gerilmesi (MPa) | Kapasite Kazanımı (%) |
|-----|---------------------|------------|--------|--------------|--------|-------------|--------|--------------|--------------------|------------|---------------|-------------|---------------------------------|-------|------------|--------------------|---------------------------------|-----------------------|
|     |                     | mm         | kN     | mm           | kN     | mm          | kN     |              |                    | mm         | mm            |             |                                 |       |            |                    |                                 |                       |
| A1  | K_300_4_H80_B1000   | 9,36       | 279,22 | 63,45        | 351,56 | 63,45       | 351,56 | B.E.         | 6,78               | 0,22       |               | 4000,00     | 308,88                          | 12,95 | 10,44      | 33,68              |                                 |                       |
| A2  | D1_300_4_H80_B1000  | 11,93      | 455,55 | 51,01        | 518,52 | 51,01       | 518,52 | B.E.         | 4,27               | 0,21       | -3,87         | 4000,00     | 308,88                          | 12,95 | 10,52      | 49,27              | 1296,16                         | 47,49                 |
| A3  | D2_300_4_H80_B1000  | 11,90      | 479,45 | 42,36        | 612,60 | 42,36       | 612,60 | B.E.         | 3,56               | 0,20       | -3,88         | 4000,00     | 308,88                          | 12,95 | 10,61      | 57,74              | 651,68                          | 74,25                 |
| A4  | T1_300_4_H80_B1000  | 11,30      | 484,52 | 48,48        | 544,53 | 48,48       | 544,53 | B.E.         | 4,29               | 0,21       | -4,66         | 4000,00     | 308,88                          | 12,95 | 10,52      | 51,74              | 1300,82                         | 54,89                 |
| A5  | T2_300_4_H80_B1000  | 11,26      | 517,03 | 39,84        | 659,48 | 39,84       | 659,48 | B.E.         | 3,54               | 0,19       | -4,67         | 4000,00     | 308,88                          | 12,95 | 10,61      | 62,15              | 652,56                          | 87,59                 |
| A6  | K_300_4_H80_B1500   | 9,42       | 295,89 | 63,43        | 365,42 | 63,43       | 365,42 | B.E.         | 6,73               | 0,29       |               | 4000,00     | 308,88                          | 12,95 | 14,67      | 24,91              |                                 |                       |
| A7  | D1_300_4_H80_B1500  | 11,28      | 462,56 | 48,81        | 531,27 | 48,81       | 531,27 | B.E.         | 4,33               | 0,28       | -3,81         | 4000,00     | 308,88                          | 12,95 | 14,75      | 36,01              | 1299,05                         | 45,39                 |
| A8  | D2_300_4_H80_B1500  | 11,25      | 485,42 | 40,25        | 620,30 | 40,25       | 620,30 | B.E.         | 3,58               | 0,27       | -3,81         | 4000,00     | 308,88                          | 12,95 | 14,84      | 41,80              | 654,33                          | 69,75                 |
| A9  | T1_300_4_H80_B1500  | 11,43      | 499,79 | 45,56        | 557,14 | 45,56       | 557,14 | B.E.         | 3,99               | 0,27       | -4,55         | 4000,00     | 308,88                          | 12,95 | 14,75      | 37,76              | 1303,11                         | 52,46                 |
| A10 | T2_300_4_H80_B1500  | 11,38      | 533,16 | 39,17        | 669,78 | 39,17       | 669,78 | B.E.         | 3,44               | 0,26       | -4,57         | 4000,00     | 308,88                          | 12,95 | 14,84      | 45,13              | 654,66                          | 83,29                 |
| A11 | K_300_4_H100_B1000  | 8,77       | 288,83 | 61,32        | 382,25 | 61,32       | 382,25 | B.E.         | 6,99               | 0,23       |               | 4000,00     | 311,10                          | 12,86 | 12,42      | 30,78              |                                 |                       |
| A12 | D1_300_4_H100_B1000 | 10,75      | 470,61 | 60,26        | 559,47 | 60,26       | 559,47 | B.E.         | 5,61               | 0,22       | -3,65         | 4000,00     | 311,10                          | 12,86 | 12,51      | 44,73              | 1299,10                         | 46,36                 |
| A13 | D2_300_4_H100_B1000 | 10,70      | 494,60 | 50,79        | 665,86 | 50,79       | 665,86 | B.E.         | 4,75               | 0,21       | -3,66         | 4000,00     | 311,10                          | 12,86 | 12,59      | 52,87              | 654,39                          | 74,20                 |
| A14 | T1_300_4_H100_B1000 | 10,16      | 497,35 | 56,36        | 584,35 | 56,36       | 584,35 | B.E.         | 5,55               | 0,22       | -4,36         | 4000,00     | 311,10                          | 12,86 | 12,51      | 46,72              | 1304,16                         | 52,87                 |
| A15 | T2_300_4_H100_B1000 | 10,11      | 529,66 | 47,88        | 718,13 | 47,88       | 718,13 | B.E.         | 4,74               | 0,20       | -4,38         | 4000,00     | 311,10                          | 12,86 | 12,60      | 57,02              | 655,61                          | 87,87                 |
| A16 | K_300_4_H100_B1500  | 8,85       | 306,56 | 53,28        | 395,98 | 53,28       | 395,98 | B.E.         | 6,02               | 0,31       |               | 4000,00     | 311,10                          | 12,86 | 17,64      | 22,45              |                                 |                       |
| A17 | D1_300_4_H100_B1500 | 10,13      | 482,12 | 51,77        | 574,85 | 51,77       | 574,85 | B.E.         | 5,11               | 0,30       | -3,56         | 4000,00     | 311,10                          | 12,86 | 17,73      | 32,43              | 1302,97                         | 45,17                 |
| A18 | D2_300_4_H100_B1500 | 10,82      | 516,82 | 43,46        | 672,09 | 43,46       | 672,09 | B.E.         | 4,02               | 0,28       | -3,57         | 4000,00     | 311,10                          | 12,86 | 17,81      | 37,73              | 657,96                          | 69,73                 |
| A19 | T1_300_4_H100_B1500 | 10,32      | 519,68 | 49,28        | 600,62 | 49,28       | 600,62 | B.E.         | 4,77               | 0,29       | -4,23         | 4000,00     | 311,10                          | 12,86 | 17,73      | 33,88              | 1307,22                         | 51,68                 |
| A20 | T2_300_4_H100_B1500 | 10,25      | 553,40 | 41,86        | 724,03 | 41,86       | 724,03 | B.E.         | 4,08               | 0,27       | -4,25         | 4000,00     | 311,10                          | 12,86 | 17,81      | 40,64              | 658,42                          | 82,84                 |
| A21 | K_300_4_H120_B1000  | 8,08       | 305,86 | 71,69        | 435,38 | 71,69       | 435,38 | B.E.         | 8,88               | 0,24       |               | 4000,00     | 313,32                          | 12,77 | 14,40      | 30,23              |                                 |                       |
| A22 | D1_300_4_H120_B1000 | 10,21      | 499,59 | 48,19        | 601,17 | 48,19       | 601,17 | B.E.         | 4,72               | 0,23       | -3,43         | 4000,00     | 313,32                          | 12,77 | 14,49      | 41,49              | 1302,40                         | 38,08                 |
| A23 | D2_300_4_H120_B1000 | 10,16      | 523,79 | 45,47        | 706,29 | 45,47       | 706,29 | B.E.         | 4,47               | 0,22       | -3,44         | 4000,00     | 313,32                          | 12,77 | 14,58      | 48,45              | 657,46                          | 62,23                 |
| A24 | T1_300_4_H120_B1000 | 9,68       | 525,64 | 50,94        | 631,38 | 50,94       | 631,38 | B.E.         | 5,26               | 0,22       | -4,06         | 4000,00     | 313,32                          | 12,77 | 14,49      | 43,57              | 1307,79                         | 45,02                 |

|     |                     |       |        |        |        |        |        |      |      |      |        |         |        |       |       |       |         |        |
|-----|---------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|------|------|------|--------|---------|--------|-------|-------|-------|---------|--------|
| A25 | T2_300_4_H120_B1000 | 10,37 | 573,11 | 41,96  | 754,88 | 41,96  | 754,88 | B.E. | 4,05 | 0,21 | -4,09  | 4000,00 | 313,32 | 12,77 | 14,58 | 51,78 | 658,94  | 73,38  |
| A26 | K_300_4_H120_B1500  | 8,16  | 328,31 | 68,06  | 455,52 | 68,06  | 455,52 | B.E. | 8,35 | 0,32 |        | 4000,00 | 313,32 | 12,77 | 20,61 | 22,10 |         |        |
| A27 | D1_300_4_H120_B1500 | 10,36 | 526,64 | 51,48  | 628,22 | 51,48  | 628,22 | B.E. | 4,97 | 0,31 | -3,31  | 4000,00 | 313,32 | 12,77 | 20,70 | 30,35 | 1307,31 | 37,91  |
| A28 | D2_300_4_H120_B1500 | 10,30 | 551,87 | 43,50  | 724,28 | 43,50  | 724,28 | B.E. | 4,22 | 0,29 | -3,33  | 4000,00 | 313,32 | 12,77 | 20,79 | 34,85 | 662,01  | 59,00  |
| A29 | T1_300_4_H120_B1500 | 9,89  | 553,20 | 52,31  | 656,94 | 52,31  | 656,94 | B.E. | 5,29 | 0,30 | -3,87  | 4000,00 | 313,32 | 12,77 | 20,70 | 31,74 | 1301,13 | 44,22  |
| A30 | T2_300_4_H120_B1500 | 9,89  | 585,56 | 43,67  | 781,43 | 43,67  | 781,43 | B.E. | 4,42 | 0,28 | -3,82  | 4000,00 | 313,32 | 12,77 | 20,79 | 37,59 | 643,30  | 71,55  |
| A31 | K_300_6_H80_B1000   | 19,01 | 185,09 |        |        | 106,24 | 233,16 | N.D. | 5,59 | 1,01 |        | 6000,00 | 308,88 | 19,42 | 15,13 | 15,41 |         |        |
| A32 | D1_300_6_H80_B1000  | 22,09 | 302,27 | 80,98  | 345,19 | 80,98  | 345,19 | B.E. | 3,67 | 0,96 | -8,70  | 6000,00 | 308,88 | 19,42 | 15,26 | 22,63 | 1301,65 | 48,05  |
| A33 | D2_300_6_H80_B1000  | 22,02 | 319,31 | 84,63  | 434,61 | 84,63  | 434,61 | B.E. | 3,84 | 0,92 | -8,71  | 6000,00 | 308,88 | 19,42 | 15,39 | 28,25 | 656,84  | 86,40  |
| A34 | T1_300_6_H80_B1000  | 22,14 | 325,68 | 88,35  | 364,48 | 88,35  | 364,48 | B.E. | 3,99 | 0,94 | -10,19 | 6000,00 | 308,88 | 19,42 | 15,26 | 23,89 | 1309,59 | 56,32  |
| A35 | T2_300_6_H80_B1000  | 22,05 | 350,82 | 78,70  | 470,16 | 78,70  | 470,16 | B.E. | 3,57 | 0,88 | -10,23 | 6000,00 | 308,88 | 19,42 | 15,39 | 30,55 | 661,85  | 101,65 |
| A36 | K_300_6_H80_B1500   | 19,27 | 196,48 | 82,44  | 236,54 | 82,44  | 236,54 | B.E. | 4,28 | 1,32 |        | 6000,00 | 308,88 | 19,42 | 21,12 | 11,20 |         |        |
| A37 | D1_300_6_H80_B1500  | 22,39 | 317,95 | 68,41  | 349,38 | 68,41  | 349,38 | B.E. | 3,06 | 1,25 | -8,55  | 6000,00 | 308,88 | 19,42 | 21,25 | 16,44 | 1306,56 | 47,70  |
| A38 | D2_300_6_H80_B1500  | 22,28 | 336,86 | 60,27  | 404,70 | 60,27  | 404,70 | B.E. | 2,70 | 1,19 | -8,57  | 6000,00 | 308,88 | 19,42 | 21,38 | 18,93 | 661,36  | 71,09  |
| A39 | T1_300_6_H80_B1500  | 21,40 | 336,90 | 70,13  | 367,60 | 70,13  | 367,60 | B.E. | 3,28 | 1,22 | -9,86  | 6000,00 | 308,88 | 19,42 | 21,25 | 17,30 | 1302,69 | 55,40  |
| A40 | T2_300_6_H80_B1500  | 21,32 | 362,70 | 57,52  | 443,15 | 57,52  | 443,15 | B.E. | 2,70 | 1,14 | -9,84  | 6000,00 | 308,88 | 19,42 | 21,38 | 20,73 | 655,54  | 87,34  |
| A41 | K_300_6_H100_B1000  | 18,16 | 194,71 |        |        | 108,06 | 255,94 | N.D. | 5,95 | 1,07 |        | 6000,00 | 311,10 | 19,29 | 18,05 | 14,18 |         |        |
| A42 | D1_300_6_H100_B1000 | 21,55 | 319,94 |        |        | 107,68 | 376,45 | N.D. | 5,00 | 1,02 | -8,21  | 6000,00 | 311,10 | 19,29 | 18,18 | 20,70 | 1305,30 | 47,09  |
| A43 | D2_300_6_H100_B1000 | 21,45 | 338,67 | 99,32  | 483,00 | 99,32  | 483,00 | B.E. | 4,63 | 0,97 | -8,23  | 6000,00 | 311,10 | 19,29 | 18,31 | 26,38 | 660,22  | 88,72  |
| A44 | T1_300_6_H100_B1000 | 21,78 | 343,10 |        |        | 107,36 | 392,90 | N.D. | 4,93 | 1,00 | -9,46  | 6000,00 | 311,10 | 19,29 | 18,18 | 21,61 | 1302,72 | 53,52  |
| A45 | T2_300_6_H100_B1000 | 21,69 | 369,69 | 99,44  | 514,36 | 99,44  | 514,36 | B.E. | 4,58 | 0,93 | -9,45  | 6000,00 | 311,10 | 19,29 | 18,31 | 28,09 | 655,58  | 100,97 |
| A46 | K_300_6_H100_B1500  | 17,37 | 204,32 |        |        | 107,40 | 268,58 | N.D. | 6,18 | 1,41 |        | 6000,00 | 311,10 | 19,29 | 25,50 | 10,53 |         |        |
| A47 | D1_300_6_H100_B1500 | 20,83 | 333,56 | 78,94  | 382,06 | 78,94  | 382,06 | B.E. | 3,79 | 1,33 | -7,93  | 6000,00 | 311,10 | 19,29 | 25,63 | 14,90 | 1300,87 | 42,25  |
| A48 | D2_300_6_H100_B1500 | 20,75 | 352,59 | 80,63  | 465,51 | 80,63  | 465,51 | B.E. | 3,89 | 1,27 | -7,91  | 6000,00 | 311,10 | 19,29 | 25,76 | 18,07 | 656,09  | 73,32  |
| A49 | T1_300_6_H100_B1500 | 19,93 | 351,40 | 96,63  | 402,44 | 96,63  | 402,44 | B.E. | 4,85 | 1,31 | -9,09  | 6000,00 | 311,10 | 19,29 | 25,63 | 15,70 | 1296,84 | 49,84  |
| A50 | T2_300_6_H100_B1500 | 19,87 | 377,01 | 85,15  | 507,47 | 85,15  | 507,47 | B.E. | 4,29 | 1,22 | -9,03  | 6000,00 | 311,10 | 19,29 | 25,76 | 19,70 | 650,16  | 88,94  |
| A51 | K_300_6_H120_B1000  | 18,23 | 214,30 |        |        | 107,93 | 287,24 | N.D. | 5,92 | 1,11 |        | 6000,00 | 313,32 | 19,15 | 20,98 | 13,69 |         |        |
| A52 | D1_300_6_H120_B1000 | 19,68 | 337,01 | 106,38 | 411,86 | 106,38 | 411,86 | B.E. | 5,40 | 1,05 | -7,70  | 6000,00 | 313,32 | 19,15 | 21,11 | 19,51 | 1309,19 | 43,39  |
| A53 | D2_300_6_H120_B1000 | 19,57 | 355,57 | 92,85  | 514,48 | 92,85  | 514,48 | B.E. | 4,74 | 1,00 | -7,74  | 6000,00 | 313,32 | 19,15 | 21,24 | 24,23 | 663,86  | 79,11  |
| A54 | T1_300_6_H120_B1000 | 18,86 | 353,41 | 107,24 | 428,74 | 107,24 | 428,74 | B.E. | 5,69 | 1,03 | -8,75  | 6000,00 | 313,32 | 19,15 | 21,11 | 20,31 | 1296,10 | 49,26  |
| A55 | T2_300_6_H120_B1000 | 18,80 | 377,81 | 95,22  | 549,38 | 95,22  | 549,38 | B.E. | 5,06 | 0,97 | -8,70  | 6000,00 | 313,32 | 19,15 | 21,24 | 25,87 | 649,48  | 91,26  |
| A56 | K_300_6_H120_B1500  | 15,95 | 218,42 |        |        | 107,37 | 301,96 | N.D. | 6,73 | 1,46 |        | 6000,00 | 313,32 | 19,15 | 29,89 | 10,10 |         |        |
| A57 | D1_300_6_H120_B1500 | 19,08 | 352,83 | 83,68  | 418,93 | 83,68  | 418,93 | B.E. | 4,38 | 1,38 | -7,32  | 6000,00 | 313,32 | 19,15 | 30,02 | 13,96 | 1295,32 | 38,73  |
| A58 | D2_300_6_H120_B1500 | 19,03 | 371,15 | 65,63  | 485,68 | 65,63  | 485,68 | B.E. | 3,45 | 1,32 | -7,26  | 6000,00 | 313,32 | 19,15 | 30,15 | 16,11 | 650,93  | 60,84  |
| A59 | T1_300_6_H120_B1500 | 18,21 | 370,10 | 85,54  | 436,50 | 85,54  | 436,50 | B.E. | 4,70 | 1,36 | -8,40  | 6000,00 | 313,32 | 19,15 | 30,02 | 14,54 | 1301,75 | 44,56  |

|     |                     |       |        |        |        |        |        |      |      |      |        |          |        |       |       |       |         |        |
|-----|---------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|------|------|------|--------|----------|--------|-------|-------|-------|---------|--------|
| A60 | T2_300_6_H120_B1500 | 18,33 | 392,97 | 102,74 | 561,75 | 102,74 | 561,75 | B.E. | 5,60 | 1,27 | -8,12  | 6000,00  | 313,32 | 19,15 | 30,15 | 18,63 | 635,21  | 86,03  |
| A61 | K_300_8_H80_B1000   | 33,83 | 142,89 | 130,71 | 171,30 | 130,71 | 171,30 | B.E. | 3,86 | 3,08 |        | 8000,00  | 308,88 | 25,90 | 19,82 | 8,64  |         |        |
| A62 | D1_300_8_H80_B1000  | 37,22 | 228,88 | 141,33 | 261,49 | 141,33 | 261,49 | B.E. | 3,80 | 2,93 | -15,47 | 8000,00  | 308,88 | 25,90 | 19,99 | 13,08 | 1309,44 | 52,64  |
| A63 | D2_300_8_H80_B1000  | 37,39 | 240,72 | 123,56 | 316,15 | 123,56 | 316,15 | B.E. | 3,30 | 2,80 | -15,03 | 8000,00  | 308,88 | 25,90 | 20,16 | 15,68 | 644,50  | 84,55  |
| A64 | T1_300_8_H80_B1000  | 37,27 | 244,63 | 138,98 | 273,03 | 138,98 | 273,03 | B.E. | 3,73 | 2,86 | -17,65 | 8000,00  | 308,88 | 25,90 | 19,99 | 13,66 | 1295,29 | 59,38  |
| A65 | T2_300_8_H80_B1000  | 37,24 | 263,34 | 133,38 | 357,70 | 133,38 | 357,70 | B.E. | 3,58 | 2,68 | -17,48 | 8000,00  | 308,88 | 25,90 | 20,16 | 17,74 | 650,07  | 108,81 |
| A66 | K_300_8_H80_B1500   | 31,75 | 149,33 |        |        | 141,42 | 184,06 | N.D. | 4,45 | 4,04 |        | 8000,00  | 308,88 | 25,90 | 27,94 | 6,59  |         |        |
| A67 | D1_300_8_H80_B1500  | 35,02 | 237,70 | 138,22 | 272,84 | 138,22 | 272,84 | B.E. | 3,95 | 3,82 | -14,94 | 8000,00  | 308,88 | 25,90 | 28,11 | 9,71  | 1296,33 | 48,24  |
| A68 | D2_300_8_H80_B1500  | 34,96 | 251,10 | 114,60 | 322,08 | 114,60 | 322,08 | B.E. | 3,28 | 3,63 | -14,77 | 8000,00  | 308,88 | 25,90 | 28,28 | 11,39 | 651,92  | 74,99  |
| A69 | T1_300_8_H80_B1500  | 34,95 | 254,35 | 132,92 | 283,73 | 132,92 | 283,73 | B.E. | 3,80 | 3,73 | -17,20 | 8000,00  | 308,88 | 25,90 | 28,11 | 10,09 | 1300,86 | 54,15  |
| A70 | T2_300_8_H80_B1500  | 34,84 | 273,93 | 112,46 | 353,36 | 112,46 | 353,36 | B.E. | 3,23 | 3,48 | -17,05 | 8000,00  | 308,88 | 25,90 | 28,28 | 12,49 | 654,59  | 91,99  |
| A71 | K_300_8_H100_B1000  | 29,94 | 146,50 |        |        | 144,51 | 189,62 | N.D. | 4,83 | 3,26 |        | 8000,00  | 311,10 | 25,71 | 23,68 | 8,01  |         |        |
| A72 | D1_300_8_H100_B1000 | 33,60 | 237,33 |        |        | 144,05 | 281,23 | N.D. | 4,29 | 3,09 | -14,47 | 8000,00  | 311,10 | 25,71 | 23,86 | 11,79 | 1303,51 | 48,31  |
| A73 | D2_300_8_H100_B1000 | 33,48 | 250,63 |        |        | 141,94 | 351,95 | N.D. | 4,24 | 2,95 | -14,41 | 8000,00  | 311,10 | 25,71 | 24,03 | 14,65 | 658,60  | 85,60  |
| A74 | T1_300_8_H100_B1000 | 33,67 | 253,22 |        |        | 143,31 | 292,63 | N.D. | 4,26 | 3,03 | -16,52 | 8000,00  | 311,10 | 25,71 | 23,86 | 12,27 | 1299,46 | 54,32  |
| A75 | T2_300_8_H100_B1000 | 33,93 | 270,41 |        |        | 141,98 | 378,99 | N.D. | 4,18 | 2,83 | -15,90 | 8000,00  | 311,10 | 25,71 | 24,03 | 15,77 | 633,96  | 99,86  |
| A76 | K_300_8_H100_B1500  | 29,38 | 157,15 |        |        | 144,08 | 204,53 | N.D. | 4,90 | 4,31 |        | 8000,00  | 311,10 | 25,71 | 33,74 | 6,06  |         |        |
| A77 | D1_300_8_H100_B1500 | 33,05 | 251,02 |        |        | 143,52 | 298,70 | N.D. | 4,34 | 4,07 | -13,99 | 8000,00  | 311,10 | 25,71 | 33,91 | 8,81  | 1302,65 | 46,04  |
| A78 | D2_300_8_H100_B1500 | 32,94 | 264,96 |        |        | 141,54 | 369,78 | N.D. | 4,30 | 3,87 | -13,85 | 8000,00  | 311,10 | 25,71 | 34,08 | 10,85 | 657,76  | 80,79  |
| A79 | T1_300_8_H100_B1500 | 31,54 | 263,99 |        |        | 142,74 | 309,69 | N.D. | 4,53 | 3,98 | -16,00 | 8000,00  | 311,10 | 25,71 | 33,91 | 9,13  | 1306,37 | 51,42  |
| A80 | T2_300_8_H100_B1500 | 32,94 | 287,74 |        |        | 141,79 | 399,76 | N.D. | 4,30 | 3,72 | -15,90 | 8000,00  | 311,10 | 25,71 | 34,08 | 11,73 | 659,64  | 95,45  |
| A81 | K_300_8_H120_B1000  | 28,65 | 158,32 |        |        | 144,57 | 212,99 | N.D. | 5,05 | 3,37 |        | 8000,00  | 313,32 | 25,53 | 27,55 | 7,73  |         |        |
| A82 | D1_300_8_H120_B1000 | 32,87 | 254,64 |        |        | 144,06 | 308,67 | N.D. | 4,38 | 3,20 | -13,47 | 8000,00  | 313,32 | 25,53 | 27,72 | 11,13 | 1297,58 | 44,92  |
| A83 | D2_300_8_H120_B1000 | 32,79 | 268,40 |        |        | 142,40 | 383,62 | N.D. | 4,34 | 3,05 | -13,35 | 8000,00  | 313,32 | 25,53 | 27,90 | 13,75 | 653,10  | 80,11  |
| A84 | T1_300_8_H120_B1000 | 31,42 | 267,55 |        |        | 143,49 | 320,26 | N.D. | 4,57 | 3,13 | -15,41 | 8000,00  | 313,32 | 25,53 | 27,72 | 11,55 | 1303,83 | 50,36  |
| A85 | T2_300_8_H120_B1000 | 31,62 | 284,88 |        |        | 142,72 | 410,82 | N.D. | 4,51 | 2,93 | -14,87 | 8000,00  | 313,32 | 25,53 | 27,90 | 14,73 | 637,87  | 92,88  |
| A86 | K_300_8_H120_B1500  | 29,56 | 174,86 |        |        | 144,38 | 230,82 | N.D. | 4,89 | 4,46 |        | 8000,00  | 313,32 | 25,53 | 39,53 | 5,84  |         |        |
| A87 | D1_300_8_H120_B1500 | 30,84 | 267,72 |        |        | 143,78 | 329,90 | N.D. | 4,66 | 4,21 | -13,02 | 8000,00  | 313,32 | 25,53 | 39,71 | 8,31  | 1308,85 | 42,93  |
| A88 | D2_300_8_H120_B1500 | 30,70 | 281,75 |        |        | 141,61 | 407,06 | N.D. | 4,61 | 4,01 | -12,92 | 8000,00  | 313,32 | 25,53 | 39,88 | 10,21 | 663,54  | 76,36  |
| A89 | T1_300_8_H120_B1500 | 29,54 | 279,65 |        |        | 143,10 | 341,21 | N.D. | 4,84 | 4,13 | -14,68 | 8000,00  | 313,32 | 25,53 | 39,71 | 8,59  | 1301,41 | 47,83  |
| A90 | T2_300_8_H120_B1500 | 29,40 | 298,35 |        |        | 141,86 | 436,08 | N.D. | 4,83 | 3,86 | -14,54 | 8000,00  | 313,32 | 25,53 | 39,88 | 10,93 | 655,05  | 88,93  |
| A91 | K_300_10_H80_B1000  | 53,66 | 117,66 | 177,35 | 137,82 | 177,35 | 137,82 | B.E. | 3,31 | 7,44 |        | 10000,00 | 308,88 | 32,37 | 24,51 | 5,62  |         |        |
| A92 | D1_300_10_H80_B1000 | 55,66 | 184,12 | 158,91 | 208,52 | 158,91 | 208,52 | B.E. | 2,86 | 7,01 | -23,78 | 10000,00 | 308,88 | 32,37 | 24,72 | 8,43  | 1298,34 | 51,29  |
| A93 | D2_300_10_H80_B1000 | 55,58 | 194,28 |        |        | 175,83 | 252,13 | N.D. | 3,16 | 6,69 | -23,49 | 10000,00 | 308,88 | 32,37 | 24,94 | 10,11 | 653,88  | 82,94  |
| A94 | T1_300_10_H80_B1000 | 55,21 | 196,69 |        |        | 176,04 | 218,24 | N.D. | 3,19 | 6,85 | -27,47 | 10000,00 | 308,88 | 32,37 | 24,72 | 8,83  | 1303,96 | 58,35  |

|      |                      |       |        |        |        |      |      |       |        |          |        |       |       |       |         |        |
|------|----------------------|-------|--------|--------|--------|------|------|-------|--------|----------|--------|-------|-------|-------|---------|--------|
| A95  | T2_300_10_H80_B1000  | 55,57 | 210,14 | 175,01 | 277,45 | N.D. | 3,15 | 6,41  | -26,39 | 10000,00 | 308,88 | 32,37 | 24,94 | 11,12 | 639,26  | 101,31 |
| A96  | K_300_10_H80_B1500   | 48,47 | 123,16 | 177,43 | 148,87 | N.D. | 3,66 | 9,65  |        | 10000,00 | 308,88 | 32,37 | 34,57 | 4,31  |         |        |
| A97  | D1_300_10_H80_B1500  | 51,46 | 192,25 | 177,62 | 220,73 | N.D. | 3,45 | 9,11  | -23,16 | 10000,00 | 308,88 | 32,37 | 34,79 | 6,34  | 1299,72 | 48,27  |
| A98  | D2_300_10_H80_B1500  | 51,38 | 202,64 | 176,01 | 264,29 | N.D. | 3,43 | 8,65  | -22,73 | 10000,00 | 308,88 | 32,37 | 35,00 | 7,55  | 655,10  | 77,53  |
| A99  | T1_300_10_H80_B1500  | 51,05 | 204,71 | 176,17 | 228,96 | N.D. | 3,45 | 8,91  | -26,55 | 10000,00 | 308,88 | 32,37 | 34,79 | 6,58  | 1299,90 | 53,79  |
| A100 | T2_300_10_H80_B1500  | 50,88 | 219,78 | 175,03 | 287,32 | N.D. | 3,44 | 8,29  | -26,13 | 10000,00 | 308,88 | 32,37 | 35,01 | 8,21  | 654,11  | 93,00  |
| A101 | K_300_10_H100_B1000  | 47,36 | 121,92 | 181,30 | 152,21 | N.D. | 3,83 | 7,82  |        | 10000,00 | 311,10 | 32,14 | 29,32 | 5,19  |         |        |
| A102 | D1_300_10_H100_B1000 | 49,24 | 190,88 | 181,44 | 225,87 | N.D. | 3,69 | 7,41  | -22,42 | 10000,00 | 311,10 | 32,14 | 29,53 | 7,65  | 1304,29 | 48,40  |
| A103 | D2_300_10_H100_B1000 | 49,09 | 201,14 | 178,33 | 272,15 | N.D. | 3,63 | 7,06  | -22,18 | 10000,00 | 311,10 | 32,14 | 29,75 | 9,15  | 659,38  | 78,80  |
| A104 | T1_300_10_H100_B1000 | 48,90 | 203,08 | 179,88 | 234,44 | N.D. | 3,68 | 7,25  | -25,71 | 10000,00 | 311,10 | 32,14 | 29,53 | 7,94  | 1307,39 | 54,03  |
| A105 | T2_300_10_H100_B1000 | 48,66 | 217,79 | 178,26 | 299,38 | N.D. | 3,66 | 6,78  | -25,53 | 10000,00 | 311,10 | 32,14 | 29,75 | 10,06 | 661,04  | 96,70  |
| A106 | K_300_10_H100_B1500  | 45,85 | 131,36 | 180,84 | 165,59 | N.D. | 3,94 | 10,30 |        | 10000,00 | 311,10 | 32,14 | 41,78 | 3,96  |         |        |
| A107 | D1_300_10_H100_B1500 | 47,52 | 201,95 | 180,89 | 241,90 | N.D. | 3,81 | 9,72  | -21,50 | 10000,00 | 311,10 | 32,14 | 42,00 | 5,76  | 1297,27 | 46,08  |
| A108 | D2_300_10_H100_B1500 | 47,46 | 212,28 | 178,35 | 289,80 | N.D. | 3,76 | 9,22  | -20,98 | 10000,00 | 311,10 | 32,14 | 42,21 | 6,86  | 652,80  | 75,01  |
| A109 | T1_300_10_H100_B1500 | 47,26 | 214,17 | 179,57 | 250,16 | N.D. | 3,80 | 9,52  | -24,49 | 10000,00 | 311,10 | 32,14 | 42,00 | 5,96  | 1295,98 | 51,07  |
| A110 | T2_300_10_H100_B1500 | 47,08 | 229,00 | 178,54 | 312,79 | N.D. | 3,79 | 8,86  | -24,01 | 10000,00 | 311,10 | 32,14 | 42,22 | 7,41  | 650,46  | 88,89  |
| A111 | K_300_10_H120_B1000  | 44,13 | 130,71 | 181,87 | 171,06 | N.D. | 4,12 | 8,08  |        | 10000,00 | 313,32 | 31,92 | 34,12 | 5,01  |         |        |
| A112 | D1_300_10_H120_B1000 | 46,59 | 203,29 | 181,52 | 248,07 | N.D. | 3,90 | 7,65  | -20,88 | 10000,00 | 313,32 | 31,92 | 34,34 | 7,22  | 1299,42 | 45,02  |
| A113 | D2_300_10_H120_B1000 | 46,51 | 213,64 | 178,93 | 297,33 | N.D. | 3,85 | 7,29  | -20,54 | 10000,00 | 313,32 | 31,92 | 34,56 | 8,60  | 654,86  | 73,81  |
| A114 | T1_300_10_H120_B1000 | 46,43 | 215,58 | 180,30 | 256,49 | N.D. | 3,88 | 7,50  | -23,80 | 10000,00 | 313,32 | 31,92 | 34,34 | 7,47  | 1301,83 | 49,94  |
| A115 | T2_300_10_H120_B1000 | 46,23 | 230,40 | 179,35 | 321,29 | N.D. | 3,88 | 7,01  | -23,53 | 10000,00 | 313,32 | 31,92 | 34,56 | 9,30  | 655,91  | 87,82  |
| A116 | K_300_10_H120_B1500  | 42,76 | 142,26 | 181,77 | 187,27 | N.D. | 4,25 | 10,67 |        | 10000,00 | 313,32 | 31,92 | 48,99 | 3,82  |         |        |
| A117 | D1_300_10_H120_B1500 | 45,04 | 216,89 | 181,48 | 267,23 | N.D. | 4,03 | 10,07 | -20,01 | 10000,00 | 313,32 | 31,92 | 49,21 | 5,43  | 1304,88 | 42,70  |
| A118 | D2_300_10_H120_B1500 | 44,46 | 228,68 | 178,48 | 321,72 | N.D. | 4,01 | 9,57  | -20,20 | 10000,00 | 313,32 | 31,92 | 49,43 | 6,51  | 679,70  | 71,79  |
| A119 | T1_300_10_H120_B1500 | 44,93 | 229,27 | 180,17 | 275,82 | N.D. | 4,01 | 9,88  | -22,67 | 10000,00 | 313,32 | 31,92 | 49,21 | 5,60  | 1302,44 | 47,29  |
| A120 | T2_300_10_H120_B1500 | 44,67 | 244,25 | 178,89 | 343,36 | N.D. | 4,00 | 9,22  | -22,30 | 10000,00 | 313,32 | 31,92 | 49,43 | 6,95  | 656,40  | 83,35  |
| A121 | K_300_12_H80_B1000   | 71,28 | 98,73  | 215,70 | 116,37 | N.D. | 3,03 | 15,17 |        | 12000,00 | 308,88 | 38,85 | 29,20 | 3,99  |         |        |
| A122 | D1_300_12_H80_B1000  | 77,02 | 154,55 | 216,34 | 175,58 | N.D. | 2,81 | 14,38 | -33,98 | 12000,00 | 308,88 | 38,85 | 29,46 | 5,96  | 1300,11 | 50,87  |
| A123 | D2_300_12_H80_B1000  | 76,94 | 162,59 | 213,62 | 203,68 | N.D. | 2,78 | 13,72 | -33,32 | 12000,00 | 308,88 | 38,85 | 29,71 | 6,85  | 655,60  | 75,02  |
| A124 | T1_300_12_H80_B1000  | 76,13 | 164,42 | 213,42 | 181,93 | N.D. | 2,80 | 14,06 | -39,16 | 12000,00 | 308,88 | 38,85 | 29,46 | 6,18  | 1300,93 | 56,33  |
| A125 | T2_300_12_H80_B1000  | 75,94 | 176,15 | 212,18 | 224,13 | N.D. | 2,79 | 13,13 | -38,52 | 12000,00 | 308,88 | 38,85 | 29,72 | 7,54  | 656,09  | 92,60  |
| A126 | K_300_12_H80_B1500   | 68,68 | 106,21 | 215,27 | 125,85 | N.D. | 3,13 | 19,80 |        | 12000,00 | 308,88 | 38,85 | 41,21 | 3,05  |         |        |
| A127 | D1_300_12_H80_B1500  | 73,02 | 163,62 | 215,88 | 186,03 | N.D. | 2,96 | 18,67 | -33,09 | 12000,00 | 308,88 | 38,85 | 41,47 | 4,49  | 1306,27 | 47,82  |
| A128 | D2_300_12_H80_B1500  | 72,87 | 172,02 | 213,62 | 215,88 | N.D. | 2,93 | 17,72 | -32,23 | 12000,00 | 308,88 | 38,85 | 41,73 | 5,17  | 661,24  | 71,53  |
| A129 | T1_300_12_H80_B1500  | 72,15 | 173,49 | 213,46 | 192,30 | N.D. | 2,96 | 18,27 | -37,83 | 12000,00 | 308,88 | 38,85 | 41,47 | 4,64  | 1300,51 | 52,80  |

|      |                      |       |        |        |        |      |      |       |        |          |        |       |       |      |         |       |
|------|----------------------|-------|--------|--------|--------|------|------|-------|--------|----------|--------|-------|-------|------|---------|-------|
| A130 | T2_300_12_H80_B1500  | 71,82 | 185,69 | 212,13 | 233,55 | N.D. | 2,95 | 16,99 | -36,98 | 12000,00 | 308,88 | 38,85 | 41,73 | 5,60 | 654,90  | 85,57 |
| A131 | K_300_12_H100_B1000  | 66,20 | 104,06 | 219,44 | 128,00 | N.D. | 3,31 | 16,07 |        | 12000,00 | 311,10 | 38,57 | 34,95 | 3,66 |         |       |
| A132 | D1_300_12_H100_B1000 | 72,14 | 162,92 | 220,15 | 189,40 | N.D. | 3,05 | 15,21 | -31,77 | 12000,00 | 311,10 | 38,57 | 35,21 | 5,38 | 1297,05 | 47,97 |
| A133 | D2_300_12_H100_B1000 | 72,08 | 171,23 | 215,90 | 220,33 | N.D. | 3,00 | 14,48 | -30,97 | 12000,00 | 311,10 | 38,57 | 35,46 | 6,21 | 652,72  | 72,13 |
| A134 | T1_300_12_H100_B1000 | 71,45 | 172,68 | 217,99 | 196,00 | N.D. | 3,05 | 14,89 | -36,35 | 12000,00 | 311,10 | 38,57 | 35,21 | 5,57 | 1295,43 | 53,12 |
| A135 | T2_300_12_H100_B1000 | 71,25 | 184,69 | 216,32 | 238,01 | N.D. | 3,04 | 13,90 | -35,58 | 12000,00 | 311,10 | 38,57 | 35,47 | 6,71 | 650,27  | 85,94 |
| A136 | K_300_12_H100_B1500  | 64,12 | 113,43 | 218,94 | 140,48 | N.D. | 3,41 | 21,16 |        | 12000,00 | 311,10 | 38,57 | 49,83 | 2,82 |         |       |
| A137 | D1_300_12_H100_B1500 | 66,67 | 171,70 | 219,27 | 203,84 | N.D. | 3,29 | 19,94 | -30,46 | 12000,00 | 311,10 | 38,57 | 50,09 | 4,07 | 1295,47 | 45,10 |
| A138 | D2_300_12_H100_B1500 | 66,68 | 179,61 | 216,00 | 235,98 | N.D. | 3,24 | 18,91 | -29,27 | 12000,00 | 311,10 | 38,57 | 50,35 | 4,69 | 651,18  | 67,98 |
| A139 | T1_300_12_H100_B1500 | 65,77 | 181,58 | 217,49 | 210,44 | N.D. | 3,31 | 19,54 | -34,90 | 12000,00 | 311,10 | 38,57 | 50,09 | 4,20 | 1300,75 | 49,80 |
| A140 | T2_300_12_H100_B1500 | 65,42 | 193,31 | 216,50 | 254,54 | N.D. | 3,31 | 18,18 | -33,97 | 12000,00 | 311,10 | 38,57 | 50,35 | 5,06 | 654,73  | 81,19 |
| A141 | K_300_12_H120_B1000  | 62,62 | 112,54 | 219,82 | 143,56 | N.D. | 3,51 | 16,61 |        | 12000,00 | 313,32 | 38,30 | 40,70 | 3,53 |         |       |
| A142 | D1_300_12_H120_B1000 | 66,71 | 173,22 | 220,08 | 207,85 | N.D. | 3,30 | 15,72 | -29,83 | 12000,00 | 313,32 | 38,30 | 40,96 | 5,07 | 1304,08 | 44,79 |
| A143 | D2_300_12_H120_B1000 | 66,58 | 181,64 | 216,46 | 241,51 | N.D. | 3,25 | 14,96 | -29,13 | 12000,00 | 313,32 | 38,30 | 41,22 | 5,86 | 659,24  | 68,23 |
| A144 | T1_300_12_H120_B1000 | 66,18 | 182,98 | 218,50 | 214,49 | N.D. | 3,30 | 15,41 | -33,92 | 12000,00 | 313,32 | 38,30 | 40,96 | 5,24 | 1301,20 | 49,41 |
| A145 | T2_300_12_H120_B1000 | 65,87 | 195,02 | 217,42 | 259,61 | N.D. | 3,30 | 14,40 | -33,30 | 12000,00 | 313,32 | 38,30 | 41,22 | 6,30 | 655,57  | 80,84 |
| A146 | K_300_12_H120_B1500  | 60,85 | 124,13 | 220,18 | 158,71 | N.D. | 3,62 | 21,94 |        | 12000,00 | 313,32 | 38,30 | 58,45 | 2,72 |         |       |
| A147 | D1_300_12_H120_B1500 | 62,98 | 184,65 | 219,71 | 225,33 | N.D. | 3,49 | 20,69 | -28,35 | 12000,00 | 313,32 | 38,30 | 58,71 | 3,84 | 1304,82 | 41,98 |
| A148 | D2_300_12_H120_B1500 | 61,75 | 191,52 | 216,21 | 260,89 | N.D. | 3,50 | 19,63 | -27,30 | 12000,00 | 313,32 | 38,30 | 58,97 | 4,42 | 659,85  | 64,38 |
| A149 | T1_300_12_H120_B1500 | 61,29 | 193,16 | 218,23 | 232,07 | N.D. | 3,56 | 20,30 | -32,04 | 12000,00 | 313,32 | 38,30 | 58,71 | 3,95 | 1302,14 | 46,22 |
| A150 | T2_300_12_H120_B1500 | 60,96 | 204,45 | 217,06 | 278,97 | N.D. | 3,56 | 18,92 | -31,05 | 12000,00 | 313,32 | 38,30 | 58,97 | 4,73 | 656,12  | 75,77 |

Çizelge A. 2. IPE400 profili kullanılan parametrik modellerin sayısal analiz sonuçları

| NO  | Model               | Çelik Akma |        | Beton Ezilme |         | Nihai Durum |         | Göçme Durumu | Süneklik Katsayısı | $\delta_W$ | $\delta_{PT}$ | Açıklık (L) | Etkin Kesit Yüksekliği (D) (mm) | L/D  | Ağırlık kN | Kapasite / Ağırlık | Halat Başlangıç Gerilmesi (MPa) | Kapasite Kazanımı (%) |
|-----|---------------------|------------|--------|--------------|---------|-------------|---------|--------------|--------------------|------------|---------------|-------------|---------------------------------|------|------------|--------------------|---------------------------------|-----------------------|
|     |                     | mm         | kN     | mm           | kN      | mm          | kN      |              |                    | mm         | mm            |             |                                 |      |            |                    |                                 |                       |
| B1  | K_400_4_H80_B1000   | 7,80       | 519,84 | 35,45        | 628,13  | 35,45       | 628,13  | B.E.         | 4,54               | 0,11       |               | 4000,00     | 408,88                          | 9,78 | 11,49      | 54,65              |                                 |                       |
| B2  | D1_400_4_H80_B1000  | 8,81       | 733,43 | 24,85        | 842,37  | 24,85       | 842,37  | B.E.         | 2,82               | 0,11       | -2,09         | 4000,00     | 408,88                          | 9,78 | 11,58      | 72,74              | 1304,36                         | 34,11                 |
| B3  | D2_400_4_H80_B1000  | 8,79       | 759,51 | 23,10        | 928,29  | 23,10       | 928,29  | B.E.         | 2,63               | 0,10       | -2,11         | 4000,00     | 408,88                          | 9,78 | 11,67      | 79,56              | 659,59                          | 47,79                 |
| B4  | T1_400_4_H80_B1000  | 8,42       | 758,46 | 24,06        | 870,64  | 24,06       | 870,64  | B.E.         | 2,86               | 0,11       | -2,54         | 4000,00     | 408,88                          | 9,78 | 11,58      | 75,17              | 1304,44                         | 38,61                 |
| B5  | T2_400_4_H80_B1000  | 8,37       | 793,47 | 22,79        | 994,96  | 22,79       | 994,96  | B.E.         | 2,72               | 0,10       | -2,59         | 4000,00     | 408,88                          | 9,78 | 11,67      | 85,26              | 660,20                          | 58,40                 |
| B6  | K_400_4_H80_B1500   | 7,11       | 522,26 | 33,42        | 639,32  | 33,42       | 639,32  | B.E.         | 4,70               | 0,14       |               | 4000,00     | 408,88                          | 9,78 | 15,69      | 40,74              |                                 |                       |
| B7  | D1_400_4_H80_B1500  | 8,85       | 759,84 | 24,61        | 854,30  | 24,61       | 854,30  | B.E.         | 2,78               | 0,14       | -2,06         | 4000,00     | 408,88                          | 9,78 | 15,78      | 54,14              | 1305,72                         | 33,63                 |
| B8  | D2_400_4_H80_B1500  | 8,81       | 787,72 | 22,45        | 937,51  | 22,45       | 937,51  | B.E.         | 2,55               | 0,13       | -2,08         | 4000,00     | 408,88                          | 9,78 | 15,87      | 59,08              | 660,86                          | 46,64                 |
| B9  | T1_400_4_H80_B1500  | 8,48       | 785,48 | 23,50        | 881,81  | 23,50       | 881,81  | B.E.         | 2,77               | 0,14       | -2,48         | 4000,00     | 408,88                          | 9,78 | 15,78      | 55,88              | 1299,08                         | 37,93                 |
| B10 | T2_400_4_H80_B1500  | 8,45       | 822,13 | 22,23        | 1000,37 | 22,23       | 1000,37 | B.E.         | 2,63               | 0,13       | -2,50         | 4000,00     | 408,88                          | 9,78 | 15,87      | 63,04              | 651,20                          | 56,47                 |
| B11 | K_400_4_H100_B1000  | 7,15       | 523,94 | 56,88        | 680,98  | 56,88       | 680,98  | B.E.         | 7,96               | 0,12       |               | 4000,00     | 411,10                          | 9,73 | 13,48      | 50,53              |                                 |                       |
| B12 | D1_400_4_H100_B1000 | 8,24       | 749,29 | 37,24        | 894,77  | 37,24       | 894,77  | B.E.         | 4,52               | 0,11       | -2,01         | 4000,00     | 411,10                          | 9,73 | 13,56      | 65,97              | 1305,67                         | 31,39                 |
| B13 | D2_400_4_H100_B1000 | 8,20       | 777,25 | 31,86        | 1007,30 | 31,86       | 1007,30 | B.E.         | 3,89               | 0,11       | -2,02         | 4000,00     | 411,10                          | 9,73 | 13,65      | 73,79              | 660,83                          | 47,92                 |
| B14 | T1_400_4_H100_B1000 | 7,88       | 773,52 | 35,49        | 922,84  | 35,49       | 922,84  | B.E.         | 4,50               | 0,11       | -2,41         | 4000,00     | 411,10                          | 9,73 | 13,56      | 68,03              | 1299,44                         | 35,52                 |
| B15 | T2_400_4_H100_B1000 | 7,84       | 809,14 | 31,80        | 1086,11 | 31,80       | 1086,11 | B.E.         | 4,06               | 0,11       | -2,43         | 4000,00     | 411,10                          | 9,73 | 13,65      | 79,56              | 651,52                          | 59,49                 |
| B16 | K_400_4_H100_B1500  | 6,50       | 533,35 | 53,59        | 776,93  | 53,59       | 776,93  | B.E.         | 8,25               | 0,16       |               | 4000,00     | 411,10                          | 9,73 | 19,96      | 38,92              |                                 |                       |
| B17 | D1_400_4_H100_B1500 | 8,30       | 779,39 | 35,05        | 915,01  | 35,05       | 915,01  | B.E.         | 4,22               | 0,15       | -1,97         | 4000,00     | 411,10                          | 9,73 | 18,75      | 48,80              | 1307,44                         | 17,77                 |
| B18 | D2_400_4_H100_B1500 | 8,26       | 808,83 | 31,15        | 1025,32 | 31,15       | 1025,32 | B.E.         | 3,77               | 0,15       | -1,99         | 4000,00     | 411,10                          | 9,73 | 18,84      | 54,43              | 662,50                          | 31,97                 |
| B19 | T1_400_4_H100_B1500 | 7,96       | 804,87 | 33,01        | 942,28  | 33,01       | 942,28  | B.E.         | 4,15               | 0,15       | -2,36         | 4000,00     | 411,10                          | 9,73 | 18,75      | 50,25              | 1300,79                         | 21,28                 |
| B20 | T2_400_4_H100_B1500 | 7,91       | 842,94 | 29,22        | 1094,97 | 29,22       | 1094,97 | B.E.         | 3,70               | 0,14       | -2,38         | 4000,00     | 411,10                          | 9,73 | 18,84      | 58,12              | 652,84                          | 40,94                 |
| B21 | K_400_4_H120_B1000  | 7,20       | 560,23 | 46,48        | 729,55  | 46,48       | 729,55  | B.E.         | 6,46               | 0,12       |               | 4000,00     | 413,32                          | 9,68 | 15,46      | 47,19              |                                 |                       |
| B22 | D1_400_4_H120_B1000 | 8,36       | 802,17 | 35,88        | 955,39  | 35,88       | 955,39  | B.E.         | 4,29               | 0,12       | -1,92         | 4000,00     | 413,32                          | 9,68 | 15,55      | 61,46              | 1307,13                         | 30,96                 |
| B23 | D2_400_4_H120_B1000 | 8,32       | 833,72 | 33,38        | 1067,50 | 33,38       | 1067,50 | B.E.         | 4,01               | 0,12       | -1,94         | 4000,00     | 413,32                          | 9,68 | 15,63      | 68,29              | 662,22                          | 46,32                 |
| B24 | T1_400_4_H120_B1000 | 8,03       | 827,48 | 34,88        | 984,21  | 34,88       | 984,21  | B.E.         | 4,35               | 0,12       | -2,30         | 4000,00     | 413,32                          | 9,68 | 15,55      | 63,31              | 1300,96                         | 34,91                 |
| B25 | T2_400_4_H120_B1000 | 7,98       | 868,00 | 33,39        | 1149,34 | 33,39       | 1149,34 | B.E.         | 4,18               | 0,11       | -2,32         | 4000,00     | 413,32                          | 9,68 | 15,63      | 73,51              | 653,04                          | 57,54                 |
| B26 | K_400_4_H120_B1500  | 6,51       | 561,98 | 43,62        | 756,14  | 43,62       | 756,14  | B.E.         | 6,70               | 0,16       |               | 4000,00     | 413,32                          | 9,68 | 21,64      | 34,95              |                                 |                       |
| B27 | D1_400_4_H120_B1500 | 7,70       | 812,94 | 33,63        | 981,45  | 33,63       | 981,45  | B.E.         | 4,36               | 0,16       | -1,86         | 4000,00     | 413,32                          | 9,68 | 21,72      | 45,18              | 1298,48                         | 29,80                 |
| B28 | D2_400_4_H120_B1500 | 7,68       | 842,16 | 31,22        | 1088,03 | 31,22       | 1088,03 | B.E.         | 4,07               | 0,15       | -1,87         | 4000,00     | 413,32                          | 9,68 | 21,81      | 49,89              | 653,99                          | 43,89                 |
| B29 | T1_400_4_H120_B1500 | 7,37       | 837,22 | 32,64        | 1009,59 | 32,64       | 1009,59 | B.E.         | 4,43               | 0,16       | -2,23         | 4000,00     | 413,32                          | 9,68 | 21,72      | 46,47              | 1302,66                         | 33,52                 |
| B30 | T2_400_4_H120_B1500 | 7,32       | 874,85 | 29,76        | 1160,55 | 29,76       | 1160,55 | B.E.         | 4,06               | 0,15       | -2,26         | 4000,00     | 413,32                          | 9,68 | 21,81      | 53,21              | 655,68                          | 53,48                 |

|     |                     |       |        |        |        |        |        |      |      |      |       |         |        |       |       |       |         |       |
|-----|---------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|------|------|------|-------|---------|--------|-------|-------|-------|---------|-------|
| B31 | K_400_6_H80_B1000   | 15,36 | 338,33 | 96,08  | 425,72 | 96,08  | 425,72 | B.E. | 6,26 | 0,49 |       | 6000,00 | 408,88 | 14,67 | 16,63 | 25,60 |         |       |
| B32 | D1_400_6_H80_B1000  | 17,99 | 493,28 | 73,15  | 580,03 | 73,15  | 580,03 | B.E. | 4,07 | 0,48 | -4,69 | 6000,00 | 408,88 | 14,67 | 16,76 | 34,61 | 1307,64 | 36,25 |
| B33 | D2_400_6_H80_B1000  | 17,93 | 514,16 | 58,92  | 683,35 | 58,92  | 683,35 | B.E. | 3,29 | 0,46 | -4,73 | 6000,00 | 408,88 | 14,67 | 16,89 | 40,47 | 662,77  | 60,52 |
| B34 | T1_400_6_H80_B1000  | 17,77 | 511,41 | 57,23  | 590,27 | 57,23  | 590,27 | B.E. | 3,22 | 0,47 | -5,40 | 6000,00 | 408,88 | 14,67 | 16,76 | 35,22 | 1298,71 | 38,65 |
| B35 | T2_400_6_H80_B1000  | 17,30 | 538,61 | 57,30  | 727,37 | 57,30  | 727,37 | B.E. | 3,31 | 0,45 | -5,58 | 6000,00 | 408,88 | 14,67 | 16,89 | 43,07 | 672,00  | 70,86 |
| B36 | K_400_6_H80_B1500   | 15,47 | 359,17 | 86,34  | 437,11 | 86,34  | 437,11 | B.E. | 5,58 | 0,63 |       | 6000,00 | 408,88 | 14,67 | 22,77 | 19,19 |         |       |
| B37 | D1_400_6_H80_B1500  | 15,92 | 499,60 | 65,61  | 586,45 | 65,61  | 586,45 | B.E. | 4,12 | 0,61 | -4,58 | 6000,00 | 408,88 | 14,67 | 22,90 | 25,61 | 1299,35 | 34,16 |
| B38 | D2_400_6_H80_B1500  | 15,88 | 519,77 | 53,06  | 675,97 | 53,06  | 675,97 | B.E. | 3,34 | 0,59 | -4,59 | 6000,00 | 408,88 | 14,67 | 23,03 | 29,35 | 654,91  | 54,64 |
| B39 | T1_400_6_H80_B1500  | 15,35 | 516,05 | 65,23  | 605,20 | 65,23  | 605,20 | B.E. | 4,25 | 0,60 | -5,27 | 6000,00 | 408,88 | 14,67 | 22,90 | 26,42 | 1300,51 | 38,45 |
| B40 | T2_400_6_H80_B1500  | 15,31 | 542,64 | 55,40  | 734,53 | 55,40  | 734,53 | B.E. | 3,62 | 0,57 | -5,28 | 6000,00 | 408,88 | 14,67 | 23,03 | 31,89 | 653,44  | 68,04 |
| B41 | K_400_6_H100_B1000  | 14,42 | 348,16 |        |        | 109,34 | 454,54 | N.D. | 7,58 | 0,52 |       | 6000,00 | 411,10 | 14,59 | 19,55 | 23,25 |         |       |
| B42 | D1_400_6_H100_B1000 | 16,08 | 502,43 | 104,54 | 610,73 | 104,54 | 610,73 | B.E. | 6,50 | 0,51 | -4,47 | 6000,00 | 411,10 | 14,59 | 19,68 | 31,03 | 1298,55 | 34,36 |
| B43 | D2_400_6_H100_B1000 | 16,04 | 523,03 | 71,94  | 744,37 | 71,94  | 744,37 | B.E. | 4,49 | 0,49 | -4,47 | 6000,00 | 411,10 | 14,59 | 19,81 | 37,57 | 654,16  | 63,76 |
| B44 | T1_400_6_H100_B1000 | 15,52 | 519,08 | 100,81 | 627,15 | 100,81 | 627,15 | B.E. | 6,50 | 0,50 | -5,14 | 6000,00 | 411,10 | 14,59 | 19,68 | 31,86 | 1300,31 | 37,97 |
| B45 | T2_400_6_H100_B1000 | 15,47 | 546,07 | 78,40  | 801,17 | 78,40  | 801,17 | B.E. | 5,07 | 0,48 | -5,15 | 6000,00 | 411,10 | 14,59 | 19,81 | 40,44 | 653,25  | 76,26 |
| B46 | K_400_6_H100_B1500  | 14,56 | 370,32 |        |        | 109,06 | 479,02 | N.D. | 7,49 | 0,68 |       | 6000,00 | 411,10 | 14,59 | 27,16 | 17,64 |         |       |
| B47 | D1_400_6_H100_B1500 | 16,21 | 520,18 | 104,89 | 631,70 | 104,89 | 631,70 | B.E. | 6,47 | 0,67 | -4,39 | 6000,00 | 411,10 | 14,59 | 27,29 | 23,15 | 1298,19 | 31,87 |
| B48 | D2_400_6_H100_B1500 | 16,19 | 537,79 | 78,67  | 761,36 | 78,67  | 761,36 | B.E. | 4,86 | 0,66 | -4,38 | 6000,00 | 411,10 | 14,59 | 27,42 | 27,77 | 651,96  | 58,94 |
| B49 | T1_400_6_H100_B1500 | 15,75 | 551,35 | 90,41  | 648,92 | 90,41  | 648,92 | B.E. | 5,74 | 0,65 | -5,01 | 6000,00 | 411,10 | 14,59 | 27,29 | 23,78 | 1302,48 | 35,47 |
| B50 | T2_400_6_H100_B1500 | 15,69 | 582,56 | 80,29  | 821,57 | 80,29  | 821,57 | B.E. | 5,12 | 0,62 | -5,03 | 6000,00 | 411,10 | 14,59 | 27,42 | 29,97 | 655,26  | 71,51 |
| B51 | K_400_6_H120_B1000  | 13,34 | 353,30 |        |        | 108,68 | 493,85 | N.D. | 8,14 | 0,56 |       | 6000,00 | 413,32 | 14,52 | 22,48 | 21,97 |         |       |
| B52 | D1_400_6_H120_B1000 | 15,16 | 525,98 | 104,73 | 652,95 | 104,73 | 652,95 | B.E. | 6,91 | 0,53 | -4,28 | 6000,00 | 413,32 | 14,52 | 22,61 | 28,88 | 1300,39 | 32,22 |
| B53 | D2_400_6_H120_B1000 | 15,12 | 547,47 | 81,17  | 798,50 | 81,17  | 798,50 | B.E. | 5,37 | 0,52 | -4,29 | 6000,00 | 413,32 | 14,52 | 22,73 | 35,12 | 655,91  | 61,69 |
| B54 | T1_400_6_H120_B1000 | 14,64 | 542,13 | 100,89 | 670,14 | 100,89 | 670,14 | B.E. | 6,89 | 0,53 | -4,89 | 6000,00 | 413,32 | 14,52 | 22,61 | 29,64 | 1301,94 | 35,70 |
| B55 | T2_400_6_H120_B1000 | 14,59 | 569,91 | 85,61  | 842,10 | 85,61  | 842,10 | B.E. | 5,87 | 0,50 | -4,91 | 6000,00 | 413,32 | 14,52 | 22,74 | 37,04 | 654,76  | 70,52 |
| B56 | K_400_6_H120_B1500  | 13,54 | 387,12 |        |        | 108,65 | 526,89 | N.D. | 8,03 | 0,72 |       | 6000,00 | 413,32 | 14,52 | 31,54 | 16,71 |         |       |
| B57 | D1_400_6_H120_B1500 | 14,26 | 545,69 | 101,66 | 686,49 | 101,66 | 686,49 | B.E. | 7,13 | 0,69 | -4,18 | 6000,00 | 413,32 | 14,52 | 31,67 | 21,68 | 1304,17 | 30,29 |
| B58 | D2_400_6_H120_B1500 | 14,21 | 568,31 | 72,59  | 825,94 | 72,59  | 825,94 | B.E. | 5,11 | 0,67 | -4,19 | 6000,00 | 413,32 | 14,52 | 31,80 | 25,97 | 659,47  | 56,76 |
| B59 | T1_400_6_H120_B1500 | 13,77 | 561,30 | 91,35  | 700,20 | 91,35  | 700,20 | B.E. | 6,64 | 0,69 | -4,75 | 6000,00 | 413,32 | 14,52 | 31,80 | 22,02 | 1304,58 | 32,89 |
| B60 | T2_400_6_H120_B1500 | 13,70 | 590,13 | 83,69  | 876,91 | 83,69  | 876,91 | B.E. | 6,11 | 0,66 | -4,78 | 6000,00 | 413,32 | 14,52 | 31,80 | 27,57 | 657,19  | 66,43 |
| B61 | K_400_8_H80_B1000   | 26,93 | 259,15 | 135,26 | 315,74 | 135,26 | 315,74 | B.E. | 5,02 | 1,48 |       | 8000,00 | 408,88 | 19,57 | 21,76 | 14,51 |         |       |
| B62 | D1_400_8_H80_B1000  | 29,11 | 367,23 | 110,87 | 434,52 | 110,87 | 434,52 | B.E. | 3,81 | 1,43 | -8,28 | 8000,00 | 408,88 | 19,57 | 21,93 | 19,81 | 1301,47 | 37,62 |
| B63 | D2_400_8_H80_B1000  | 29,04 | 382,20 | 96,97  | 509,86 | 96,97  | 509,86 | B.E. | 3,34 | 1,39 | -8,29 | 8000,00 | 408,88 | 19,57 | 22,11 | 23,06 | 656,97  | 61,48 |
| B64 | T1_400_8_H80_B1000  | 28,22 | 380,21 | 107,30 | 447,49 | 107,30 | 447,49 | B.E. | 3,80 | 1,41 | -9,42 | 8000,00 | 408,88 | 19,57 | 21,93 | 20,40 | 1304,93 | 41,73 |
| B65 | T2_400_8_H80_B1000  | 28,15 | 400,04 | 101,09 | 556,56 | 101,09 | 556,56 | B.E. | 3,59 | 1,36 | -9,45 | 8000,00 | 408,88 | 19,57 | 22,11 | 25,17 | 658,44  | 76,27 |

|      |                     |       |        |        |        |        |        |      |      |       |        |          |        |       |       |       |         |       |
|------|---------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|------|------|-------|--------|----------|--------|-------|-------|-------|---------|-------|
| B66  | K_400_8_H80_B1500   | 24,40 | 264,20 | 131,05 | 329,27 | 131,05 | 329,27 | B.E. | 5,37 | 1,88  |        | 8000,00  | 408,88 | 19,57 | 29,85 | 11,03 |         |       |
| B67  | D1_400_8_H80_B1500  | 26,45 | 379,29 | 111,14 | 444,66 | 111,14 | 444,66 | B.E. | 4,20 | 30,02 | -36,36 | 8000,00  | 408,88 | 19,57 | 30,02 | 14,81 | 1305,69 | 35,04 |
| B68  | D2_400_8_H80_B1500  | 26,37 | 395,30 | 89,55  | 517,04 | 89,55  | 517,04 | B.E. | 3,40 | 1,75  | -8,16  | 8000,00  | 408,88 | 19,57 | 30,20 | 17,12 | 660,94  | 57,03 |
| B69  | T1_400_8_H80_B1500  | 25,61 | 391,62 | 106,05 | 457,37 | 106,05 | 457,37 | B.E. | 4,14 | 1,79  | -9,20  | 8000,00  | 408,88 | 19,57 | 30,02 | 15,23 | 1307,61 | 38,91 |
| B70  | T2_400_8_H80_B1500  | 25,51 | 412,41 | 94,76  | 564,94 | 94,76  | 564,94 | B.E. | 3,71 | 1,71  | -9,24  | 8000,00  | 408,88 | 19,57 | 30,20 | 18,71 | 660,92  | 71,57 |
| B71  | K_400_8_H100_B1000  | 24,29 | 262,67 |        |        | 145,85 | 337,16 | N.D. | 6,00 | 1,58  |        | 8000,00  | 411,10 | 19,46 | 25,63 | 13,16 |         |       |
| B72  | D1_400_8_H100_B1000 | 27,60 | 360,42 | 110,87 | 434,52 | 110,87 | 456,25 | B.E. | 4,02 | 1,43  | -8,28  | 8000,00  | 411,10 | 19,46 | 21,93 | 20,80 | 1301,47 | 35,32 |
| B73  | D2_400_8_H100_B1000 | 27,56 | 373,89 | 96,97  | 509,86 | 96,97  | 509,86 | B.E. | 3,52 | 1,39  | -8,29  | 8000,00  | 411,10 | 19,46 | 22,11 | 23,06 | 656,97  | 51,22 |
| B74  | T1_400_8_H100_B1000 | 27,30 | 397,87 |        |        | 144,90 | 468,42 | N.D. | 5,31 | 1,51  | -8,98  | 8000,00  | 411,10 | 19,46 | 25,80 | 18,16 | 1306,76 | 38,93 |
| B75  | T2_400_8_H100_B1000 | 27,19 | 419,94 | 130,48 | 598,27 | 130,48 | 598,27 | B.E. | 4,80 | 1,45  | -9,02  | 8000,00  | 411,10 | 19,46 | 25,97 | 23,03 | 660,14  | 77,44 |
| B76  | K_400_8_H100_B1500  | 23,24 | 275,29 |        |        | 145,38 | 357,68 | N.D. | 6,26 | 2,03  |        | 8000,00  | 411,10 | 19,46 | 35,65 | 10,03 |         |       |
| B77  | D1_400_8_H100_B1500 | 24,06 | 388,56 |        |        | 144,90 | 479,71 | N.D. | 6,02 | 1,96  | -7,72  | 8000,00  | 411,10 | 19,46 | 35,82 | 13,39 | 1298,12 | 34,12 |
| B78  | D2_400_8_H100_B1500 | 24,02 | 404,41 | 123,27 | 587,86 | 123,27 | 587,86 | B.E. | 5,13 | 1,89  | -7,68  | 8000,00  | 411,10 | 19,46 | 35,99 | 16,33 | 653,75  | 64,35 |
| B79  | T1_400_8_H100_B1500 | 23,28 | 399,53 |        |        | 144,43 | 492,47 | N.D. | 6,20 | 1,93  | -8,68  | 8000,00  | 411,10 | 19,46 | 35,82 | 13,75 | 1299,25 | 37,68 |
| B80  | T2_400_8_H100_B1500 | 23,21 | 419,70 | 136,84 | 623,87 | 136,84 | 623,87 | B.E. | 5,89 | 1,85  | -8,66  | 8000,00  | 411,10 | 19,46 | 35,99 | 17,33 | 653,02  | 74,42 |
| B81  | K_400_8_H120_B1000  | 22,94 | 275,47 |        |        | 145,85 | 369,24 | N.D. | 6,36 | 1,66  |        | 8000,00  | 413,32 | 19,36 | 29,49 | 12,52 |         |       |
| B82  | D1_400_8_H120_B1000 | 23,96 | 388,88 |        |        | 145,58 | 489,59 | N.D. | 6,08 | 1,60  | -7,54  | 8000,00  | 413,32 | 19,36 | 29,67 | 16,50 | 1295,38 | 32,59 |
| B83  | D2_400_8_H120_B1000 | 23,94 | 403,79 | 126,73 | 600,02 | 126,73 | 600,02 | B.E. | 5,29 | 1,55  | -7,50  | 8000,00  | 413,32 | 19,36 | 29,84 | 20,11 | 651,19  | 62,50 |
| B84  | T1_400_8_H120_B1000 | 24,29 | 407,65 | 155,75 | 504,02 | 155,75 | 504,02 | B.E. | 6,41 | 1,58  | -8,48  | 8000,00  | 413,32 | 19,36 | 29,67 | 16,99 | 1297,84 | 36,50 |
| B85  | T2_400_8_H120_B1000 | 24,23 | 428,35 | 139,46 | 634,49 | 139,46 | 634,49 | B.E. | 5,76 | 1,51  | -8,47  | 8000,00  | 413,32 | 19,36 | 29,84 | 21,26 | 651,70  | 71,83 |
| B86  | K_400_8_H120_B1500  | 21,94 | 289,65 |        |        | 145,40 | 394,45 | N.D. | 6,63 | 2,15  |        | 8000,00  | 413,32 | 19,36 | 41,44 | 9,52  |         |       |
| B87  | D1_400_8_H120_B1500 | 22,98 | 409,33 |        |        | 144,75 | 519,74 | N.D. | 6,30 | 2,07  | -7,36  | 8000,00  | 413,32 | 19,36 | 41,62 | 12,49 | 1301,36 | 31,76 |
| B88  | D2_400_8_H120_B1500 | 22,93 | 425,97 | 129,57 | 631,83 | 129,57 | 631,83 | B.E. | 5,65 | 2,00  | -7,33  | 8000,00  | 413,32 | 19,36 | 41,79 | 15,12 | 656,82  | 60,18 |
| B89  | T1_400_8_H120_B1500 | 22,25 | 420,27 |        |        | 144,45 | 532,88 | N.D. | 6,49 | 2,05  | -8,24  | 8000,00  | 413,32 | 19,36 | 41,62 | 12,80 | 1301,77 | 35,10 |
| B90  | T2_400_8_H120_B1500 | 22,17 | 441,13 | 138,28 | 667,47 | 138,28 | 667,47 | B.E. | 6,24 | 1,95  | -8,23  | 8000,00  | 413,32 | 19,36 | 41,79 | 15,97 | 655,33  | 69,22 |
| B91  | K_400_10_H80_B1000  | 40,35 | 208,16 |        |        | 178,80 | 252,06 | N.D. | 4,43 | 3,53  |        | 10000,00 | 408,88 | 24,46 | 26,89 | 9,37  |         |       |
| B92  | D1_400_10_H80_B1000 | 43,35 | 293,77 | 176,04 | 347,89 | 176,04 | 347,89 | B.E. | 4,06 | 3,42  | -12,83 | 10000,00 | 408,88 | 24,46 | 27,11 | 12,83 | 1296,66 | 38,02 |
| B93  | D2_400_10_H80_B1000 | 43,31 | 305,27 | 146,78 | 407,12 | 146,78 | 407,12 | B.E. | 3,39 | 3,32  | -12,75 | 10000,00 | 408,88 | 24,46 | 27,33 | 14,90 | 652,46  | 61,52 |
| B94  | T1_400_10_H80_B1000 | 42,11 | 303,66 | 170,58 | 358,71 | 170,58 | 358,71 | B.E. | 4,05 | 3,37  | -14,49 | 10000,00 | 408,88 | 24,46 | 27,11 | 13,23 | 1299,23 | 42,31 |
| B95  | T2_400_10_H80_B1000 | 42,05 | 318,73 | 154,14 | 444,29 | 154,14 | 444,29 | B.E. | 3,67 | 3,23  | -14,44 | 10000,00 | 408,88 | 24,46 | 27,33 | 16,26 | 653,60  | 76,26 |
| B96  | K_400_10_H80_B1500  | 37,55 | 216,11 |        |        | 178,72 | 264,23 | N.D. | 4,76 | 4,46  |        | 10000,00 | 408,88 | 24,46 | 36,93 | 7,15  |         |       |
| B97  | D1_400_10_H80_B1500 | 40,31 | 307,72 |        |        | 178,91 | 359,41 | N.D. | 4,44 | 4,30  | -12,62 | 10000,00 | 408,88 | 24,46 | 37,15 | 9,68  | 1303,02 | 36,02 |
| B98  | D2_400_10_H80_B1500 | 40,22 | 320,58 | 159,69 | 431,30 | 159,69 | 431,30 | B.E. | 3,97 | 4,15  | -12,54 | 10000,00 | 408,88 | 24,46 | 37,36 | 11,54 | 658,44  | 63,23 |
| B99  | T1_400_10_H80_B1500 | 39,13 | 317,62 |        |        | 177,81 | 368,78 | N.D. | 4,54 | 4,24  | -14,15 | 10000,00 | 408,88 | 24,46 | 37,15 | 9,93  | 1303,18 | 39,57 |
| B100 | T2_400_10_H80_B1500 | 39,01 | 334,37 | 158,85 | 464,15 | 158,85 | 464,15 | B.E. | 4,07 | 4,05  | -14,11 | 10000,00 | 408,88 | 24,46 | 37,36 | 12,42 | 657,24  | 75,66 |

|      |                      |       |        |        |        |      |      |      |        |          |        |       |       |       |         |       |
|------|----------------------|-------|--------|--------|--------|------|------|------|--------|----------|--------|-------|-------|-------|---------|-------|
| B101 | K_400_10_H100_B1000  | 37,22 | 213,55 | 183,13 | 268,87 | N.D. | 4,92 | 3,77 |        | 10000,00 | 411,10 | 24,32 | 31,70 | 8,48  |         |       |
| B102 | D1_400_10_H100_B1000 | 40,31 | 304,90 | 183,04 | 364,61 | N.D. | 4,54 | 3,64 | -12,30 | 10000,00 | 411,10 | 24,32 | 31,92 | 11,42 | 1299,84 | 35,61 |
| B103 | D2_400_10_H100_B1000 | 40,24 | 317,30 | 178,61 | 447,56 | N.D. | 4,44 | 3,53 | -12,24 | 10000,00 | 411,10 | 24,32 | 32,13 | 13,93 | 655,45  | 66,46 |
| B104 | T1_400_10_H100_B1000 | 39,14 | 314,53 | 181,82 | 374,14 | N.D. | 4,65 | 3,59 | -13,82 | 10000,00 | 411,10 | 24,32 | 31,92 | 11,72 | 1301,52 | 39,15 |
| B105 | T2_400_10_H100_B1000 | 39,03 | 330,69 | 179,69 | 477,69 | N.D. | 4,60 | 3,44 | -13,78 | 10000,00 | 411,10 | 24,32 | 32,14 | 14,86 | 655,72  | 77,67 |
| B106 | K_400_10_H100_B1500  | 36,28 | 227,08 | 182,46 | 286,49 | N.D. | 5,03 | 4,83 |        | 10000,00 | 411,10 | 24,32 | 44,14 | 6,49  |         |       |
| B107 | D1_400_10_H100_B1500 | 37,51 | 318,49 | 182,47 | 384,56 | N.D. | 4,86 | 4,65 | -11,96 | 10000,00 | 411,10 | 24,32 | 44,36 | 8,67  | 1296,63 | 34,23 |
| B108 | D2_400_10_H100_B1500 | 37,46 | 331,53 | 178,92 | 472,21 | N.D. | 4,78 | 4,48 | -11,81 | 10000,00 | 411,10 | 24,32 | 44,57 | 10,59 | 652,36  | 64,83 |
| B109 | T1_400_10_H100_B1500 | 36,40 | 327,85 | 181,45 | 393,78 | N.D. | 4,98 | 4,59 | -13,35 | 10000,00 | 411,10 | 24,32 | 44,36 | 8,88  | 1295,48 | 37,45 |
| B110 | T2_400_10_H100_B1500 | 36,31 | 344,72 | 180,16 | 501,51 | N.D. | 4,96 | 4,38 | -13,22 | 10000,00 | 411,10 | 24,32 | 44,57 | 11,25 | 649,91  | 75,05 |
| B111 | K_400_10_H120_B1000  | 35,56 | 225,62 | 182,94 | 293,42 | N.D. | 5,14 | 3,95 |        | 10000,00 | 413,32 | 24,19 | 36,51 | 8,04  |         |       |
| B112 | D1_400_10_H120_B1000 | 37,14 | 316,87 | 183,17 | 392,31 | N.D. | 4,93 | 3,81 | -11,68 | 10000,00 | 413,32 | 24,19 | 36,73 | 10,68 | 1292,08 | 33,70 |
| B113 | D2_400_10_H120_B1000 | 37,12 | 329,17 | 179,64 | 478,76 | N.D. | 4,84 | 3,69 | -11,53 | 10000,00 | 413,32 | 24,19 | 36,94 | 12,96 | 648,09  | 63,17 |
| B114 | T1_400_10_H120_B1000 | 36,04 | 325,74 | 182,35 | 401,74 | N.D. | 5,06 | 3,76 | -13,05 | 10000,00 | 413,32 | 24,19 | 36,73 | 10,94 | 1292,98 | 36,92 |
| B115 | T2_400_10_H120_B1000 | 37,97 | 349,13 | 180,95 | 507,85 | N.D. | 4,77 | 3,60 | -12,94 | 10000,00 | 413,32 | 24,19 | 36,94 | 13,75 | 647,60  | 73,08 |
| B116 | K_400_10_H120_B1500  | 34,69 | 241,17 | 219,73 | 321,35 | N.D. | 6,33 | 5,11 |        | 10000,00 | 413,32 | 24,19 | 51,35 | 6,26  |         |       |
| B117 | D1_400_10_H120_B1500 | 34,42 | 331,31 | 182,46 | 416,95 | N.D. | 5,30 | 4,91 | -11,41 | 10000,00 | 413,32 | 24,19 | 51,56 | 8,09  | 1300,90 | 29,75 |
| B118 | D2_400_10_H120_B1500 | 34,36 | 344,27 | 179,48 | 509,57 | N.D. | 5,22 | 4,74 | -11,27 | 10000,00 | 413,32 | 24,19 | 51,78 | 9,84  | 656,40  | 58,57 |
| B119 | T1_400_10_H120_B1500 | 33,38 | 339,67 | 181,67 | 426,35 | N.D. | 5,44 | 4,86 | -12,67 | 10000,00 | 413,32 | 24,19 | 51,57 | 8,27  | 1298,60 | 32,67 |
| B120 | T2_400_10_H120_B1500 | 33,28 | 355,80 | 180,75 | 537,27 | N.D. | 5,43 | 4,64 | -12,57 | 10000,00 | 413,32 | 24,19 | 51,78 | 10,38 | 652,78  | 67,19 |
| B121 | K_400_12_H80_B1000   | 57,31 | 176,03 | 216,89 | 210,79 | N.D. | 3,78 | 7,22 |        | 12000,00 | 408,88 | 29,35 | 32,03 | 6,58  |         |       |
| B122 | D1_400_12_H80_B1000  | 61,37 | 247,34 | 216,41 | 289,70 | N.D. | 3,53 | 6,99 | -18,47 | 12000,00 | 408,88 | 29,35 | 32,29 | 8,97  | 1304,07 | 37,44 |
| B123 | D2_400_12_H80_B1000  | 61,27 | 256,99 | 213,08 | 341,63 | N.D. | 3,48 | 6,78 | -18,37 | 12000,00 | 408,88 | 29,35 | 32,55 | 10,50 | 659,50  | 62,07 |
| B124 | T1_400_12_H80_B1000  | 59,69 | 255,54 | 214,31 | 299,00 | N.D. | 3,59 | 6,90 | -20,81 | 12000,00 | 408,88 | 29,35 | 32,29 | 9,26  | 1304,79 | 41,85 |
| B125 | T2_400_12_H80_B1000  | 59,76 | 267,57 | 213,22 | 364,74 | N.D. | 3,57 | 6,61 | -20,43 | 12000,00 | 408,88 | 29,35 | 32,55 | 11,21 | 649,25  | 73,04 |
| B126 | K_400_12_H80_B1500   | 54,58 | 185,83 | 216,63 | 222,19 | N.D. | 3,97 | 9,11 |        | 12000,00 | 408,88 | 29,35 | 44,01 | 5,05  |         |       |
| B127 | D1_400_12_H80_B1500  | 56,02 | 258,52 | 217,34 | 301,68 | N.D. | 3,88 | 8,77 | -18,02 | 12000,00 | 408,88 | 29,35 | 44,27 | 6,81  | 1302,20 | 35,77 |
| B128 | D2_400_12_H80_B1500  | 55,93 | 268,77 | 213,51 | 358,19 | N.D. | 3,82 | 8,47 | -17,78 | 12000,00 | 408,88 | 29,35 | 44,53 | 8,04  | 657,68  | 61,20 |
| B129 | T1_400_12_H80_B1500  | 56,72 | 270,16 | 215,17 | 308,37 | N.D. | 3,79 | 8,66 | -20,15 | 12000,00 | 408,88 | 29,35 | 44,27 | 6,97  | 1299,74 | 38,78 |
| B130 | T2_400_12_H80_B1500  | 56,55 | 284,29 | 213,63 | 381,79 | N.D. | 3,78 | 8,26 | -19,94 | 12000,00 | 408,88 | 29,35 | 44,53 | 8,57  | 654,74  | 71,82 |
| B131 | K_400_12_H100_B1000  | 53,67 | 182,61 | 221,64 | 224,88 | N.D. | 4,13 | 7,71 |        | 12000,00 | 411,10 | 29,19 | 37,78 | 5,95  |         |       |
| B132 | D1_400_12_H100_B1000 | 55,66 | 254,88 | 222,02 | 304,84 | N.D. | 3,99 | 7,44 | -17,57 | 12000,00 | 411,10 | 29,19 | 38,04 | 8,01  | 1297,38 | 35,56 |
| B133 | D2_400_12_H100_B1000 | 55,61 | 264,64 | 216,22 | 362,62 | N.D. | 3,89 | 7,20 | -17,34 | 12000,00 | 411,10 | 29,19 | 38,30 | 9,47  | 653,16  | 61,25 |
| B134 | T1_400_12_H100_B1000 | 56,41 | 266,35 | 220,09 | 312,22 | N.D. | 3,90 | 7,35 | -19,68 | 12000,00 | 411,10 | 29,19 | 38,04 | 8,21  | 1296,98 | 38,84 |
| B135 | T2_400_12_H100_B1000 | 56,29 | 279,79 | 217,89 | 383,00 | N.D. | 3,87 | 7,03 | -19,50 | 12000,00 | 411,10 | 29,19 | 38,30 | 10,00 | 652,13  | 70,31 |

|      |                      |       |        |  |        |        |      |      |       |        |          |        |       |       |      |         |       |
|------|----------------------|-------|--------|--|--------|--------|------|------|-------|--------|----------|--------|-------|-------|------|---------|-------|
| B136 | K_400_12_H100_B1500  | 51,19 | 193,91 |  | 220,74 | 240,65 | N.D. | 4,31 | 9,86  |        | 12000,00 | 411,10 | 29,19 | 52,63 | 4,57 |         |       |
| B137 | D1_400_12_H100_B1500 | 52,81 | 270,22 |  | 221,47 | 322,82 | N.D. | 4,19 | 9,48  | -17,23 | 12000,00 | 411,10 | 29,19 | 52,89 | 6,10 | 1308,11 | 34,14 |
| B138 | D2_400_12_H100_B1500 | 52,67 | 281,06 |  | 216,94 | 385,77 | N.D. | 4,12 | 9,15  | -17,01 | 12000,00 | 411,10 | 29,19 | 53,15 | 7,26 | 663,26  | 60,30 |
| B139 | T1_400_12_H100_B1500 | 51,29 | 277,89 |  | 220,09 | 330,36 | N.D. | 4,29 | 9,37  | -19,17 | 12000,00 | 411,10 | 29,19 | 52,89 | 6,25 | 1303,97 | 37,28 |
| B140 | T2_400_12_H100_B1500 | 51,07 | 291,85 |  | 218,86 | 406,86 | N.D. | 4,29 | 8,93  | -19,00 | 12000,00 | 411,10 | 29,19 | 53,15 | 7,65 | 658,74  | 69,07 |
| B141 | K_400_12_H120_B1000  | 51,90 | 194,27 |  | 221,42 | 244,98 | N.D. | 4,27 | 8,08  |        | 12000,00 | 413,32 | 29,03 | 43,53 | 5,63 |         |       |
| B142 | D1_400_12_H120_B1000 | 51,91 | 266,85 |  | 222,14 | 327,36 | N.D. | 4,28 | 7,79  | -16,82 | 12000,00 | 413,32 | 29,03 | 43,79 | 7,48 | 1301,35 | 33,63 |
| B143 | D2_400_12_H120_B1000 | 54,14 | 281,48 |  | 217,27 | 389,05 | N.D. | 4,01 | 7,53  | -16,62 | 12000,00 | 413,32 | 29,03 | 44,04 | 8,83 | 656,90  | 58,81 |
| B144 | T1_400_12_H120_B1000 | 52,61 | 278,25 |  | 147,38 | 326,56 | N.D. | 2,80 | 7,70  | -18,75 | 12000,00 | 413,32 | 29,03 | 43,79 | 7,46 | 1299,96 | 33,30 |
| B145 | T2_400_12_H120_B1000 | 52,47 | 292,05 |  | 146,94 | 377,53 | N.D. | 2,80 | 7,36  | -18,59 | 12000,00 | 413,32 | 29,03 | 44,05 | 8,57 | 654,96  | 54,11 |
| B146 | K_400_12_H120_B1500  | 47,66 | 203,75 |  | 183,42 | 259,56 | N.D. | 3,85 | 10,44 |        | 12000,00 | 413,32 | 29,03 | 61,25 | 4,24 |         |       |
| B147 | D1_400_12_H120_B1500 | 49,45 | 283,13 |  | 221,44 | 349,76 | N.D. | 4,48 | 10,03 | -16,29 | 12000,00 | 413,32 | 29,03 | 61,51 | 5,69 | 1302,79 | 34,75 |
| B148 | D2_400_12_H120_B1500 | 49,37 | 293,79 |  | 217,56 | 416,19 | N.D. | 4,41 | 9,67  | -15,97 | 12000,00 | 413,32 | 29,03 | 61,77 | 6,74 | 658,21  | 60,35 |
| B149 | T1_400_12_H120_B1500 | 48,02 | 290,37 |  | 220,32 | 357,31 | N.D. | 4,59 | 9,92  | -18,05 | 12000,00 | 413,32 | 29,03 | 61,51 | 5,81 | 1298,33 | 37,66 |
| B150 | T2_400_12_H120_B1500 | 47,87 | 303,93 |  | 219,50 | 438,14 | N.D. | 4,59 | 9,45  | -17,77 | 12000,00 | 413,32 | 29,03 | 61,77 | 7,09 | 653,32  | 68,80 |

Çizelge A.3. IPE500 profili kullanılan parametrik modellerin sayısal analiz sonuçları

| NO  | Model               | Çelik Akma |         | Beton Ezilme |         | Nihai Durum |         | Göçme Durumu | Süneklik Katsayısı | $\delta_W$ | $\delta_{PT}$ | Açıklık (L) | Etkin Kesit Yüksekliği (D) (mm) | L/D  | Ağırlık kN | Kapasite / Ağırlık | Halat Başlangıç Gerilmesi (MPa) | Kapasite Kazanımı (%) |
|-----|---------------------|------------|---------|--------------|---------|-------------|---------|--------------|--------------------|------------|---------------|-------------|---------------------------------|------|------------|--------------------|---------------------------------|-----------------------|
|     |                     | mm         | kN      | mm           | kN      | mm          | kN      |              |                    | mm         | mm            |             |                                 |      |            |                    |                                 |                       |
| C1  | K_500_4_H80_B1000   | 7,01       | 815,68  | 25,52        | 991,40  | 25,52       | 991,40  | B.E.         | 3,64               | 0,07       |               | 4000,00     | 508,88                          | 7,86 | 12,68      | 78,17              |                                 |                       |
| C2  | D1_500_4_H80_B1000  | 7,96       | 1075,73 | 20,78        | 1244,81 | 20,78       | 1244,81 | B.E.         | 2,61               | 0,07       | -1,30         | 4000,00     | 508,88                          | 7,86 | 12,77      | 97,49              | 1299,08                         | 25,56                 |
| C3  | D2_500_4_H80_B1000  | 7,94       | 1104,54 | 19,17        | 1330,37 | 19,17       | 1330,37 | B.E.         | 2,42               | 0,07       | -1,31         | 4000,00     | 508,88                          | 7,86 | 12,86      | 103,48             | 654,53                          | 34,19                 |
| C4  | T1_500_4_H80_B1000  | 7,68       | 1102,36 | 20,01        | 1272,48 | 20,01       | 1272,48 | B.E.         | 2,61               | 0,07       | -1,61         | 4000,00     | 508,88                          | 7,86 | 12,77      | 99,64              | 1305,69                         | 28,35                 |
| C5  | T2_500_4_H80_B1000  | 7,65       | 1137,79 | 18,97        | 1381,39 | 18,97       | 1381,39 | B.E.         | 2,48               | 0,06       | -1,63         | 4000,00     | 508,88                          | 7,86 | 12,86      | 107,43             | 658,76                          | 39,34                 |
| C6  | K_500_4_H80_B1500   | 6,31       | 810,02  | 34,16        | 1029,61 | 34,16       | 1029,61 | B.E.         | 5,41               | 0,09       |               | 4000,00     | 508,88                          | 7,86 | 17,00      | 60,56              |                                 |                       |
| C7  | D1_500_4_H80_B1500  | 6,54       | 1008,65 | 25,03        | 1282,23 | 25,03       | 1282,23 | B.E.         | 3,83               | 0,08       | -1,28         | 4000,00     | 508,88                          | 7,86 | 17,09      | 75,03              | 1299,92                         | 24,54                 |
| C8  | D2_500_4_H80_B1500  | 6,53       | 1027,10 | 23,37        | 1375,52 | 23,37       | 1375,52 | B.E.         | 3,58               | 0,08       | -1,29         | 4000,00     | 508,88                          | 7,86 | 17,18      | 80,09              | 655,33                          | 33,60                 |
| C9  | T1_500_4_H80_B1500  | 6,99       | 1099,93 | 23,46        | 1307,93 | 23,46       | 1307,93 | B.E.         | 3,36               | 0,08       | -1,58         | 4000,00     | 508,88                          | 7,86 | 17,09      | 76,53              | 1306,89                         | 27,03                 |
| C10 | T2_500_4_H80_B1500  | 6,96       | 1128,59 | 22,68        | 1431,73 | 22,68       | 1431,73 | B.E.         | 3,26               | 0,08       | -1,60         | 4000,00     | 508,88                          | 7,86 | 17,18      | 83,35              | 659,89                          | 39,06                 |
| C11 | K_500_4_H100_B1000  | 6,31       | 826,05  | 43,29        | 1065,33 | 43,29       | 1065,33 | B.E.         | 6,86               | 0,07       |               | 4000,00     | 511,10                          | 7,83 | 14,75      | 72,24              |                                 |                       |
| C12 | D1_500_4_H100_B1000 | 6,57       | 1038,16 | 28,44        | 1324,59 | 28,44       | 1324,59 | B.E.         | 4,33               | 0,07       | -1,26         | 4000,00     | 511,10                          | 7,83 | 14,83      | 89,29              | 1299,86                         | 24,34                 |
| C13 | D2_500_4_H100_B1000 | 7,99       | 1178,65 | 27,00        | 1432,66 | 27,00       | 1432,66 | B.E.         | 3,38               | 0,07       | -1,26         | 4000,00     | 511,10                          | 7,83 | 14,92      | 96,02              | 655,27                          | 34,48                 |
| C14 | T1_500_4_H100_B1000 | 7,02       | 1128,49 | 26,93        | 1353,24 | 26,93       | 1353,24 | B.E.         | 3,83               | 0,07       | -1,55         | 4000,00     | 511,10                          | 7,83 | 14,84      | 91,21              | 1307,10                         | 27,03                 |
| C15 | T2_500_4_H100_B1000 | 7,04       | 1160,00 | 26,31        | 1494,32 | 26,31       | 1494,32 | B.E.         | 3,74               | 0,07       | -1,52         | 4000,00     | 511,10                          | 7,83 | 14,92      | 100,13             | 639,55                          | 40,27                 |
| C16 | K_500_4_H100_B1500  | 6,32       | 867,98  | 39,97        | 1087,78 | 39,97       | 1087,78 | B.E.         | 6,32               | 0,09       |               | 4000,00     | 511,10                          | 7,83 | 19,97      | 54,46              |                                 |                       |
| C17 | D1_500_4_H100_B1500 | 6,59       | 1092,38 | 26,23        | 1345,18 | 26,23       | 1345,18 | B.E.         | 3,98               | 0,09       | -1,24         | 4000,00     | 511,10                          | 7,83 | 20,06      | 67,05              | 1300,90                         | 23,66                 |
| C18 | D2_500_4_H100_B1500 | 6,60       | 1115,90 | 24,92        | 1442,61 | 24,92       | 1442,61 | B.E.         | 3,78               | 0,09       | -1,24         | 4000,00     | 511,10                          | 7,83 | 20,15      | 71,60              | 656,26                          | 32,62                 |
| C19 | T1_500_4_H100_B1500 | 7,06       | 1171,31 | 34,15        | 1391,26 | 34,15       | 1391,26 | B.E.         | 4,84               | 0,09       | -1,52         | 4000,00     | 511,10                          | 7,83 | 20,06      | 69,35              | 1308,46                         | 27,90                 |
| C20 | T2_500_4_H100_B1500 | 7,02       | 1208,05 | 36,62        | 1555,77 | 36,62       | 1555,77 | B.E.         | 5,21               | 0,09       | -1,53         | 4000,00     | 511,10                          | 7,83 | 20,15      | 77,21              | 661,39                          | 43,02                 |
| C21 | K_500_4_H120_B1000  | 6,34       | 873,33  | 58,86        | 1171,95 | 58,86       | 1171,95 | B.E.         | 9,29               | 0,08       |               | 4000,00     | 513,32                          | 7,79 | 16,73      | 70,04              |                                 |                       |
| C22 | D1_500_4_H120_B1000 | 7,36       | 1161,02 | 41,10        | 1417,07 | 41,10       | 1417,07 | B.E.         | 5,58               | 0,08       | -1,22         | 4000,00     | 513,32                          | 7,79 | 16,82      | 84,26              | 1300,68                         | 20,92                 |
| C23 | D2_500_4_H120_B1000 | 7,34       | 1193,23 | 38,82        | 1535,78 | 38,82       | 1535,78 | B.E.         | 5,29               | 0,07       | -1,22         | 4000,00     | 513,32                          | 7,79 | 16,91      | 90,85              | 656,06                          | 31,04                 |
| C24 | T1_500_4_H120_B1000 | 7,12       | 1186,81 | 37,32        | 1443,10 | 37,32       | 1443,10 | B.E.         | 5,24               | 0,08       | -1,49         | 4000,00     | 513,32                          | 7,79 | 16,82      | 85,80              | 1308,49                         | 23,14                 |
| C25 | T2_500_4_H120_B1000 | 7,09       | 1224,73 | 36,87        | 1605,94 | 36,87       | 1605,94 | B.E.         | 5,20               | 0,07       | -1,51         | 4000,00     | 513,32                          | 7,79 | 16,91      | 94,98              | 661,42                          | 37,03                 |
| C26 | K_500_4_H120_B1500  | 6,37       | 911,54  | 56,35        | 1207,14 | 56,35       | 1207,14 | B.E.         | 8,85               | 0,10       |               | 4000,00     | 513,32                          | 7,79 | 22,95      | 52,61              |                                 |                       |
| C27 | D1_500_4_H120_B1500 | 6,68       | 1156,21 | 38,89        | 1445,48 | 38,89       | 1445,48 | B.E.         | 5,83               | 0,10       | -1,19         | 4000,00     | 513,32                          | 7,79 | 23,03      | 62,75              | 1301,95                         | 19,74                 |
| C28 | D2_500_4_H120_B1500 | 6,79       | 1196,27 | 36,59        | 1554,33 | 36,59       | 1554,33 | B.E.         | 5,39               | 0,10       | -1,20         | 4000,00     | 513,32                          | 7,79 | 23,12      | 67,23              | 657,26                          | 28,76                 |
| C29 | T1_500_4_H120_B1500 | 6,45       | 1178,69 | 36,14        | 1476,25 | 36,14       | 1476,25 | B.E.         | 5,60               | 0,10       | -1,44         | 4000,00     | 513,32                          | 7,79 | 23,04      | 64,09              | 1299,24                         | 22,29                 |
| C30 | T2_500_4_H120_B1500 | 7,15       | 1267,27 | 35,40        | 1627,51 | 35,40       | 1627,51 | B.E.         | 4,95               | 0,10       | -1,45         | 4000,00     | 513,32                          | 7,79 | 23,12      | 70,38              | 652,66                          | 34,82                 |

|     |                     |       |        |        |         |        |         |      |      |      |       |         |        |       |       |       |         |       |
|-----|---------------------|-------|--------|--------|---------|--------|---------|------|------|------|-------|---------|--------|-------|-------|-------|---------|-------|
| C31 | K_500_6_H80_B1000   | 13,01 | 533,21 | 100,99 | 682,07  | 100,99 | 682,07  | B.E. | 7,76 | 0,29 |       | 6000,00 | 508,88 | 11,79 | 18,29 | 37,28 |         |       |
| C32 | D1_500_6_H80_B1000  | 14,80 | 715,74 | 71,65  | 861,23  | 71,65  | 861,23  | B.E. | 4,84 | 0,29 | -2,92 | 6000,00 | 508,88 | 11,79 | 18,42 | 46,75 | 1301,42 | 26,27 |
| C33 | D2_500_6_H80_B1000  | 14,77 | 736,86 | 54,96  | 994,36  | 54,96  | 994,36  | B.E. | 3,72 | 0,28 | -2,94 | 6000,00 | 508,88 | 11,79 | 18,55 | 53,60 | 656,98  | 45,78 |
| C34 | T1_500_6_H80_B1000  | 14,41 | 731,91 | 68,43  | 880,98  | 68,43  | 880,98  | B.E. | 4,75 | 0,29 | -3,37 | 6000,00 | 508,88 | 11,79 | 18,42 | 47,81 | 1301,27 | 29,16 |
| C35 | T2_500_6_H80_B1000  | 14,37 | 757,63 | 52,92  | 1028,83 | 52,92  | 1028,83 | B.E. | 3,68 | 0,28 | -3,41 | 6000,00 | 508,88 | 11,79 | 18,56 | 55,45 | 653,86  | 50,84 |
| C36 | K_500_6_H80_B1500   | 11,98 | 545,64 | 75,75  | 694,15  | 75,75  | 694,15  | B.E. | 6,32 | 0,37 |       | 6000,00 | 508,88 | 11,79 | 24,56 | 28,26 |         |       |
| C37 | D1_500_6_H80_B1500  | 13,76 | 743,34 | 51,47  | 876,59  | 51,47  | 876,59  | B.E. | 3,74 | 0,36 | -2,87 | 6000,00 | 508,88 | 11,79 | 24,69 | 35,51 | 1303,02 | 26,28 |
| C38 | D2_500_6_H80_B1500  | 13,73 | 766,51 | 40,95  | 964,99  | 40,95  | 964,99  | B.E. | 2,98 | 0,35 | -2,88 | 6000,00 | 508,88 | 11,79 | 24,82 | 38,88 | 658,50  | 39,02 |
| C39 | T1_500_6_H80_B1500  | 13,40 | 758,57 | 49,10  | 895,66  | 49,10  | 895,66  | B.E. | 3,66 | 0,35 | -3,29 | 6000,00 | 508,88 | 11,79 | 24,69 | 36,28 | 1302,34 | 29,03 |
| C40 | T2_500_6_H80_B1500  | 13,36 | 786,52 | 43,15  | 1013,45 | 43,15  | 1013,45 | B.E. | 3,23 | 0,34 | -3,32 | 6000,00 | 508,88 | 11,79 | 24,82 | 40,83 | 655,10  | 46,00 |
| C41 | K_500_6_H100_B1000  | 12,00 | 538,26 | 108,26 | 724,37  | 108,26 | 724,37  | B.E. | 9,02 | 0,31 |       | 6000,00 | 511,10 | 11,74 | 21,30 | 34,01 |         |       |
| C42 | D1_500_6_H100_B1000 | 13,86 | 736,25 | 87,24  | 907,75  | 87,24  | 907,75  | B.E. | 6,30 | 0,31 | -2,82 | 6000,00 | 511,10 | 11,74 | 21,43 | 42,36 | 1302,49 | 25,32 |
| C43 | D2_500_6_H100_B1000 | 13,82 | 758,65 | 57,04  | 1050,19 | 57,04  | 1050,19 | B.E. | 4,13 | 0,30 | -2,84 | 6000,00 | 511,10 | 11,74 | 21,56 | 48,71 | 658,00  | 44,98 |
| C44 | T1_500_6_H100_B1000 | 13,49 | 752,57 | 86,71  | 925,84  | 86,71  | 925,84  | B.E. | 6,43 | 0,30 | -3,24 | 6000,00 | 511,10 | 11,74 | 21,43 | 43,20 | 1302,14 | 27,81 |
| C45 | T2_500_6_H100_B1000 | 13,44 | 779,40 | 58,90  | 1096,43 | 58,90  | 1096,43 | B.E. | 4,38 | 0,30 | -3,27 | 6000,00 | 511,10 | 11,74 | 21,56 | 50,85 | 654,80  | 51,36 |
| C46 | K_500_6_H100_B1500  | 12,07 | 574,05 | 100,88 | 750,52  | 100,88 | 750,52  | B.E. | 8,36 | 0,40 |       | 6000,00 | 511,10 | 11,74 | 28,94 | 25,93 |         |       |
| C47 | D1_500_6_H100_B1500 | 12,85 | 757,44 | 70,11  | 926,48  | 70,11  | 926,48  | B.E. | 5,46 | 0,39 | -2,77 | 6000,00 | 511,10 | 11,74 | 29,07 | 31,87 | 1304,44 | 23,45 |
| C48 | D2_500_6_H100_B1500 | 12,81 | 780,86 | 49,57  | 1047,50 | 49,57  | 1047,50 | B.E. | 3,87 | 0,38 | -2,78 | 6000,00 | 511,10 | 11,74 | 29,20 | 35,87 | 659,84  | 39,57 |
| C49 | T1_500_6_H100_B1500 | 12,50 | 772,88 | 68,39  | 946,25  | 68,39  | 946,25  | B.E. | 5,47 | 0,38 | -3,17 | 6000,00 | 511,10 | 11,74 | 29,08 | 32,54 | 1303,41 | 26,08 |
| C50 | T2_500_6_H100_B1500 | 12,45 | 800,56 | 54,31  | 1102,49 | 54,31  | 1102,49 | B.E. | 4,36 | 0,37 | -3,20 | 6000,00 | 511,10 | 11,74 | 29,21 | 37,75 | 656,98  | 46,90 |
| C51 | K_500_6_H120_B1000  | 12,03 | 574,90 | 103,66 | 767,62  | 103,66 | 767,62  | B.E. | 8,61 | 0,33 |       | 6000,00 | 513,32 | 11,69 | 24,23 | 31,68 |         |       |
| C52 | D1_500_6_H120_B1000 | 12,86 | 757,28 | 81,23  | 953,31  | 81,23  | 953,31  | B.E. | 6,32 | 0,32 | -2,73 | 6000,00 | 513,32 | 11,69 | 24,36 | 39,14 | 1303,58 | 24,19 |
| C53 | D2_500_6_H120_B1000 | 12,83 | 779,48 | 58,45  | 1108,88 | 58,45  | 1108,88 | B.E. | 4,56 | 0,32 | -2,74 | 6000,00 | 513,32 | 11,69 | 24,49 | 45,29 | 659,04  | 44,46 |
| C54 | T1_500_6_H120_B1000 | 12,52 | 772,15 | 79,42  | 971,15  | 79,42  | 971,15  | B.E. | 6,34 | 0,32 | -3,12 | 6000,00 | 513,32 | 11,69 | 24,36 | 39,87 | 1303,02 | 26,51 |
| C55 | T2_500_6_H120_B1000 | 12,47 | 798,03 | 66,78  | 1171,85 | 66,78  | 1171,85 | B.E. | 5,35 | 0,31 | -3,15 | 6000,00 | 513,32 | 11,69 | 24,49 | 47,85 | 656,34  | 52,66 |
| C56 | K_500_6_H120_B1500  | 11,04 | 582,12 | 91,78  | 799,09  | 91,78  | 799,09  | B.E. | 8,31 | 0,42 |       | 6000,00 | 513,32 | 11,69 | 33,33 | 23,98 |         |       |
| C57 | D1_500_6_H120_B1500 | 11,89 | 776,28 | 71,23  | 984,59  | 71,23  | 984,59  | B.E. | 5,99 | 0,41 | -2,67 | 6000,00 | 513,32 | 11,69 | 33,46 | 29,43 | 1305,88 | 23,21 |
| C58 | D2_500_6_H120_B1500 | 11,85 | 798,38 | 54,72  | 1129,09 | 54,72  | 1129,09 | B.E. | 4,62 | 0,40 | -2,69 | 6000,00 | 513,32 | 11,69 | 33,59 | 33,62 | 661,22  | 41,30 |
| C59 | T1_500_6_H120_B1500 | 11,56 | 788,86 | 69,90  | 1003,77 | 69,90  | 1003,77 | B.E. | 6,05 | 0,41 | -3,04 | 6000,00 | 513,32 | 11,69 | 33,46 | 30,00 | 1304,54 | 25,61 |
| C60 | T2_500_6_H120_B1500 | 12,62 | 853,29 | 57,33  | 1174,77 | 57,33  | 1174,77 | B.E. | 4,54 | 0,40 | -3,07 | 6000,00 | 513,32 | 11,69 | 33,59 | 34,97 | 658,88  | 47,01 |
| C61 | K_500_8_H80_B1000   | 22,18 | 398,04 |        |         | 147,12 | 504,16  | N.D. | 6,63 | 0,87 |       | 8000,00 | 508,88 | 15,72 | 23,91 | 21,09 |         |       |
| C62 | D1_500_8_H80_B1000  | 23,66 | 523,37 |        |         | 146,42 | 648,89  | N.D. | 6,19 | 0,86 | -5,19 | 8000,00 | 508,88 | 15,72 | 24,08 | 26,95 | 1304,66 | 28,71 |
| C63 | D2_500_8_H80_B1000  | 23,61 | 538,29 | 119,38 | 784,59  | 119,38 | 784,59  | B.E. | 5,06 | 0,84 | -5,22 | 8000,00 | 508,88 | 15,72 | 24,25 | 32,35 | 660,13  | 55,62 |
| C64 | T1_500_8_H80_B1000  | 23,10 | 534,10 |        |         | 145,92 | 661,55  | N.D. | 6,32 | 0,85 | -5,86 | 8000,00 | 508,88 | 15,72 | 24,08 | 27,47 | 1308,12 | 31,22 |
| C65 | T2_500_8_H80_B1000  | 23,03 | 551,95 | 112,52 | 806,70  | 112,52 | 806,70  | B.E. | 4,89 | 0,83 | -5,93 | 8000,00 | 508,88 | 15,72 | 24,25 | 33,26 | 660,98  | 60,01 |

|      |                     |       |        |        |        |        |        |      |      |      |       |          |        |       |       |       |         |       |
|------|---------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|------|------|------|-------|----------|--------|-------|-------|-------|---------|-------|
| C66  | K_500_8_H80_B1500   | 20,88 | 416,83 |        |        | 145,76 | 527,03 | N.D. | 6,98 | 1,08 |       | 8000,00  | 508,88 | 15,72 | 32,12 | 16,41 |         |       |
| C67  | D1_500_8_H80_B1500  | 22,35 | 552,86 |        |        | 145,24 | 674,78 | N.D. | 6,50 | 1,05 | -5,09 | 8000,00  | 508,88 | 15,72 | 32,29 | 20,90 | 1307,30 | 28,03 |
| C68  | D2_500_8_H80_B1500  | 22,29 | 570,48 | 107,39 | 799,19 | 107,39 | 799,19 | B.E. | 4,82 | 1,03 | -5,12 | 8000,00  | 508,88 | 15,72 | 32,46 | 24,62 | 662,64  | 51,64 |
| C69  | T1_500_8_H80_B1500  | 21,83 | 564,48 |        |        | 144,93 | 687,77 | N.D. | 6,64 | 1,04 | -5,72 | 8000,00  | 508,88 | 15,72 | 32,29 | 21,30 | 1309,76 | 30,50 |
| C70  | T2_500_8_H80_B1500  | 21,75 | 585,62 | 111,25 | 836,98 | 111,25 | 836,98 | B.E. | 5,12 | 1,01 | -5,78 | 8000,00  | 508,88 | 15,72 | 32,46 | 25,78 | 662,54  | 58,81 |
| C71  | K_500_8_H100_B1000  | 20,82 | 413,78 |        |        | 147,31 | 535,30 | N.D. | 7,08 | 0,93 |       | 8000,00  | 511,10 | 15,65 | 27,85 | 19,22 |         |       |
| C72  | D1_500_8_H100_B1000 | 22,38 | 549,07 |        |        | 146,80 | 681,51 | N.D. | 6,56 | 0,91 | -5,01 | 8000,00  | 511,10 | 15,65 | 28,03 | 24,32 | 1306,14 | 27,31 |
| C73  | D2_500_8_H100_B1000 | 22,33 | 565,57 | 124,25 | 817,20 | 124,25 | 817,20 | B.E. | 5,56 | 0,89 | -5,04 | 8000,00  | 511,10 | 15,65 | 28,20 | 28,98 | 661,55  | 52,66 |
| C74  | T1_500_8_H100_B1000 | 21,86 | 560,27 |        |        | 146,43 | 693,86 | N.D. | 6,70 | 0,90 | -5,63 | 8000,00  | 511,10 | 15,65 | 28,03 | 24,76 | 1309,20 | 29,62 |
| C75  | T2_500_8_H100_B1000 | 23,18 | 596,75 | 145,15 | 850,12 | 145,15 | 850,12 | B.E. | 6,26 | 0,88 | -5,70 | 8000,00  | 511,10 | 15,65 | 28,20 | 30,14 | 662,01  | 58,81 |
| C76  | K_500_8_H100_B1500  | 19,59 | 428,57 |        |        | 146,47 | 562,44 | N.D. | 7,48 | 1,17 |       | 8000,00  | 511,10 | 15,65 | 37,91 | 14,83 |         |       |
| C77  | D1_500_8_H100_B1500 | 21,18 | 573,96 |        |        | 146,04 | 713,12 | N.D. | 6,89 | 1,14 | -4,87 | 8000,00  | 511,10 | 15,65 | 38,09 | 18,72 | 1298,33 | 26,79 |
| C78  | D2_500_8_H100_B1500 | 24,04 | 621,58 | 117,73 | 845,45 | 117,73 | 845,45 | B.E. | 4,90 | 1,11 | -4,87 | 8000,00  | 511,10 | 15,65 | 38,26 | 22,10 | 654,03  | 50,32 |
| C79  | T1_500_8_H100_B1500 | 20,69 | 585,47 |        |        | 145,82 | 725,95 | N.D. | 7,05 | 1,13 | -5,45 | 8000,00  | 511,10 | 15,65 | 38,09 | 19,06 | 1300,19 | 29,07 |
| C80  | T2_500_8_H100_B1500 | 20,63 | 607,30 | 125,49 | 882,56 | 125,49 | 882,56 | B.E. | 6,08 | 1,10 | -5,47 | 8000,00  | 511,10 | 15,65 | 38,26 | 23,07 | 653,42  | 56,92 |
| C81  | K_500_8_H120_B1000  | 20,90 | 441,31 |        |        | 146,92 | 570,73 | N.D. | 7,03 | 0,98 |       | 8000,00  | 513,32 | 15,58 | 31,72 | 17,99 |         |       |
| C82  | D1_500_8_H120_B1000 | 22,60 | 584,94 |        |        | 146,57 | 717,30 | N.D. | 6,49 | 0,96 | -4,84 | 8000,00  | 513,32 | 15,58 | 31,89 | 22,49 | 1307,62 | 25,68 |
| C83  | D2_500_8_H120_B1000 | 22,53 | 604,05 | 128,61 | 854,41 | 128,61 | 854,41 | B.E. | 5,71 | 0,94 | -4,87 | 8000,00  | 513,32 | 15,58 | 32,07 | 26,64 | 662,96  | 49,70 |
| C84  | T1_500_8_H120_B1000 | 22,15 | 596,86 |        |        | 146,28 | 729,48 | N.D. | 6,60 | 0,95 | -5,37 | 8000,00  | 513,32 | 15,58 | 31,90 | 22,87 | 1299,30 | 27,81 |
| C85  | T2_500_8_H120_B1000 | 22,09 | 619,40 | 139,16 | 886,53 | 139,16 | 886,53 | B.E. | 6,30 | 0,92 | -5,40 | 8000,00  | 513,32 | 15,58 | 32,07 | 27,64 | 652,58  | 55,33 |
| C86  | K_500_8_H120_B1500  | 19,69 | 458,10 |        |        | 146,07 | 605,14 | N.D. | 7,42 | 1,25 |       | 8000,00  | 513,32 | 15,58 | 43,71 | 13,84 |         |       |
| C87  | D1_500_8_H120_B1500 | 19,94 | 594,10 |        |        | 145,64 | 758,38 | N.D. | 7,30 | 1,21 | -4,70 | 8000,00  | 513,32 | 15,58 | 43,88 | 17,28 | 1300,32 | 25,32 |
| C88  | D2_500_8_H120_B1500 | 19,90 | 612,61 | 117,79 | 892,42 | 117,79 | 892,42 | B.E. | 5,92 | 1,18 | -4,69 | 8000,00  | 513,32 | 15,58 | 44,06 | 20,26 | 655,94  | 47,47 |
| C89  | T1_500_8_H120_B1500 | 19,48 | 604,88 |        |        | 145,49 | 771,53 | N.D. | 7,47 | 1,20 | -5,23 | 8000,00  | 513,32 | 15,58 | 43,89 | 17,58 | 1301,59 | 27,50 |
| C90  | T2_500_8_H120_B1500 | 20,91 | 647,84 | 129,74 | 931,13 | 129,74 | 931,13 | B.E. | 6,20 | 1,17 | -5,25 | 8000,00  | 513,32 | 15,58 | 44,06 | 21,13 | 654,74  | 53,87 |
| C91  | K_500_10_H80_B1000  | 33,95 | 321,62 |        |        | 183,96 | 400,26 | N.D. | 5,42 | 2,07 |       | 10000,00 | 508,88 | 19,65 | 29,52 | 13,56 |         |       |
| C92  | D1_500_10_H80_B1000 | 36,57 | 425,07 |        |        | 183,21 | 515,53 | N.D. | 5,01 | 2,03 | -8,10 | 10000,00 | 508,88 | 19,65 | 29,73 | 17,34 | 1308,82 | 28,80 |
| C93  | D2_500_10_H80_B1000 | 36,47 | 438,17 | 159,68 | 613,82 | 159,68 | 613,82 | B.E. | 4,38 | 1,98 | -8,15 | 10000,00 | 508,88 | 19,65 | 29,95 | 20,50 | 664,16  | 53,35 |
| C94  | T1_500_10_H80_B1000 | 35,86 | 434,15 |        |        | 182,09 | 526,05 | N.D. | 5,08 | 2,01 | -8,98 | 10000,00 | 508,88 | 19,65 | 29,73 | 17,69 | 1302,11 | 31,43 |
| C95  | T2_500_10_H80_B1000 | 35,78 | 449,70 | 179,56 | 649,66 | 179,56 | 649,66 | B.E. | 5,02 | 1,95 | -9,02 | 10000,00 | 508,88 | 19,65 | 29,95 | 21,69 | 655,81  | 62,31 |
| C96  | K_500_10_H80_B1500  | 32,54 | 339,97 |        |        | 183,61 | 418,65 | N.D. | 5,64 | 2,54 |       | 10000,00 | 508,88 | 19,65 | 39,67 | 10,55 |         |       |
| C97  | D1_500_10_H80_B1500 | 33,29 | 443,68 |        |        | 183,05 | 536,73 | N.D. | 5,50 | 2,48 | -7,88 | 10000,00 | 508,88 | 19,65 | 39,89 | 13,46 | 1301,82 | 28,21 |
| C98  | D2_500_10_H80_B1500 | 33,23 | 457,60 |        |        | 178,14 | 648,93 | N.D. | 5,36 | 2,42 | -7,87 | 10000,00 | 508,88 | 19,65 | 40,10 | 16,18 | 657,41  | 55,01 |
| C99  | T1_500_10_H80_B1500 | 32,58 | 452,69 |        |        | 182,00 | 547,02 | N.D. | 5,59 | 2,46 | -8,76 | 10000,00 | 508,88 | 19,65 | 39,89 | 13,71 | 1304,51 | 30,66 |
| C100 | T2_500_10_H80_B1500 | 32,49 | 469,44 |        |        | 179,94 | 675,83 | N.D. | 5,54 | 2,38 | -8,79 | 10000,00 | 508,88 | 19,65 | 40,11 | 16,85 | 658,07  | 61,43 |

|      |                      |       |        |        |        |      |      |      |        |          |        |       |       |       |         |       |
|------|----------------------|-------|--------|--------|--------|------|------|------|--------|----------|--------|-------|-------|-------|---------|-------|
| C101 | K_500_10_H100_B1000  | 32,30 | 337,71 | 184,37 | 426,16 | N.D. | 5,71 | 2,21 |        | 10000,00 | 511,10 | 19,57 | 34,41 | 12,39 |         |       |
| C102 | D1_500_10_H100_B1000 | 33,21 | 438,78 | 183,91 | 543,79 | N.D. | 5,54 | 2,15 | -7,76  | 10000,00 | 511,10 | 19,57 | 34,62 | 15,71 | 1299,85 | 27,60 |
| C103 | D2_500_10_H100_B1000 | 33,17 | 451,33 | 179,31 | 655,45 | N.D. | 5,41 | 2,11 | -7,75  | 10000,00 | 511,10 | 19,57 | 34,84 | 18,81 | 655,54  | 53,80 |
| C104 | T1_500_10_H100_B1000 | 32,51 | 446,84 | 182,96 | 554,03 | N.D. | 5,63 | 2,14 | -8,63  | 10000,00 | 511,10 | 19,57 | 34,63 | 16,00 | 1303,48 | 30,00 |
| C105 | T2_500_10_H100_B1000 | 32,42 | 461,79 | 181,11 | 679,88 | N.D. | 5,59 | 2,07 | -8,67  | 10000,00 | 511,10 | 19,57 | 34,84 | 19,51 | 657,10  | 59,54 |
| C106 | K_500_10_H100_B1500  | 29,19 | 344,57 | 183,85 | 448,01 | N.D. | 6,30 | 2,76 |        | 10000,00 | 511,10 | 19,57 | 46,88 | 9,56  |         |       |
| C107 | D1_500_10_H100_B1500 | 31,87 | 464,89 | 183,64 | 569,04 | N.D. | 5,76 | 2,68 | -7,61  | 10000,00 | 511,10 | 19,57 | 47,10 | 12,08 | 1304,63 | 27,01 |
| C108 | D2_500_10_H100_B1500 | 31,79 | 479,95 | 180,08 | 682,54 | N.D. | 5,66 | 2,62 | -7,60  | 10000,00 | 511,10 | 19,57 | 47,32 | 14,43 | 660,08  | 52,35 |
| C109 | T1_500_10_H100_B1500 | 31,19 | 474,09 | 182,89 | 579,10 | N.D. | 5,86 | 2,66 | -8,42  | 10000,00 | 511,10 | 19,57 | 47,10 | 12,29 | 1306,32 | 29,26 |
| C110 | T2_500_10_H100_B1500 | 31,08 | 492,18 | 181,51 | 710,15 | N.D. | 5,84 | 2,58 | -8,45  | 10000,00 | 511,10 | 19,57 | 47,32 | 15,01 | 659,78  | 58,51 |
| C111 | K_500_10_H120_B1000  | 30,63 | 350,98 | 184,12 | 454,94 | N.D. | 6,01 | 2,32 |        | 10000,00 | 513,32 | 19,48 | 39,22 | 11,60 |         |       |
| C112 | D1_500_10_H120_B1000 | 31,66 | 458,08 | 183,97 | 574,17 | N.D. | 5,81 | 2,26 | -7,50  | 10000,00 | 513,32 | 19,48 | 39,43 | 14,56 | 1301,80 | 26,21 |
| C113 | D2_500_10_H120_B1000 | 31,61 | 471,59 | 180,26 | 686,14 | N.D. | 5,70 | 2,21 | -7,49  | 10000,00 | 513,32 | 19,48 | 39,65 | 17,31 | 657,40  | 50,82 |
| C114 | T1_500_10_H120_B1000 | 30,99 | 466,19 | 183,22 | 584,10 | N.D. | 5,91 | 2,24 | -8,31  | 10000,00 | 513,32 | 19,48 | 39,43 | 14,81 | 1304,79 | 28,39 |
| C115 | T2_500_10_H120_B1000 | 30,91 | 482,15 | 181,65 | 710,26 | N.D. | 5,88 | 2,18 | -8,35  | 10000,00 | 513,32 | 19,48 | 39,65 | 17,91 | 658,34  | 56,12 |
| C116 | K_500_10_H120_B1500  | 29,37 | 369,80 | 183,35 | 482,52 | N.D. | 6,24 | 2,94 |        | 10000,00 | 513,32 | 19,48 | 54,09 | 8,92  |         |       |
| C117 | D1_500_10_H120_B1500 | 30,41 | 484,62 | 183,27 | 606,54 | N.D. | 6,03 | 2,85 | -7,33  | 10000,00 | 513,32 | 19,48 | 54,31 | 11,17 | 1307,34 | 25,70 |
| C118 | D2_500_10_H120_B1500 | 30,33 | 500,21 | 180,87 | 722,20 | N.D. | 5,96 | 2,78 | -7,33  | 10000,00 | 513,32 | 19,48 | 54,53 | 13,25 | 662,68  | 49,67 |
| C119 | T1_500_10_H120_B1500 | 29,77 | 493,63 | 182,76 | 616,59 | N.D. | 6,14 | 2,83 | -8,08  | 10000,00 | 513,32 | 19,48 | 54,31 | 11,35 | 1308,12 | 27,79 |
| C120 | T2_500_10_H120_B1500 | 29,65 | 512,23 | 181,98 | 750,10 | N.D. | 6,14 | 2,74 | -8,13  | 10000,00 | 513,32 | 19,48 | 54,53 | 13,76 | 661,78  | 55,46 |
| C121 | K_500_12_H80_B1000   | 48,79 | 272,36 | 222,47 | 334,00 | N.D. | 4,56 | 4,23 |        | 12000,00 | 508,88 | 23,58 | 35,13 | 9,51  |         |       |
| C122 | D1_500_12_H80_B1000  | 50,79 | 353,80 | 221,29 | 429,72 | N.D. | 4,36 | 4,13 | -11,57 | 12000,00 | 508,88 | 23,58 | 35,39 | 12,14 | 1302,94 | 28,66 |
| C123 | D2_500_12_H80_B1000  | 50,72 | 364,06 | 215,28 | 507,11 | N.D. | 4,24 | 4,04 | -11,55 | 12000,00 | 508,88 | 23,58 | 35,65 | 14,23 | 658,54  | 51,83 |
| C124 | T1_500_12_H80_B1000  | 49,78 | 361,15 | 219,54 | 437,85 | N.D. | 4,41 | 4,10 | -12,87 | 12000,00 | 508,88 | 23,58 | 35,39 | 12,37 | 1306,52 | 31,09 |
| C125 | T2_500_12_H80_B1000  | 49,66 | 373,50 | 217,04 | 525,18 | N.D. | 4,37 | 3,98 | -12,92 | 12000,00 | 508,88 | 23,58 | 35,65 | 14,73 | 660,42  | 57,24 |
| C126 | K_500_12_H80_B1500   | 45,25 | 285,19 | 222,40 | 349,76 | N.D. | 4,92 | 5,17 |        | 12000,00 | 508,88 | 23,58 | 47,23 | 7,41  |         |       |
| C127 | D1_500_12_H80_B1500  | 47,14 | 374,25 | 222,41 | 447,97 | N.D. | 4,72 | 5,03 | -11,25 | 12000,00 | 508,88 | 23,58 | 47,49 | 9,43  | 1297,57 | 28,08 |
| C128 | D2_500_12_H80_B1500  | 47,10 | 385,80 | 215,59 | 532,09 | N.D. | 4,58 | 4,91 | -11,15 | 12000,00 | 508,88 | 23,58 | 47,75 | 11,14 | 653,36  | 52,13 |
| C129 | T1_500_12_H80_B1500  | 46,20 | 381,84 | 220,60 | 456,35 | N.D. | 4,77 | 4,99 | -12,42 | 12000,00 | 508,88 | 23,58 | 47,49 | 9,61  | 1298,87 | 30,47 |
| C130 | T2_500_12_H80_B1500  | 46,10 | 395,86 | 217,89 | 552,09 | N.D. | 4,73 | 4,83 | -12,38 | 12000,00 | 508,88 | 23,58 | 47,75 | 11,56 | 653,05  | 57,85 |
| C131 | K_500_12_H100_B1000  | 44,72 | 281,99 | 223,12 | 355,92 | N.D. | 4,99 | 4,49 |        | 12000,00 | 511,10 | 23,48 | 40,96 | 8,69  |         |       |
| C132 | D1_500_12_H100_B1000 | 46,84 | 368,77 | 222,60 | 454,10 | N.D. | 4,75 | 4,38 | -11,08 | 12000,00 | 511,10 | 23,48 | 41,22 | 11,02 | 1294,62 | 27,59 |
| C133 | D2_500_12_H100_B1000 | 46,84 | 379,04 | 216,64 | 536,75 | N.D. | 4,63 | 4,28 | -10,98 | 12000,00 | 511,10 | 23,48 | 41,48 | 12,94 | 650,54  | 50,81 |
| C134 | T1_500_12_H100_B1000 | 45,85 | 375,58 | 221,04 | 462,42 | N.D. | 4,82 | 4,35 | -12,35 | 12000,00 | 511,10 | 23,48 | 41,22 | 11,22 | 1308,26 | 29,92 |
| C135 | T2_500_12_H100_B1000 | 45,71 | 388,01 | 218,81 | 556,94 | N.D. | 4,79 | 4,22 | -12,42 | 12000,00 | 511,10 | 23,48 | 41,48 | 13,43 | 662,06  | 56,48 |

|      |                      |       |        |  |        |        |      |      |      |        |          |        |       |       |       |         |       |
|------|----------------------|-------|--------|--|--------|--------|------|------|------|--------|----------|--------|-------|-------|-------|---------|-------|
| C136 | K_500_12_H100_B1500  | 43,52 | 300,55 |  | 222,40 | 374,96 | N.D. | 5,11 | 5,60 |        | 12000,00 | 511,10 | 23,48 | 55,85 | 6,71  |         |       |
| C137 | D1_500_12_H100_B1500 | 43,31 | 386,98 |  | 222,84 | 475,58 | N.D. | 5,14 | 5,45 | -10,86 | 12000,00 | 511,10 | 23,48 | 56,11 | 8,48  | 1301,34 | 26,84 |
| C138 | D2_500_12_H100_B1500 | 43,26 | 398,51 |  | 217,54 | 564,79 | N.D. | 5,03 | 5,31 | -10,76 | 12000,00 | 511,10 | 23,48 | 56,37 | 10,02 | 656,94  | 50,63 |
| C139 | T1_500_12_H100_B1500 | 42,44 | 393,34 |  | 221,64 | 483,95 | N.D. | 5,22 | 5,40 | -11,94 | 12000,00 | 511,10 | 23,48 | 56,11 | 8,62  | 1301,23 | 29,07 |
| C140 | T2_500_12_H100_B1500 | 42,33 | 407,04 |  | 220,11 | 586,05 | N.D. | 5,20 | 5,23 | -11,90 | 12000,00 | 511,10 | 23,48 | 56,37 | 10,40 | 656,18  | 56,30 |
| C141 | K_500_12_H120_B1000  | 42,80 | 294,83 |  | 222,79 | 379,86 | N.D. | 5,21 | 4,72 |        | 12000,00 | 513,32 | 23,38 | 46,71 | 8,13  |         |       |
| C142 | D1_500_12_H120_B1000 | 42,91 | 377,58 |  | 222,93 | 479,67 | N.D. | 5,20 | 4,60 | -10,70 | 12000,00 | 513,32 | 23,38 | 46,97 | 10,21 | 1297,15 | 26,28 |
| C143 | D2_500_12_H120_B1000 | 45,04 | 398,40 |  | 217,64 | 566,67 | N.D. | 4,83 | 4,49 | -10,61 | 12000,00 | 513,32 | 23,38 | 47,23 | 12,00 | 652,96  | 49,18 |
| C144 | T1_500_12_H120_B1000 | 44,20 | 394,07 |  | 221,72 | 487,95 | N.D. | 5,02 | 4,57 | -11,79 | 12000,00 | 513,32 | 23,38 | 46,97 | 10,39 | 1298,90 | 28,46 |
| C145 | T2_500_12_H120_B1000 | 44,11 | 407,63 |  | 219,75 | 586,22 | N.D. | 4,98 | 4,43 | -11,76 | 12000,00 | 513,32 | 23,38 | 47,23 | 12,41 | 653,09  | 54,33 |
| C146 | K_500_12_H120_B1500  | 41,73 | 315,11 |  | 222,06 | 403,81 | N.D. | 5,32 | 5,96 |        | 12000,00 | 513,32 | 23,38 | 64,48 | 6,26  |         |       |
| C147 | D1_500_12_H120_B1500 | 41,70 | 405,56 |  | 222,57 | 507,25 | N.D. | 5,34 | 5,79 | -10,47 | 12000,00 | 513,32 | 23,38 | 64,74 | 7,84  | 1304,93 | 25,62 |
| C148 | D2_500_12_H120_B1500 | 41,63 | 417,87 |  | 218,57 | 601,01 | N.D. | 5,25 | 5,64 | -10,38 | 12000,00 | 513,32 | 23,38 | 64,99 | 9,25  | 660,37  | 48,84 |
| C149 | T1_500_12_H120_B1500 | 40,87 | 412,29 |  | 221,70 | 515,57 | N.D. | 5,42 | 5,75 | -11,47 | 12000,00 | 513,32 | 23,38 | 64,74 | 7,96  | 1305,21 | 27,68 |
| C150 | T2_500_12_H120_B1500 | 40,73 | 426,67 |  | 220,85 | 623,43 | N.D. | 5,42 | 5,56 | -11,44 | 12000,00 | 513,32 | 23,38 | 65,00 | 9,59  | 660,10  | 54,39 |

Çizelge A.4. IPE600 profili kullanılan parametrik modellerin sayısal analiz sonuçları

| NO  | Model               | Çelik Akma |         | Beton Ezilme |         | Nihai Durum |         | Göçme Durumu | Süneklik Katsayısı | $\delta_W$ | $\delta_{PT}$ | Açıklık (L) | Etkin Kesit Yüksekliği (D) (mm) | L/D  | Ağırlık kN | Kapasite / Ağırlık | Halat Başlangıç Gerilmesi (MPa) | Kapasite Kazanımı (%) |
|-----|---------------------|------------|---------|--------------|---------|-------------|---------|--------------|--------------------|------------|---------------|-------------|---------------------------------|------|------------|--------------------|---------------------------------|-----------------------|
|     |                     | mm         | kN      | mm           | kN      | mm          | kN      |              |                    | mm         | mm            |             |                                 |      |            |                    |                                 |                       |
| D1  | K_600_4_H80_B1000   | 6,22       | 1198,23 | 20,31        | 1499,08 | 20,31       | 1499,08 | B.E.         | 3,27               | 0,05       |               | 4000,00     | 608,88                          | 6,57 | 14,14      | 106,04             |                                 |                       |
| D2  | D1_600_4_H80_B1000  | 6,82       | 1480,88 | 16,70        | 1778,04 | 16,70       | 1778,04 | B.E.         | 2,45               | 0,05       | -0,85         | 4000,00     | 608,88                          | 6,57 | 14,22      | 125,00             | 1300,76                         | 18,61                 |
| D3  | D2_600_4_H80_B1000  | 6,46       | 1448,49 | 18,21        | 1869,60 | 18,21       | 1869,60 | B.E.         | 2,82               | 0,05       | -0,86         | 4000,00     | 608,88                          | 6,57 | 14,31      | 130,64             | 656,27                          | 24,72                 |
| D4  | T1_600_4_H80_B1000  | 6,62       | 1504,20 | 16,38        | 1807,08 | 16,38       | 1807,08 | B.E.         | 2,47               | 0,05       | -1,07         | 4000,00     | 608,88                          | 6,57 | 14,23      | 127,03             | 1300,19                         | 20,55                 |
| D5  | T2_600_4_H80_B1000  | 6,61       | 1532,97 | 16,38        | 1904,79 | 16,38       | 1904,79 | B.E.         | 2,48               | 0,04       | -1,07         | 4000,00     | 608,88                          | 6,57 | 14,31      | 133,07             | 653,20                          | 27,06                 |
| D6  | K_600_4_H80_B1500   | 6,25       | 1253,60 | 33,76        | 1581,56 | 33,76       | 1581,56 | B.E.         | 5,40               | 0,06       |               | 4000,00     | 608,88                          | 6,57 | 18,57      | 85,17              |                                 |                       |
| D7  | D1_600_4_H80_B1500  | 6,86       | 1545,54 | 28,54        | 1854,31 | 28,54       | 1854,31 | B.E.         | 4,16               | 0,06       | -0,84         | 4000,00     | 608,88                          | 6,57 | 18,66      | 99,40              | 1301,34                         | 17,25                 |
| D8  | D2_600_4_H80_B1500  | 6,84       | 1575,19 | 28,72        | 1961,77 | 28,72       | 1961,77 | B.E.         | 4,20               | 0,06       | -0,84         | 4000,00     | 608,88                          | 6,57 | 18,74      | 104,67             | 656,82                          | 24,04                 |
| D9  | T1_600_4_H80_B1500  | 6,67       | 1571,32 | 27,02        | 1885,52 | 27,02       | 1885,52 | B.E.         | 4,05               | 0,06       | -1,04         | 4000,00     | 608,88                          | 6,57 | 18,66      | 101,06             | 1301,02                         | 19,22                 |
| D10 | T2_600_4_H80_B1500  | 6,63       | 1604,21 | 27,17        | 2015,09 | 27,17       | 2015,09 | B.E.         | 4,09               | 0,06       | -1,05         | 4000,00     | 608,88                          | 6,57 | 18,75      | 107,49             | 653,99                          | 27,41                 |
| D11 | K_600_4_H100_B1000  | 6,23       | 1270,95 | 43,68        | 1627,19 | 43,68       | 1627,19 | B.E.         | 7,01               | 0,05       |               | 4000,00     | 611,10                          | 6,55 | 16,20      | 100,43             |                                 |                       |
| D12 | D1_600_4_H100_B1000 | 6,85       | 1570,37 | 32,53        | 1897,85 | 32,53       | 1897,85 | B.E.         | 4,75               | 0,05       | -0,83         | 4000,00     | 611,10                          | 6,55 | 16,29      | 116,51             | 1301,26                         | 16,63                 |
| D13 | D2_600_4_H100_B1000 | 6,83       | 1600,86 | 30,22        | 2002,39 | 30,22       | 2002,39 | B.E.         | 4,42               | 0,05       | -0,83         | 4000,00     | 611,10                          | 6,55 | 16,38      | 122,27             | 656,74                          | 23,06                 |
| D14 | T1_600_4_H100_B1000 | 6,66       | 1595,86 | 30,56        | 1930,59 | 30,56       | 1930,59 | B.E.         | 4,59               | 0,05       | -1,03         | 4000,00     | 611,10                          | 6,55 | 16,29      | 118,50             | 1301,06                         | 18,65                 |
| D15 | T2_600_4_H100_B1000 | 6,65       | 1632,20 | 30,15        | 2067,58 | 30,15       | 2067,58 | B.E.         | 4,53               | 0,05       | -1,03         | 4000,00     | 611,10                          | 6,55 | 16,38      | 126,22             | 654,04                          | 27,06                 |
| D16 | K_600_4_H100_B1500  | 6,24       | 1331,98 | 43,78        | 1682,65 | 43,78       | 1682,65 | B.E.         | 7,02               | 0,06       |               | 4000,00     | 611,10                          | 6,55 | 21,63      | 77,80              |                                 |                       |
| D17 | D1_600_4_H100_B1500 | 6,87       | 1638,87 | 33,00        | 1946,81 | 33,00       | 1946,81 | B.E.         | 4,80               | 0,06       | -0,81         | 4000,00     | 611,10                          | 6,55 | 21,72      | 89,65              | 1301,95                         | 15,70                 |
| D18 | D2_600_4_H100_B1500 | 6,86       | 1671,99 | 36,22        | 2058,60 | 36,22       | 2058,60 | B.E.         | 5,28               | 0,06       | -0,82         | 4000,00     | 611,10                          | 6,55 | 21,80      | 94,42              | 657,40                          | 22,34                 |
| D19 | T1_600_4_H100_B1500 | 6,70       | 1665,75 | 35,07        | 1991,80 | 35,07       | 1991,80 | B.E.         | 5,24               | 0,06       | -1,01         | 4000,00     | 611,10                          | 6,55 | 21,72      | 91,72              | 1302,00                         | 18,37                 |
| D20 | T2_600_4_H100_B1500 | 6,70       | 1706,72 | 32,34        | 2118,02 | 32,34       | 2118,02 | B.E.         | 4,83               | 0,06       | -1,01         | 4000,00     | 611,10                          | 6,55 | 21,81      | 97,13              | 654,94                          | 25,87                 |
| D21 | K_600_4_H120_B1000  | 6,25       | 1340,94 | 47,51        | 1740,16 | 47,51       | 1740,16 | B.E.         | 7,60               | 0,05       |               | 4000,00     | 613,32                          | 6,52 | 18,27      | 95,24              |                                 |                       |
| D22 | D1_600_4_H120_B1000 | 6,90       | 1655,44 | 38,96        | 2002,61 | 38,96       | 2002,61 | B.E.         | 5,64               | 0,05       | -0,80         | 4000,00     | 613,32                          | 6,52 | 18,36      | 109,09             | 1301,77                         | 15,08                 |
| D23 | D2_600_4_H120_B1000 | 6,89       | 1689,76 | 35,15        | 2100,35 | 35,15       | 2100,35 | B.E.         | 5,10               | 0,05       | -0,81         | 4000,00     | 613,32                          | 6,52 | 18,44      | 113,88             | 657,24                          | 20,70                 |
| D24 | T1_600_4_H120_B1000 | 6,73       | 1681,73 | 35,30        | 2036,60 | 35,30       | 2036,60 | B.E.         | 5,25               | 0,05       | -1,00         | 4000,00     | 613,32                          | 6,52 | 18,36      | 110,93             | 1301,93                         | 17,04                 |
| D25 | T2_600_4_H120_B1000 | 6,44       | 1689,24 | 35,93        | 2179,52 | 35,93       | 2179,52 | B.E.         | 5,58               | 0,05       | -1,00         | 4000,00     | 613,32                          | 6,52 | 18,45      | 118,14             | 654,86                          | 25,25                 |
| D26 | K_600_4_H120_B1500  | 6,27       | 1398,38 | 43,80        | 1780,56 | 43,80       | 1780,56 | B.E.         | 6,99               | 0,07       |               | 4000,00     | 613,32                          | 6,52 | 24,60      | 72,37              |                                 |                       |
| D27 | D1_600_4_H120_B1500 | 6,21       | 1634,93 | 40,78        | 2053,45 | 40,78       | 2053,45 | B.E.         | 6,57               | 0,07       | -0,79         | 4000,00     | 613,32                          | 6,52 | 24,69      | 83,17              | 1302,59                         | 15,33                 |
| D28 | D2_600_4_H120_B1500 | 6,55       | 1709,90 | 34,89        | 2138,66 | 34,89       | 2138,66 | B.E.         | 5,32               | 0,07       | -0,79         | 4000,00     | 613,32                          | 6,52 | 24,78      | 86,32              | 658,02                          | 20,11                 |
| D29 | T1_600_4_H120_B1500 | 6,76       | 1739,60 | 34,49        | 2083,58 | 34,49       | 2083,58 | B.E.         | 5,10               | 0,07       | -0,97         | 4000,00     | 613,32                          | 6,52 | 24,69      | 84,38              | 1303,00                         | 17,02                 |
| D30 | T2_600_4_H120_B1500 | 6,49       | 1753,71 | 34,55        | 2218,49 | 34,55       | 2218,49 | B.E.         | 5,32               | 0,06       | -0,98         | 4000,00     | 613,32                          | 6,52 | 24,78      | 89,52              | 655,88                          | 24,60                 |

|     |                     |       |         |        |         |        |         |      |      |      |       |         |        |       |       |       |         |       |
|-----|---------------------|-------|---------|--------|---------|--------|---------|------|------|------|-------|---------|--------|-------|-------|-------|---------|-------|
| D31 | K_600_6_H80_B1000   | 12,89 | 840,44  | 72,30  | 1035,95 | 72,30  | 1035,95 | B.E. | 5,61 | 0,19 |       | 6000,00 | 608,88 | 9,85  | 20,35 | 50,90 |         |       |
| D32 | D1_600_6_H80_B1000  | 13,33 | 1023,21 | 49,66  | 1252,16 | 49,66  | 1252,16 | B.E. | 3,73 | 0,19 | -1,91 | 6000,00 | 608,88 | 9,85  | 20,48 | 61,13 | 1302,50 | 20,87 |
| D33 | D2_600_6_H80_B1000  | 13,31 | 1046,37 | 39,21  | 1361,86 | 39,21  | 1361,86 | B.E. | 2,95 | 0,19 | -1,92 | 6000,00 | 608,88 | 9,85  | 20,61 | 66,07 | 658,15  | 31,46 |
| D34 | T1_600_6_H80_B1000  | 13,06 | 1040,14 | 49,34  | 1273,79 | 49,34  | 1273,79 | B.E. | 3,78 | 0,19 | -2,22 | 6000,00 | 608,88 | 9,85  | 20,49 | 62,18 | 1303,55 | 22,96 |
| D35 | T2_600_6_H80_B1000  | 13,03 | 1068,15 | 41,12  | 1410,44 | 41,12  | 1410,44 | B.E. | 3,16 | 0,19 | -2,24 | 6000,00 | 608,88 | 9,85  | 20,62 | 68,41 | 657,94  | 36,15 |
| D36 | K_600_6_H80_B1500   | 11,83 | 865,21  | 52,11  | 1055,28 | 52,11  | 1055,28 | B.E. | 4,41 | 0,23 |       | 6000,00 | 608,88 | 9,85  | 26,73 | 39,48 |         |       |
| D37 | D1_600_6_H80_B1500  | 12,28 | 1057,62 | 43,39  | 1275,39 | 43,39  | 1275,39 | B.E. | 3,53 | 0,23 | -1,87 | 6000,00 | 608,88 | 9,85  | 26,86 | 47,48 | 1303,58 | 20,86 |
| D38 | D2_600_6_H80_B1500  | 12,26 | 1081,03 | 34,38  | 1368,81 | 34,38  | 1368,81 | B.E. | 2,80 | 0,23 | -1,89 | 6000,00 | 608,88 | 9,85  | 26,99 | 50,71 | 659,18  | 29,71 |
| D39 | T1_600_6_H80_B1500  | 12,02 | 1073,92 | 37,36  | 1290,79 | 37,36  | 1290,79 | B.E. | 3,11 | 0,23 | -2,16 | 6000,00 | 608,88 | 9,85  | 26,86 | 48,05 | 1304,89 | 22,32 |
| D40 | T2_600_6_H80_B1500  | 11,99 | 1101,84 | 34,60  | 1410,05 | 34,60  | 1410,05 | B.E. | 2,89 | 0,23 | -2,18 | 6000,00 | 608,88 | 9,85  | 26,99 | 52,24 | 659,22  | 33,62 |
| D41 | K_600_6_H100_B1000  | 11,82 | 858,03  | 86,31  | 1089,53 | 86,31  | 1089,53 | B.E. | 7,30 | 0,21 |       | 6000,00 | 611,10 | 9,82  | 23,36 | 46,64 |         |       |
| D42 | D1_600_6_H100_B1000 | 12,30 | 1046,46 | 54,41  | 1298,51 | 54,41  | 1298,51 | B.E. | 4,42 | 0,20 | -1,85 | 6000,00 | 611,10 | 9,82  | 23,49 | 55,28 | 1303,18 | 19,18 |
| D43 | D2_600_6_H100_B1000 | 12,28 | 1069,33 | 42,80  | 1441,84 | 42,80  | 1441,84 | B.E. | 3,49 | 0,20 | -1,87 | 6000,00 | 611,10 | 9,82  | 23,62 | 61,04 | 658,82  | 32,34 |
| D44 | T1_600_6_H100_B1000 | 12,04 | 1061,73 | 55,37  | 1320,99 | 55,37  | 1320,99 | B.E. | 4,60 | 0,20 | -2,14 | 6000,00 | 611,10 | 9,82  | 23,49 | 56,23 | 1304,60 | 21,24 |
| D45 | T2_600_6_H100_B1000 | 12,01 | 1088,75 | 46,12  | 1490,20 | 46,12  | 1490,20 | B.E. | 3,84 | 0,20 | -2,16 | 6000,00 | 611,10 | 9,82  | 23,62 | 63,08 | 658,95  | 36,77 |
| D46 | K_600_6_H100_B1500  | 10,77 | 874,19  | 70,35  | 1114,13 | 70,35  | 1114,13 | B.E. | 6,53 | 0,25 |       | 6000,00 | 611,10 | 9,82  | 31,20 | 35,71 |         |       |
| D47 | D1_600_6_H100_B1500 | 11,27 | 1071,69 | 55,67  | 1335,77 | 55,67  | 1335,77 | B.E. | 4,94 | 0,25 | -1,82 | 6000,00 | 611,10 | 9,82  | 31,33 | 42,63 | 1304,49 | 19,89 |
| D48 | D2_600_6_H100_B1500 | 11,25 | 1095,30 | 53,20  | 1536,65 | 53,20  | 1536,65 | B.E. | 4,73 | 0,25 | -1,83 | 6000,00 | 611,10 | 9,82  | 31,46 | 48,84 | 660,06  | 37,92 |
| D49 | T1_600_6_H100_B1500 | 11,03 | 1084,13 | 52,36  | 1354,72 | 52,36  | 1354,72 | B.E. | 4,75 | 0,25 | -2,09 | 6000,00 | 611,10 | 9,82  | 31,33 | 43,23 | 1306,16 | 21,59 |
| D50 | T2_600_6_H100_B1500 | 11,00 | 1110,16 | 53,49  | 1557,70 | 53,49  | 1557,70 | B.E. | 4,86 | 0,24 | -2,11 | 6000,00 | 611,10 | 9,82  | 31,47 | 49,50 | 660,44  | 39,81 |
| D51 | K_600_6_H120_B1000  | 10,77 | 860,00  | 93,97  | 1154,26 | 93,97  | 1154,26 | B.E. | 8,73 | 0,22 |       | 6000,00 | 613,32 | 9,78  | 26,37 | 43,77 |         |       |
| D52 | D1_600_6_H120_B1000 | 11,29 | 1055,19 | 68,89  | 1364,69 | 68,89  | 1364,69 | B.E. | 6,10 | 0,21 | -1,80 | 6000,00 | 613,32 | 9,78  | 26,50 | 51,50 | 1303,89 | 18,23 |
| D53 | D2_600_6_H120_B1000 | 11,27 | 1073,83 | 56,26  | 1577,97 | 56,26  | 1577,97 | B.E. | 4,99 | 0,21 | -1,81 | 6000,00 | 613,32 | 9,78  | 26,63 | 59,26 | 659,50  | 36,71 |
| D54 | T1_600_6_H120_B1000 | 11,05 | 1065,76 | 68,41  | 1384,20 | 68,41  | 1384,20 | B.E. | 6,19 | 0,21 | -2,07 | 6000,00 | 613,32 | 9,78  | 26,50 | 52,23 | 1305,61 | 19,92 |
| D55 | T2_600_6_H120_B1000 | 12,11 | 1151,30 | 56,43  | 1599,52 | 56,43  | 1599,52 | B.E. | 4,66 | 0,21 | -2,09 | 6000,00 | 613,32 | 9,78  | 26,63 | 60,06 | 659,93  | 38,58 |
| D56 | K_600_6_H120_B1500  | 10,83 | 915,57  | 70,57  | 1179,47 | 70,57  | 1179,47 | B.E. | 6,52 | 0,27 |       | 6000,00 | 613,32 | 9,78  | 35,59 | 33,14 |         |       |
| D57 | D1_600_6_H120_B1500 | 11,37 | 1130,54 | 68,80  | 1415,59 | 68,80  | 1415,59 | B.E. | 6,05 | 0,27 | -1,76 | 6000,00 | 613,32 | 9,78  | 35,72 | 39,63 | 1305,40 | 20,02 |
| D58 | D2_600_6_H120_B1500 | 11,34 | 1157,53 | 52,11  | 1603,83 | 52,11  | 1603,83 | B.E. | 4,59 | 0,26 | -1,77 | 6000,00 | 613,32 | 9,78  | 35,85 | 44,74 | 660,94  | 35,98 |
| D59 | T1_600_6_H120_B1500 | 11,14 | 1146,79 | 66,71  | 1433,98 | 66,71  | 1433,98 | B.E. | 5,99 | 0,26 | -2,02 | 6000,00 | 613,32 | 9,78  | 35,72 | 40,14 | 1307,40 | 21,58 |
| D60 | T2_600_6_H120_B1500 | 11,10 | 1178,52 | 55,02  | 1637,34 | 55,02  | 1637,34 | B.E. | 4,96 | 0,26 | -2,04 | 6000,00 | 613,32 | 9,78  | 35,85 | 45,67 | 661,64  | 38,82 |
| D61 | K_600_8_H80_B1000   | 20,41 | 617,67  |        |         | 148,42 | 783,41  | B.E. | 7,27 | 0,57 |       | 8000,00 | 608,88 | 13,14 | 26,57 | 29,48 |         |       |
| D62 | D1_600_8_H80_B1000  | 24,52 | 802,56  | 65,52  | 915,57  | 65,52  | 915,57  | B.E. | 2,67 | 0,92 | -3,87 | 8000,00 | 608,88 | 13,14 | 26,74 | 34,23 | 1304,74 | 16,87 |
| D63 | D2_600_8_H80_B1000  | 24,45 | 838,50  | 68,74  | 1093,75 | 68,74  | 1093,75 | B.E. | 2,81 | 0,91 | -3,89 | 8000,00 | 608,88 | 13,14 | 26,92 | 40,63 | 660,36  | 39,61 |
| D64 | T1_600_8_H80_B1000  | 21,48 | 777,71  | 119,65 | 959,81  | 119,65 | 959,81  | B.E. | 5,57 | 0,55 | -3,82 | 8000,00 | 608,88 | 13,14 | 26,75 | 35,89 | 1306,49 | 22,52 |
| D65 | T2_600_8_H80_B1000  | 21,42 | 799,75  | 99,82  | 1129,22 | 99,82  | 1129,22 | B.E. | 4,66 | 0,54 | -3,87 | 8000,00 | 608,88 | 13,14 | 26,92 | 41,95 | 661,26  | 44,14 |

|      |                     |       |        |        |         |        |         |      |      |      |       |          |        |       |       |       |         |       |
|------|---------------------|-------|--------|--------|---------|--------|---------|------|------|------|-------|----------|--------|-------|-------|-------|---------|-------|
| D66  | K_600_8_H80_B1500   | 19,04 | 645,39 |        |         | 146,01 | 816,64  | B.E. | 7,67 | 0,68 |       | 8000,00  | 608,88 | 13,14 | 34,89 | 23,40 |         |       |
| D67  | D1_600_8_H80_B1500  | 20,49 | 805,88 | 117,07 | 979,71  | 117,07 | 979,71  | B.E. | 5,71 | 0,67 | -3,32 | 8000,00  | 608,88 | 13,14 | 35,07 | 27,94 | 1306,62 | 19,97 |
| D68  | D2_600_8_H80_B1500  | 20,44 | 826,30 | 82,49  | 1111,16 | 82,49  | 1111,16 | B.E. | 4,04 | 0,66 | -3,35 | 8000,00  | 608,88 | 13,14 | 35,24 | 31,53 | 662,18  | 36,06 |
| D69  | T1_600_8_H80_B1500  | 20,14 | 818,19 | 126,95 | 997,46  | 126,95 | 997,46  | B.E. | 6,30 | 0,67 | -3,72 | 8000,00  | 608,88 | 13,14 | 35,07 | 28,44 | 1308,55 | 22,14 |
| D70  | T2_600_8_H80_B1500  | 20,08 | 842,74 | 93,25  | 1167,17 | 93,25  | 1167,17 | B.E. | 4,64 | 0,65 | -3,77 | 8000,00  | 608,88 | 13,14 | 35,24 | 33,12 | 663,24  | 42,92 |
| D71  | K_600_8_H100_B1000  | 19,04 | 631,18 |        |         | 148,46 | 818,21  | B.E. | 7,80 | 0,60 |       | 8000,00  | 611,10 | 13,09 | 30,52 | 26,81 |         |       |
| D72  | D1_600_8_H100_B1000 | 20,53 | 788,63 |        |         | 147,72 | 989,97  | B.E. | 7,19 | 0,59 | -3,29 | 8000,00  | 611,10 | 13,09 | 30,69 | 32,25 | 1305,83 | 20,99 |
| D73  | D2_600_8_H100_B1000 | 20,49 | 807,42 | 93,64  | 1139,08 | 93,64  | 1139,08 | B.E. | 4,57 | 0,58 | -3,32 | 8000,00  | 611,10 | 13,09 | 30,87 | 36,90 | 661,42  | 39,22 |
| D74  | T1_600_8_H100_B1000 | 20,18 | 800,96 | 146,13 | 1002,94 | 146,13 | 1002,94 | B.E. | 7,24 | 0,59 | -3,69 | 8000,00  | 611,10 | 13,09 | 30,69 | 32,68 | 1307,80 | 22,58 |
| D75  | T2_600_8_H100_B1000 | 20,12 | 823,37 | 111,05 | 1180,68 | 111,05 | 1180,68 | B.E. | 5,52 | 0,58 | -3,74 | 8000,00  | 611,10 | 13,09 | 30,87 | 38,25 | 662,52  | 44,30 |
| D76  | K_600_8_H100_B1500  | 17,72 | 653,49 |        |         | 147,56 | 858,58  | B.E. | 8,33 | 0,74 |       | 8000,00  | 611,10 | 13,09 | 40,78 | 21,05 |         |       |
| D77  | D1_600_8_H100_B1500 | 19,22 | 826,85 | 147,02 | 1035,74 | 147,02 | 1035,74 | B.E. | 7,65 | 0,72 | -3,22 | 8000,00  | 611,10 | 13,09 | 40,95 | 25,29 | 1307,95 | 20,63 |
| D78  | D2_600_8_H100_B1500 | 19,17 | 847,83 | 101,43 | 1183,36 | 101,43 | 1183,36 | B.E. | 5,29 | 0,71 | -3,25 | 8000,00  | 611,10 | 13,09 | 41,12 | 28,78 | 663,46  | 37,83 |
| D79  | T1_500_8_H100_B1500 | 18,92 | 838,47 | 147,07 | 1050,07 | 147,07 | 1050,07 | B.E. | 7,77 | 0,72 | -3,57 | 8000,00  | 611,10 | 13,09 | 40,95 | 25,64 | 1299,19 | 22,30 |
| D80  | T2_600_8_H100_B1500 | 18,87 | 862,91 | 111,60 | 1224,84 | 111,60 | 1224,84 | B.E. | 5,91 | 0,70 | -3,58 | 8000,00  | 611,10 | 13,09 | 41,13 | 29,78 | 654,26  | 42,66 |
| D81  | K_600_8_H120_B1000  | 19,10 | 669,40 |        |         | 148,14 | 859,19  | B.E. | 7,76 | 0,63 |       | 8000,00  | 613,32 | 13,04 | 34,47 | 24,92 |         |       |
| D82  | D1_600_8_H120_B1000 | 19,18 | 811,22 |        |         | 147,65 | 1032,35 | B.E. | 7,70 | 0,62 | -3,19 | 8000,00  | 613,32 | 13,04 | 34,64 | 29,80 | 1306,80 | 20,15 |
| D83  | D2_600_8_H120_B1000 | 20,62 | 857,55 | 101,69 | 1188,24 | 101,69 | 1188,24 | B.E. | 4,93 | 0,61 | -3,22 | 8000,00  | 613,32 | 13,04 | 34,82 | 34,13 | 662,36  | 38,30 |
| D84  | T1_600_8_H120_B1000 | 20,37 | 848,71 |        |         | 147,58 | 1045,62 | B.E. | 7,24 | 0,62 | -3,54 | 8000,00  | 613,32 | 13,04 | 34,65 | 30,18 | 1298,05 | 21,70 |
| D85  | T2_600_8_H120_B1000 | 20,33 | 873,53 | 114,27 | 1224,72 | 114,27 | 1224,72 | B.E. | 5,62 | 0,60 | -3,56 | 8000,00  | 613,32 | 13,04 | 34,82 | 35,17 | 653,18  | 42,54 |
| D86  | K_600_8_H120_B1500  | 17,80 | 692,76 |        |         | 147,23 | 910,03  | B.E. | 8,27 | 0,78 |       | 8000,00  | 613,32 | 13,04 | 46,58 | 19,54 |         |       |
| D87  | D1_600_8_H120_B1500 | 17,92 | 845,89 |        |         | 146,73 | 1088,46 | B.E. | 8,19 | 0,77 | -3,10 | 8000,00  | 613,32 | 13,04 | 46,75 | 23,28 | 1298,12 | 19,61 |
| D88  | D2_600_8_H120_B1500 | 17,89 | 866,28 | 106,30 | 1238,81 | 106,30 | 1238,81 | B.E. | 5,94 | 0,75 | -3,10 | 8000,00  | 613,32 | 13,04 | 46,92 | 26,40 | 653,94  | 36,13 |
| D89  | T1_600_8_H120_B1500 | 17,61 | 857,16 |        |         | 146,78 | 1102,85 | B.E. | 8,34 | 0,76 | -3,45 | 8000,00  | 613,32 | 13,04 | 46,75 | 23,59 | 1300,80 | 21,19 |
| D90  | T2_600_8_H120_B1500 | 17,57 | 881,00 | 113,00 | 1279,61 | 113,00 | 1279,61 | B.E. | 6,43 | 0,75 | -3,47 | 8000,00  | 613,32 | 13,04 | 46,93 | 27,27 | 655,80  | 40,61 |
| D91  | K_600_10_H80_B1000  | 29,72 | 483,11 |        |         | 185,69 | 619,89  | B.E. | 6,25 | 1,33 |       | 10000,00 | 608,88 | 16,42 | 32,79 | 18,91 |         |       |
| D92  | D1_600_10_H80_B1000 | 32,60 | 609,00 | 151,47 | 751,90  | 151,47 | 751,90  | B.E. | 4,65 | 1,31 | -5,30 | 10000,00 | 608,88 | 16,42 | 33,00 | 22,78 | 1307,90 | 21,30 |
| D93  | D2_600_10_H80_B1000 | 32,53 | 623,57 | 121,94 | 854,72  | 121,94 | 854,72  | B.E. | 3,75 | 1,29 | -5,34 | 10000,00 | 608,88 | 16,42 | 33,22 | 25,73 | 663,46  | 37,88 |
| D94  | T1_600_10_H80_B1000 | 32,14 | 618,30 | 150,83 | 763,98  | 150,83 | 763,98  | B.E. | 4,69 | 1,31 | -5,84 | 10000,00 | 608,88 | 16,42 | 33,01 | 23,15 | 1299,74 | 23,24 |
| D95  | T2_600_10_H80_B1000 | 32,08 | 635,42 | 128,56 | 880,73  | 128,56 | 880,73  | B.E. | 4,01 | 1,28 | -5,88 | 10000,00 | 608,88 | 16,42 | 33,22 | 26,51 | 654,16  | 42,08 |
| D96  | K_600_10_H80_B1500  | 28,10 | 511,76 |        |         | 184,14 | 646,44  | N.D. | 6,55 | 1,59 |       | 10000,00 | 608,88 | 16,42 | 43,06 | 15,01 |         |       |
| D97  | D1_600_10_H80_B1500 | 29,17 | 631,89 |        |         | 183,33 | 787,45  | N.D. | 6,28 | 1,56 | -5,14 | 10000,00 | 608,88 | 16,42 | 43,27 | 18,20 | 1299,44 | 21,81 |
| D98  | D2_600_10_H80_B1500 | 29,14 | 646,53 |        |         | 179,17 | 920,21  | N.D. | 6,15 | 1,54 | -5,14 | 10000,00 | 608,88 | 16,42 | 43,49 | 21,16 | 655,24  | 42,35 |
| D99  | T1_600_10_H80_B1500 | 28,72 | 640,16 |        |         | 182,83 | 797,98  | N.D. | 6,37 | 1,56 | -5,68 | 10000,00 | 608,88 | 16,42 | 43,27 | 18,44 | 1301,82 | 23,44 |
| D100 | T2_600_10_H80_B1500 | 30,50 | 677,88 |        |         | 181,00 | 949,77  | N.D. | 5,93 | 1,52 | -5,72 | 10000,00 | 608,88 | 16,42 | 43,49 | 21,84 | 656,99  | 46,92 |

|      |                      |       |        |        |        |        |         |      |      |      |       |          |        |       |       |       |         |       |
|------|----------------------|-------|--------|--------|--------|--------|---------|------|------|------|-------|----------|--------|-------|-------|-------|---------|-------|
| D101 | K_600_10_H100_B1000  | 28,01 | 500,95 |        |        | 185,90 | 649,58  | N.D. | 6,64 | 1,41 |       | 10000,00 | 611,10 | 16,36 | 37,68 | 17,24 |         |       |
| D102 | D1_600_10_H100_B1000 | 31,00 | 634,76 |        |        | 184,88 | 788,14  | N.D. | 5,96 | 1,39 | -5,09 | 10000,00 | 611,10 | 16,36 | 37,90 | 20,80 | 1298,12 | 21,33 |
| D103 | D2_600_10_H100_B1000 | 30,96 | 649,76 |        |        | 179,83 | 916,37  | N.D. | 5,81 | 1,37 | -5,09 | 10000,00 | 611,10 | 16,36 | 38,11 | 24,04 | 653,99  | 41,07 |
| D104 | T1_600_10_H100_B1000 | 30,53 | 644,56 |        |        | 184,30 | 798,49  | N.D. | 6,04 | 1,38 | -5,64 | 10000,00 | 611,10 | 16,36 | 37,90 | 21,07 | 1300,59 | 22,92 |
| D105 | T2_600_10_H100_B1000 | 30,47 | 662,83 | 165,06 | 944,57 | 165,06 | 944,57  | B.E. | 5,42 | 1,35 | -5,68 | 10000,00 | 611,10 | 16,36 | 38,11 | 24,78 | 655,76  | 45,41 |
| D106 | K_600_10_H100_B1500  | 26,47 | 526,30 |        |        | 185,13 | 679,86  | N.D. | 6,99 | 1,72 |       | 10000,00 | 611,10 | 16,36 | 50,35 | 13,50 |         |       |
| D107 | D1_600_10_H100_B1500 | 27,61 | 655,75 |        |        | 184,67 | 823,29  | N.D. | 6,69 | 1,69 | -4,98 | 10000,00 | 611,10 | 16,36 | 50,57 | 16,28 | 1301,29 | 21,10 |
| D108 | D2_600_10_H100_B1500 | 27,57 | 671,37 |        |        | 181,29 | 956,95  | N.D. | 6,57 | 1,66 | -4,98 | 10000,00 | 611,10 | 16,36 | 50,79 | 18,84 | 657,03  | 40,76 |
| D109 | T1_600_10_H100_B1500 | 27,18 | 664,23 |        |        | 184,29 | 833,56  | N.D. | 6,78 | 1,68 | -5,49 | 10000,00 | 611,10 | 16,36 | 50,57 | 16,48 | 1304,02 | 22,61 |
| D110 | T2_600_10_H100_B1500 | 27,11 | 682,58 |        |        | 182,99 | 987,18  | N.D. | 6,75 | 1,64 | -5,52 | 10000,00 | 611,10 | 16,36 | 50,79 | 19,44 | 659,10  | 45,20 |
| D111 | K_600_10_H120_B1000  | 28,10 | 533,68 |        |        | 185,25 | 682,15  | N.D. | 6,59 | 1,48 |       | 10000,00 | 613,32 | 16,30 | 42,57 | 16,02 |         |       |
| D112 | D1_600_10_H120_B1000 | 29,34 | 658,27 |        |        | 184,42 | 821,41  | N.D. | 6,28 | 1,46 | -4,94 | 10000,00 | 613,32 | 16,30 | 42,79 | 19,20 | 1299,42 | 20,42 |
| D113 | D2_600_10_H120_B1000 | 29,30 | 673,92 |        |        | 180,79 | 950,54  | N.D. | 6,17 | 1,43 | -4,95 | 10000,00 | 613,32 | 16,30 | 43,00 | 22,10 | 655,24  | 39,35 |
| D114 | T1_600_10_H120_B1000 | 28,91 | 667,88 |        |        | 183,97 | 831,41  | N.D. | 6,36 | 1,45 | -5,46 | 10000,00 | 613,32 | 16,30 | 42,79 | 19,43 | 1302,14 | 21,88 |
| D115 | T2_600_10_H120_B1000 | 28,84 | 686,72 |        |        | 182,51 | 979,77  | N.D. | 6,33 | 1,42 | -5,49 | 10000,00 | 613,32 | 16,30 | 43,01 | 22,78 | 657,30  | 43,63 |
| D116 | K_600_10_H120_B1500  | 26,61 | 559,14 |        |        | 184,63 | 720,74  | N.D. | 6,94 | 1,83 |       | 10000,00 | 613,32 | 16,30 | 57,57 | 12,52 |         |       |
| D117 | D1_600_10_H120_B1500 | 26,01 | 674,98 |        |        | 184,44 | 866,50  | N.D. | 7,09 | 1,79 | -4,83 | 10000,00 | 613,32 | 16,30 | 57,78 | 15,00 | 1303,08 | 20,22 |
| D118 | D2_600_10_H120_B1500 | 25,98 | 690,64 |        |        | 182,10 | 1001,45 | N.D. | 7,01 | 1,76 | -4,83 | 10000,00 | 613,32 | 16,30 | 58,00 | 17,27 | 658,74  | 38,95 |
| D119 | T1_600_10_H120_B1500 | 25,61 | 682,39 |        |        | 184,19 | 876,64  | N.D. | 7,19 | 1,78 | -5,31 | 10000,00 | 613,32 | 16,30 | 57,78 | 15,17 | 1306,11 | 21,63 |
| D120 | T2_600_10_H120_B1500 | 27,38 | 726,75 |        |        | 183,30 | 1031,63 | N.D. | 6,69 | 1,74 | -5,34 | 10000,00 | 613,32 | 16,30 | 58,00 | 17,79 | 661,11  | 43,13 |
| D121 | K_600_12_H80_B1000   | 41,09 | 399,79 |        |        | 223,16 | 514,97  | N.D. | 5,43 | 2,71 |       | 12000,00 | 608,88 | 19,71 | 39,01 | 13,20 |         |       |
| D122 | D1_600_12_H80_B1000  | 43,80 | 498,03 | 192,08 | 627,55 | 192,08 | 627,55  | B.E. | 4,39 | 2,67 | -7,56 | 12000,00 | 608,88 | 19,71 | 39,26 | 15,98 | 1300,53 | 21,86 |
| D123 | D2_600_12_H80_B1000  | 45,99 | 521,92 | 169,48 | 709,38 | 169,48 | 709,38  | B.E. | 3,69 | 2,63 | -7,56 | 12000,00 | 608,88 | 19,71 | 39,52 | 17,95 | 656,34  | 37,75 |
| D124 | T1_600_12_H80_B1000  | 45,33 | 517,70 | 188,70 | 636,86 | 188,70 | 636,86  | B.E. | 4,16 | 2,65 | -8,35 | 12000,00 | 608,88 | 19,71 | 39,27 | 16,22 | 1303,99 | 23,67 |
| D125 | T2_600_12_H80_B1000  | 45,23 | 532,17 | 166,64 | 725,38 | 166,64 | 725,38  | B.E. | 3,68 | 2,60 | -8,41 | 12000,00 | 608,88 | 19,71 | 39,53 | 18,35 | 658,14  | 40,86 |
| D126 | K_600_12_H80_B1500   | 39,33 | 427,95 |        |        | 223,67 | 536,87  | N.D. | 5,69 | 3,23 |       | 12000,00 | 608,88 | 19,71 | 51,22 | 10,48 |         |       |
| D127 | D1_600_12_H80_B1500  | 39,75 | 522,25 |        |        | 222,64 | 654,16  | N.D. | 5,60 | 3,17 | -7,40 | 12000,00 | 608,88 | 19,71 | 51,48 | 12,71 | 1304,22 | 21,85 |
| D128 | D2_600_12_H80_B1500  | 41,90 | 549,05 |        |        | 216,18 | 766,12  | N.D. | 5,16 | 3,11 | -7,40 | 12000,00 | 608,88 | 19,71 | 51,74 | 14,81 | 659,90  | 42,70 |
| D129 | T1_600_12_H80_B1500  | 41,37 | 544,03 |        |        | 221,44 | 663,18  | N.D. | 5,35 | 3,15 | -8,12 | 12000,00 | 608,88 | 19,71 | 51,48 | 12,88 | 1306,94 | 23,53 |
| D130 | T2_600_12_H80_B1500  | 41,26 | 559,65 |        |        | 218,99 | 789,42  | N.D. | 5,31 | 3,08 | -8,17 | 12000,00 | 608,88 | 19,71 | 51,74 | 15,26 | 662,02  | 47,04 |
| D131 | K_600_12_H100_B1000  | 41,25 | 430,57 |        |        | 223,85 | 540,60  | N.D. | 5,43 | 2,87 |       | 12000,00 | 611,10 | 19,64 | 44,84 | 12,06 |         | 0,00  |
| D132 | D1_600_12_H100_B1000 | 41,81 | 523,09 |        |        | 222,94 | 656,37  | N.D. | 5,33 | 2,82 | -7,34 | 12000,00 | 611,10 | 19,64 | 45,10 | 14,55 | 1302,28 | 21,42 |
| D133 | D2_600_12_H100_B1000 | 41,86 | 533,73 | 209,90 | 766,84 | 209,90 | 766,84  | B.E. | 5,01 | 2,77 | -7,21 | 12000,00 | 611,10 | 19,64 | 45,36 | 16,91 | 647,28  | 41,85 |
| D134 | T1_600_12_H100_B1000 | 41,22 | 529,62 |        |        | 221,92 | 665,42  | N.D. | 5,38 | 2,80 | -8,06 | 12000,00 | 611,10 | 19,64 | 45,10 | 14,75 | 1305,09 | 23,09 |
| D135 | T2_600_12_H100_B1000 | 43,35 | 558,79 | 197,26 | 781,21 | 197,26 | 781,21  | B.E. | 4,55 | 2,75 | -8,12 | 12000,00 | 611,10 | 19,64 | 45,36 | 17,22 | 660,16  | 44,51 |

|      |                      |       |        |  |        |        |      |      |      |       |          |        |       |       |       |         |       |
|------|----------------------|-------|--------|--|--------|--------|------|------|------|-------|----------|--------|-------|-------|-------|---------|-------|
| D136 | K_600_12_H100_B1500  | 37,44 | 445,25 |  | 224,07 | 566,04 | N.D. | 5,98 | 3,48 |       | 12000,00 | 611,10 | 19,64 | 59,93 | 9,45  |         |       |
| D137 | D1_600_12_H100_B1500 | 37,94 | 546,85 |  | 223,86 | 685,19 | N.D. | 5,90 | 3,41 | -7,17 | 12000,00 | 611,10 | 19,64 | 60,19 | 11,38 | 1306,74 | 21,05 |
| D138 | D2_600_12_H100_B1500 | 37,88 | 559,19 |  | 218,60 | 798,91 | N.D. | 5,77 | 3,35 | -7,18 | 12000,00 | 611,10 | 19,64 | 60,45 | 13,22 | 662,30  | 41,14 |
| D139 | T1_600_12_H100_B1500 | 37,44 | 552,34 |  | 222,95 | 694,05 | N.D. | 5,95 | 3,39 | -7,77 | 12000,00 | 611,10 | 19,64 | 60,19 | 11,53 | 1298,76 | 22,61 |
| D140 | T2_600_12_H100_B1500 | 39,59 | 584,99 |  | 220,87 | 822,44 | N.D. | 5,58 | 3,31 | -7,77 | 12000,00 | 611,10 | 19,64 | 60,45 | 13,61 | 654,16  | 45,30 |
| D141 | K_600_12_H120_B1000  | 39,23 | 446,74 |  | 223,95 | 568,43 | N.D. | 5,71 | 3,01 |       | 12000,00 | 613,32 | 19,57 | 50,67 | 11,22 |         |       |
| D142 | D1_600_12_H120_B1000 | 39,87 | 544,89 |  | 222,91 | 685,54 | N.D. | 5,59 | 2,95 | -7,12 | 12000,00 | 613,32 | 19,57 | 50,93 | 13,46 | 1303,98 | 20,60 |
| D143 | D2_600_12_H120_B1000 | 39,82 | 556,97 |  | 217,62 | 796,50 | N.D. | 5,46 | 2,90 | -7,12 | 12000,00 | 613,32 | 19,57 | 51,19 | 15,56 | 659,67  | 40,12 |
| D144 | T1_600_12_H120_B1000 | 39,31 | 551,61 |  | 221,85 | 693,97 | N.D. | 5,64 | 2,94 | -7,80 | 12000,00 | 613,32 | 19,57 | 50,93 | 13,63 | 1307,00 | 22,09 |
| D145 | T2_600_12_H120_B1000 | 41,45 | 582,03 |  | 219,83 | 817,34 | N.D. | 5,30 | 2,87 | -7,86 | 12000,00 | 613,32 | 19,57 | 51,19 | 15,97 | 662,10  | 43,79 |
| D146 | K_600_12_H120_B1500  | 35,51 | 459,84 |  | 223,47 | 600,76 | N.D. | 6,29 | 3,70 |       | 12000,00 | 613,32 | 19,57 | 68,55 | 8,76  |         |       |
| D147 | D1_600_12_H120_B1500 | 36,15 | 566,01 |  | 223,62 | 721,96 | N.D. | 6,19 | 3,62 | -6,90 | 12000,00 | 613,32 | 19,57 | 68,81 | 10,49 | 1298,01 | 20,17 |
| D148 | D2_600_12_H120_B1500 | 38,35 | 595,99 |  | 219,80 | 836,03 | N.D. | 5,73 | 3,55 | -6,84 | 12000,00 | 613,32 | 19,57 | 69,07 | 12,10 | 653,85  | 39,16 |
| D149 | T1_600_12_H120_B1500 | 37,85 | 589,44 |  | 222,99 | 730,57 | N.D. | 5,89 | 3,60 | -7,52 | 12000,00 | 613,32 | 19,57 | 68,81 | 10,62 | 1301,45 | 21,61 |
| D150 | T2_600_12_H120_B1500 | 37,77 | 606,54 |  | 221,77 | 860,21 | N.D. | 5,87 | 3,52 | -7,51 | 12000,00 | 613,32 | 19,57 | 69,07 | 12,45 | 656,74  | 43,19 |