

**T.C.**  
**İSTANBUL KÜLTÜR ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**BETONARME VE ÇELİK BAĞ KİRİŞLİ BETONARME PERDELERİN  
PERFORMANS ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Batuhan SERİNKAN**

**1700001009**

**Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği**  
**Programı: Yapı**

**Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Erdal COŞKUN**

**KASIM 2020**

**T.C.**  
**İSTANBUL KÜLTÜR ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**BETONARME VE ÇELİK BAĞ KİRİŞLİ BETONARME PERDELERİN  
PERFORMANS ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**Batuhan SERİNKAN**  
**1700001009**

**Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği**  
**Programı: Yapı**

**Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Erdal COŞKUN**

**Jüri Üyeleri: Dr. Öğr. Üyesi Gökhan YAZICI (İKÜ)**

**Prof. Dr. Cenk ALHAN (İÜ-Cerrahpaşa)**

**Yedek: Dr. Öğr. Üyesi Edip SEÇKİN (İKÜ)**

**KASIM 2020**

## ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim boyunca, her konuda değerli vaktini ayırıpengin bilgi ve deneyimleri ile bize yol gösteren, değerli hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Erdal COŞKUN' a teşekkürlerimi ve şükranlarımı sunarım.

Bu çalışma boyunca, bana her zaman destek ve yardımcı olan sevgili arkadaşım İnş. Yük. Müh. Yunus Emre GÜNAYDIN'a teşekkürlerimi büyük bir borç bilirim.



Batuhan SERİNKAN  
1700001009  
KASIM 2020

|                                                                                          |             |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>ÖNSÖZ .....</b>                                                                       | <b>i</b>    |
| <b>İÇİNDEKİLER .....</b>                                                                 | <b>ii</b>   |
| <b>KISALTMALAR .....</b>                                                                 | <b>v</b>    |
| <b>TABLolar .....</b>                                                                    | <b>vii</b>  |
| <b>ŞEKİL LİSTESİ .....</b>                                                               | <b>viii</b> |
| <b>GRAFİKLER .....</b>                                                                   | <b>ix</b>   |
| <b>ÖZET .....</b>                                                                        | <b>xi</b>   |
| <b>SUMMARY .....</b>                                                                     | <b>xii</b>  |
| <b>1. GİRİŞ .....</b>                                                                    | <b>1</b>    |
| <b>1.1. Konu .....</b>                                                                   | <b>1</b>    |
| <b>1.2. Çalışmanın Kapsamı .....</b>                                                     | <b>2</b>    |
| <b>2. AMAÇ VE YÖNTEM .....</b>                                                           | <b>4</b>    |
| <b>2.1.Yapıların Taşıyıcı Sistemlerine İlişkin Genel İlkeler .....</b>                   | <b>5</b>    |
| <b>2.2. Bina Performans Düzeyleri .....</b>                                              | <b>5</b>    |
| <b>2.2.1. Kesintisiz kullanım (KK) performans düzeyi .....</b>                           | <b>5</b>    |
| <b>2.2.2. Sınırlı hasar (SH) performans düzeyi .....</b>                                 | <b>5</b>    |
| <b>2.2.3. Kontrollü hasar (KH) performans düzeyi .....</b>                               | <b>5</b>    |
| <b>2.2.4. Göçmenin önlenmesi (GÖ) performans düzeyi .....</b>                            | <b>6</b>    |
| <b>2.3. Statik İtme Analizi .....</b>                                                    | <b>6</b>    |
| <b>2.4. Betonarme Perde Duvarlar .....</b>                                               | <b>7</b>    |
| <b>2.5. Bağ Kirişli Boşluklu Perde Duvar .....</b>                                       | <b>8</b>    |
| <b>2.5.1. Boşluklu perdelerde I. eşdeğer yaklaşım .....</b>                              | <b>11</b>   |
| <b>2.5.2. Boşluklu perdelerde II. eşdeğer yaklaşım .....</b>                             | <b>11</b>   |
| <b>2.5.3. Bağ kirişli boşluklu perde duvarlar arasında bağıl davranış derecesi .....</b> | <b>12</b>   |

|                                                                                                |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.5.4 Taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R) .....                                             | 15        |
| <b>3. BETONARME BAĞ KİRİŞLERİ VE ÇELİK BAĞ KİRİŞLERİNİN MODELLENMESİ .....</b>                 | <b>18</b> |
| 3.1. Betonarme Bağ Kirişleri .....                                                             | 18        |
| 3.1.1. Betonarme bağ kirişlerinin kesme dayanımı .....                                         | 21        |
| 3.2. Çelik Bağ Kirişleri .....                                                                 | 21        |
| 3.2.1. Geometrik modelleme .....                                                               | 22        |
| 3.2.2. Çelik bağ kirişinin gömülen uzunluğunun hesaplanması .....                              | 24        |
| 3.2.3. Çelik bağ kirişli perde duvarların AISC 341-16'ya göre tasarım kuralları .....          | 26        |
| <b>4. SAYISAL UYGULAMALAR .....</b>                                                            | <b>29</b> |
| 4.1. Betonarme Bağ Kirişli Boşluklu Perdelerin Taşıma Kuvvetine Göre Sayısal Uygulamalar ..... | 29        |
| 4.1.1.1. 100 cm x 30 cm boyutlarındaki 500 kN'a göre tasarlanan betonarme bağ kirişi .....     | 29        |
| 4.1.1.2. 100 cm x 30cm boyutlarındaki 600 kN'a göre tasarlanan betonarme bağ kirişi .....      | 33        |
| 4.1.1.3. 100 cm x 30cm boyutlarındaki 700 kN'a göre tasarlanan betonarme bağ kirişi .....      | 37        |
| 4.1.2.1. 125 cm x 30cm boyutlarındaki 500 kN'a göre tasarlanan betonarme bağ kirişi .....      | 41        |
| 4.1.2.2. 125 cm x 30cm boyutlarındaki 600 kN'a göre tasarlanan betonarme bağ kirişi .....      | 45        |
| 4.1.2.3. 125 cm x 30cm boyutlarındaki 700 kN'a göre tasarlanan betonarme bağ kirişi .....      | 49        |
| 4.1.3.1. 150 cm x 30cm boyutlarındaki 500 kN'a göre tasarlanan betonarme bağ kirişi .....      | 53        |
| 4.1.3.2. 150 cm x 30cm boyutlarındaki 600 kN'a göre tasarlanan betonarme bağ kirişi .....      | 57        |
| 4.1.3.3. 150 cm x 30cm boyutlarındaki 700 kN'a göre tasarlanan betonarme bağ kirişi .....      | 61        |

|                                                                                   |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>4.2. Çelik Bağ Kirişli Boşluklu Perdelerin Boşluk Oranlarına Göre Sayısal</b>  |           |
| Uygulamalar .....                                                                 | 65        |
| 4.2.1. 500 kN'a göre tasarlanan çelik bağ kirişi .....                            | 65        |
| 4.2.2. 600 kN'a göre tasarlanan çelik bağ kirişi .....                            | 67        |
| 4.2.3. 700 kN'a göre tasarlanan çelik bağ kirişi .....                            | 69        |
| <b>4.3. Çelik ve Betonarme Boşluklu Perdelerin Yer değiştirme Grafikleri ....</b> | <b>71</b> |
| 4.3.1. 10 katlı binanın yer değiştirme grafikleri .....                           | 71        |
| 4.3.2. 12 katlı binanın yer değiştirme grafikleri .....                           | 75        |
| 4.3.2. 10 katlı bina ile 12 katlı binanın yer değiştirme grafiklerinin            |           |
| karşılaştırması .....                                                             | 79        |
| <b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>                                              | <b>85</b> |
| <b>6. KAYNAKÇA .....</b>                                                          | <b>87</b> |
| <b>7. ÖZGEÇMİŞ .....</b>                                                          | <b>89</b> |

## KISALTMALAR

|                          |                                                                                                                                |
|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ACI</b>               | : American Concrete Institute                                                                                                  |
| <b>A<sub>s</sub></b>     | : Donatı kesit alanı                                                                                                           |
| <b>A<sub>sd</sub></b>    | : Betonarme bağ kirişinde bulunan her bir çapraz donatı demetinin toplam alanı                                                 |
| <b>A<sub>tw</sub></b>    | : Çelik bağ kirişinin gövde alanı                                                                                              |
| <b>b'</b>                | : Elastik efektif kiriş genişliği;                                                                                             |
| <b>b<sub>f</sub></b>     | : Yapma I çelik profil kiriş flanş genişliği                                                                                   |
| <b>b<sub>w</sub></b>     | : Betonarme bağ kirişi gövde genişliği,                                                                                        |
| <b>c</b>                 | : İki Betonarme perde orta noktalarının birbirine uzaklığı                                                                     |
| <b>C<sub>d</sub></b>     | : Sapma büyütme faktörü                                                                                                        |
| <b>TBDY</b>              | : Türk Bina Deprem Yönetmeliği                                                                                                 |
| <b>D</b>                 | : Dayanım Fazlalığı Katsayısı                                                                                                  |
| <b>DC</b>                | : Bağıl davranış derecesi                                                                                                      |
| <b>d</b>                 | : Bağ kirişi faydalı yüksekliği,                                                                                               |
| <b>F<sub>y</sub></b>     | : Çelik profil minimum akma gerilimi                                                                                           |
| <b>f<sub>y</sub></b>     | : Çelik akma dayanımı                                                                                                          |
| <b>f<sub>yd</sub></b>    | : Donatının tasarım akma gerilmesi                                                                                             |
| <b>f<sub>yk</sub></b>    | : Donatının karakteristik akma dayanımı                                                                                        |
| <b>f<sub>c</sub></b>     | : Tek eksenli basınç dayanımı                                                                                                  |
| <b>f<sub>ck</sub></b>    | : Betonun karakteristik basınç dayanımı                                                                                        |
| <b>f<sub>ctd</sub></b>   | : Beton çekme dayanımı                                                                                                         |
| <b>L<sub>temiz</sub></b> | : Perdeler arasındaki net açıklık                                                                                              |
| <b>h<sub>k</sub></b>     | : Bağ kirişi faydalı yüksekliği,                                                                                               |
| <b>h</b>                 | : Bağ kirişi yüksekliği                                                                                                        |
| <b>L</b>                 | : Perde duvarlar arasındaki moment kolu                                                                                        |
| <b>ℓ<sub>n</sub></b>     | : Bağ kirişlerinin perde yüzleri arasında kalan serbest açıklığı,                                                              |
| <b>L<sub>p</sub></b>     | : Plastik mafsallık boyu                                                                                                       |
| <b>L</b>                 | : İki perde arasındaki çelik bağ kirişi uzunluğu                                                                               |
| <b>L<sub>e</sub></b>     | : Çelik bağ kirişi gömülü derinlik uzunluğu                                                                                    |
| <b>M<sub>p</sub></b>     | : Plastik moment                                                                                                               |
| <b>M<sub>dev</sub></b>   | : Perde duvarın devrilme momenti                                                                                               |
| <b>N<sub>v</sub></b>     | : Bağ kirişlerindeki kesme kuvvetinden dolayı perde duvarın tabanında oluşan toplam eksenel yük                                |
| <b>I<sub>x,y</sub></b>   | : Atalet momenti                                                                                                               |
| <b>R</b>                 | : Taşıyıcı sistem davranış katsayısı                                                                                           |
| <b>t<sub>duvar</sub></b> | : Betonarme perde duvar kalınlığı                                                                                              |
| <b>V</b>                 | : Kesme kuvveti                                                                                                                |
| <b>V<sub>d</sub></b>     | : Yük katsayıları ile çarpılarak düşey yükler ve yanal deprem yüklerinin ortak etkisine maruz kalarak hesaplanan kesme kuvveti |
| <b>V<sub>n</sub></b>     | : Çelik Bağ kirişi Taşıma gücü kesme kuvveti                                                                                   |
| <b>V<sub>p</sub></b>     | : Plastik kesme kuvveti                                                                                                        |

- Z** : Plastik mukavemet momenti
- $W_{x,y}$**  : Elastik mukavemet momenti ( $\text{mm}^3$ )
- $\beta_1$**  : ACI 318'de tanımlandığı gibi, eşdeğer dikdörtgen basınç gerilim bloğunun nötr eksen derinliğine derinliği ile ilişkili faktör
- $\emptyset$**  : Betonarme donatı çapı
- $\Omega$**  : Bağ kirişli boşluklu perde, bağ derecesi kat sayısı
- $\Omega_0$**  : Taşıma kuvveti faktörü
- $\gamma$**  : Betonarme bağ kirişlerinde kullanılan çapraz donatı demetinin yatayla yaptığı açıdır.



|                                                                                                  |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Tablo 2.1:</b> Sismik kuvvet dayanımlı sistemler için tasarım katsayıları ve faktörleri ..... | <b>17</b> |
| <b>Tablo 3.1:</b> ACI 318-19 beton dayanımlarına göre $\beta_1$ tablosu .....                    | <b>28</b> |
| <b>Tablo 4.1:</b> Bağ kirişlerine ait donatı detayı ve malzeme özellikleri .....                 | <b>84</b> |



|                                                                                                                              |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Şekil 2.1:</b> Performans düzeyleri .....                                                                                 | <b>6</b>  |
| <b>Şekil 2.2:</b> Perdelerin sergilediği davranışlara göre meydana gelen gerilme dağılımı .                                  | <b>8</b>  |
| <b>Şekil 2.3:</b> Boşluklu perde duvar yapısının idealleştirilmiş yanal tepkisi .....                                        | <b>9</b>  |
| <b>Şekil 2.4:</b> Bağlantı kirişi rijitliğinin etkisi .....                                                                  | <b>10</b> |
| <b>Şekil 2.5:</b> Eşdeğer yaklaşım - 1 .....                                                                                 | <b>11</b> |
| <b>Şekil 2.6:</b> Eşdeğer yaklaşım – 2 .....                                                                                 | <b>12</b> |
| <b>Şekil 2.7:</b> Betonarme perde davranışları .....                                                                         | <b>13</b> |
| <b>Şekil 2.8:</b> Bağ kirişi devrilme momenti hesabı .....                                                                   | <b>14</b> |
| <b>Şekil 3.1:</b> Boşluklu perdede bağ kirişi donatısı örnekleri .....                                                       | <b>20</b> |
| <b>Şekil 3.2:</b> Betonarme donatı uygulaması .....                                                                          | <b>20</b> |
| <b>Şekil 3.3:</b> Çelik bağ kirişlerinin ankastrelik noktaları .....                                                         | <b>22</b> |
| <b>Şekil 3.4:</b> Çelik bağ kirişi ile bağlanmış betonarme boşluklu perde duvar sistemi uygulaması – 1 .....                 | <b>23</b> |
| <b>Şekil 3.5:</b> Çelik bağ kirişi ile bağlanmış betonarme boşluklu perde duvar sistemi uygulaması – 2 .....                 | <b>23</b> |
| <b>Şekil 3.6:</b> Çelik çag kirişli boşluklu perdede oluşan dönme açıları ve plastik mafsallar .....                         | <b>24</b> |
| <b>Şekil 3.7:</b> a) Mattock ve Gaafar (1982) - b) Marcakis ve Mitchell (1980) Gömme kapasitesini belirleme yöntemleri ..... | <b>25</b> |
| <b>Şekil 3.8:</b> AISC 341-16 Gömme kapasitesini belirleme yöntemleri .....                                                  | <b>26</b> |
| <b>Şekil 4.1:</b> 500 kN’a Göre Tasarlanan Çelik Bağ Kirişi Ebatları .....                                                   | <b>56</b> |
| <b>Şekil 4.2:</b> 600 kN’a Göre Tasarlanan Çelik Bağ Kirişi Ebatları .....                                                   | <b>58</b> |
| <b>Şekil 4.3:</b> 700 kN’a Göre Tasarlanan Çelik Bağ Kirişi Ebatları .....                                                   | <b>60</b> |

|                                                                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Grafik 4.1:</b> 10 Katlı binanın katlara göre deplasmanları .....                                      | 71 |
| <b>Grafik 4.2:</b> 10 Katlı binanın 500 kN'a göre tasarlanan kirişlerin katlara göre deplasmanları .....  | 71 |
| <b>Grafik 4.3:</b> 10 Katlı binanın 600 kN'a göre tasarlanan kirişlerin katlara göre deplasmanları .....  | 72 |
| <b>Grafik 4.4:</b> 10 Katlı binanın 700 kN'a göre tasarlanan kirişlerin katlara göre deplasmanları .....  | 72 |
| <b>Grafik 4.5:</b> 10 Katlı binanın katlara göre dönmeleri .....                                          | 73 |
| <b>Grafik 4.6:</b> 10 Katlı binanın 500 kN'a göre tasarlanan kirişlerin katlara göre dönmeleri .....      | 73 |
| <b>Grafik 4.7:</b> 10 Katlı binanın 600 kN'a göre tasarlanan kirişlerin katlara göre dönmeleri .....      | 74 |
| <b>Grafik 4.8:</b> 10 Katlı binanın 700 kN'a göre tasarlanan kirişlerin katlara göre dönmeleri .....      | 74 |
| <b>Grafik 4.9:</b> 12 Katlı binanın katlara göre deplasmanları .....                                      | 75 |
| <b>Grafik 4.10:</b> 12 Katlı binanın 500 kN'a göre tasarlanan kirişlerin katlara göre deplasmanları ..... | 75 |
| <b>Grafik 4.11:</b> 12 Katlı binanın 600 kN'a göre tasarlanan kirişlerin katlara göre deplasmanları ..... | 76 |
| <b>Grafik 4.12:</b> 12 Katlı binanın 700 kN'a göre tasarlanan kirişlerin katlara göre deplasmanları ..... | 76 |
| <b>Grafik 4.13:</b> 12 Katlı binanın katlara göre dönmeleri .....                                         | 77 |
| <b>Grafik 4.14:</b> 12 Katlı binanın 500 kN'a göre tasarlanan kirişlerin katlara göre dönmeleri .....     | 77 |
| <b>Grafik 4.15:</b> 12 Katlı binanın 600 kN'a göre tasarlanan kirişlerin katlara göre dönmeleri .....     | 78 |
| <b>Grafik 4.16:</b> 12 Katlı binanın 700 kN'a göre tasarlanan kirişlerin katlara göre dönmeleri .....     | 78 |

|                                                                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Grafik 4.17:</b> 10 Katlı bina ile 12 Katlı binanın katlara göre deplasmanlarının karşılaştırılması .....                             | 79 |
| <b>Grafik 4.18:</b> 10 Katlı bina ile 12 Katlı 500 kN'a göre tasarlanan kirişlerin katlara göre deplasmanlarının karşılaştırılması ..... | 79 |
| <b>Grafik 4.19:</b> 10 Katlı bina ile 12 Katlı 600 kN'a göre tasarlanan kirişlerin katlara göre deplasmanlarının karşılaştırılması ..... | 80 |
| <b>Grafik 4.20:</b> 10 Katlı bina ile 12 Katlı 700 kN'a göre tasarlanan kirişlerin katlara göre deplasmanlarının karşılaştırılması ..... | 81 |
| <b>Grafik 4.21:</b> 10 Katlı bina ile 12 Katlı binanın katlara göre dönmelerinin karşılaştırılması .....                                 | 82 |
| <b>Grafik 4.22:</b> 10 Katlı bina ile 12 Katlı 500 kN'a göre tasarlanan kirişlerin katlara göre dönmelerinin karşılaştırılması .....     | 83 |
| <b>Grafik 4.23:</b> 10 Katlı bina ile 12 Katlı 600 kN'a göre tasarlanan kirişlerin katlara göre dönmelerinin karşılaştırılması .....     | 83 |
| <b>Grafik 4.24:</b> 10 Katlı bina ile 12 Katlı 700 kN'a göre tasarlanan kirişlerin katlara göre dönmelerinin karşılaştırılması .....     | 84 |

## ÖZET

Bu çalışmada betonarme ve yapma çelik profil ile yapılan bağ kirişlerine sahip olan bağ kirişli boşluklu betonarme perdelerin performans analizi yapılmıştır. Öncelikle bağ kirişlerinin boyutları ve malzemeleri değiştirilerek yapıda oluşturduğu yer değiştirmeler araştırılmıştır. Bağ kirişli boşluklu betonarme perdelerin performans analizi ile elde edilen taşıma kesme kuvvetine göre seçilerek bağ kirişlerinin yönetmeliklerde öngörülen çapraz donatılar ve gömülü derinlikleri hesaplanmıştır. Bu çalışmada SAP2000 paket programı ile bağ kirişleri kesme kapasitelerine göre boyutlandırılarak, analizleri yapılmış, yer değiştirmeleri hesaplanmıştır. Analiz edilen betonarme bağ kirişleri TBDY-2018 Deprem Yönetmeliği ve çelik bağ kirişleri Amerikan Yönetmelikleri (ACI 318-14, ANSI/AISC 341-16 ) tasarım esaslarına göre karşılaştırılarak öngörülen donatılar ve çelik profil boyutları elde edilmiştir. Elde edilen karşılaştırmalarda, bağ kirişli boşluklu betonarme perdelerin yapı davranışına etkisi belirlenmiştir. Boşluklu perdelerin, betonarme bağ kirişlerinde kesme kuvvetlerine karşı dayanım sağlayacak çapraz donatıların, uygulamadaki donatı sıklığı, montaj zorluğu ve tasarımdaki gibi verimli bir şekilde performans gösterememesine neden olmasından dolayı betonarme perdenin içine gömülü çelik profil ile yapılan bağ kirişlerinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu nedenle yapısal çelik elemanlar, hesaplanan maksimum kesme kuvveti için boyutlandırılmıştır. Çelik bağ kirişleri; montaj kolaylığını sağlamak, daha düşük boyutlarda bağ kirişlerinin tasarlanması ve betonarme bağ kirişi ile aynı işlevi görebilmesi için tasarlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Çapraz donatı, boşluklu perde duvar, çelik bağ kirişi, betonarme bağ kirişi, rijitlik.

## ABSTRACT

In this study, performance analysis of coupling beam coupled walls with coupling beams made with reinforced concrete and made steel profiles has been made. Firstly, displacement generated in the structure by varying the dimensions and materials of the coupling beam was investigated. The cross reinforcements and embedded depths of the coupling beams foreseen in the regulations were calculated by selecting according to the overstrength shear force obtained by the performance analysis of the reinforced concrete coupled walls. In this study, with the SAP2000 package program, the coupling beams were dimensioned according to their shear capacities, analyzed and their displacements were calculated. The analyzed reinforced concrete coupling beams were compared according to the TBDY-2018 Earthquake Code and the steel coupling beams according to the design principles of the American Regulations ( ACI 318-14, ANSI/AISC 341-16 ), and the foreseen reinforcements and steel profile dimensions were obtained. In the comparisons obtained, the effect of reinforced concrete coupled walls on the building behavior was determined. In reinforced concrete coupling beams of coupled walls; It was aimed to investigate the coupling beams made with the steel profile embedded in the coupled wall due to the cross reinforcements providing resistance against shear forces, the reinforcement frequency in application, the difficulty of assembly and the failure to performance as in the design. Therefore, structural steel members are sized for the maximum calculated shear force. Steel coupling beams; It is designed to provide ease of assembly, to design coupling beams with lower dimensions and to function the same as reinforced concrete coupling beam.

**Keywords :** cross reinforcement, coupled wall, steel coupling beam, reinforced concrete coupling beam, stiffness.

# 1.GİRİŞ

## 1.1. Konu

Binaların betonarme perde duvarlarında genellikle mimari gereksinimlere göre kapı veya pencere boşlukları bırakılması gerekmektedir. Bırakılan boşlukların düşeyde sürekli ve düzgün olması durumunda aralarında kalan her iki perde parçasını birbirine bağlayan yatay elemanlara bağ kirişi, perde sistemine ise bağ kirişli perde denir. Deprem davranışı altında perdelerde plastikleşme sadece perde tabanında gerçekleşirken, bağ kirişli boşluklu perdelerde uygun tasarım yapıldığı takdirde plastik davranış perde yüksekliği boyunca yayılabilir. Böylece daha sünek davranış elde edilerek enerjinin sönmelenmesine katkıda bulunabilirler.

Yapıların betonarme tasarlanmaya başlanması ile birlikte farklı kullanım amaçlarına göre yüksek binalar inşa edilmeye başlandı. Teknoloji, malzeme bilimi ve mühendisliğin eşzamanlı olarak gelişmesi ile birlikte bu yapılar daha yüksek ve taşıyıcı sistemi daha narin olacak şekilde yapılabilmesi mümkündür. Ancak taşıyıcı sistemlerdeki bu gelişim yüksek katlı binalarda karmaşık tasarım sorunlarının meydana gelmesine sebep olmaktadır. Yükselen yapılar ile birlikte ortaya çıkan sorunlardan biri rüzgar ve deprem kuvvetlerinden oluşan salınımdır.

Çok katlı yapılarda genellikle yanal rüzgâr ve deprem yüklerinden dolayı oluşan salınım sorunları; rijitliğin düşük olması, yapı yüksekliklerin artması, deprem yüklerini sönmleyici tasarım yapılmaması, rüzgâr etkisiyle salınımı artırabilecek mimari tasarımların kullanılmasıdır. Yapı malzemelerinin dayanımlarındaki artışı ile birlikte rijitliklerinde de artışın yeterli olmaması durumunda; yüksek dayanımlı malzemeler ile yapılan narin binalardaki titreşim problemi ancak tüm yapı rijitliğinin ve/veya enerji sönmlemesinin arttırılmasıyla karşılanabilir. Yüksek yapıların tasarımındaki sorunlardan birisi de kullanılmakta olan taşıyıcı sistemlerden bazılarının depreme karşı gösterdiği davranışının ve yapısal tasarımının zor olması, yönetmeliklerin belli yükseklikten sonra yetersiz olmasıdır.

Boşluklu perde sisteminin yatay yükler altında davranışı sırasında bağ kirişlerinde oluşan kesme kuvvetleri bağlandığı perdelerin birine eksenel basınç kuvveti olarak aktarılırken, diğerine eksenel çekme kuvveti olarak aktarılır. Böylece sisteme dış

yükler tarafından aktarılan devrilme momentinin bir kısmı bağ kirişlerin iki ucundaki kesme kuvvetlerinin toplamından oluşan perde normal kuvvetlerinin momenti ile karşılanmış olur. Karşılanan bu momentin yapıya etkiyen toplam devrilme momentine oranına, bağ kiriş katkı oranı denir. Bağ kiriş katkı oranı, perdelerin ve bağ kirişlerin rijitliğine bağlı olup, doğrusal elastik analiz yöntemine göre yapılan tasarımda eleman boyutlandırmalarının ve analizlerin tamamlanmasından önce hesaplanamamaktadır. Pratik uygulamalarda analizden elde edilen bu bağ kiriş katkı oranının yönetmeliklerin bağ kirişli perde için gerektirdiği minimum değeri sağlaması durumunda, tasarım yapıldıktan sonra tekrar irdelenmemektedir. Öte yandan, bağ kiriş katkı oranının düşük veya yüksek olmasına bağlı olarak perdelerin iç kuvvetlerinde ve doğrusal olmayan davranışında büyük farklar oluşmaktadır.

## **1.2. Çalışmanın Kapsamı**

Bina yüksekliği arttırıldıkça düşey kuvvetleri temele aktaran kolonlar, yapıya etkiyen yatay kuvvetlerin artması ile yapıda oluşacak momentlere karşı koyabilmek için yeterli dayanım sağlayamamaktadır. Ayrıca, kolonlarda meydana gelen ikinci mertebeden momentler artmakta ve düşey doğrultudaki taşıyıcı elemanların yaptığı elastik yanıl yer değıştirmeler yapı güvenliğini olumsuz yönde etkileyecek derecede artmaktadır. Yapının yatay kuvvetlere karşı rijitliğini arttırmak için betonarme binalarda perde duvar yapmak gerekmektedir. Perde duvarları çeşitli mimari sebeplerden dolayı kapı, pencere ve koridorlar için bırakılan boşlukların açılması nedeniyle betonarme perdeler zayıfladığından yapı yüksekliği belirli bir yükseklikte kalmış ve daha yüksek binaların maliyetleri artmaktadır. Bu durum perdeler bağ kirişli yapılar ile çözülmüştür.

Bu çalışmada SAP2000 paket programı kullanılarak; bağ kirişli boşluklu perde duvarlı yapıların tasarımını bağ kirişlerinin betonarme perdeye gömülen kısımlarının bağ kirişli yüksekliğine göre geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bunun için SAP2000’de bağ kirişli yapılar ASCE 7-16’ya göre modellenerek incelenmiştir. Betonarme bağ kirişli TBDY-2018 deprem yönetmeliğine göre, çelik bağ kirişli ise ANSI/AISC 341-16 yönetmeliğine göre tasarlanarak donatı miktarları, eleman boyutları, gömülü derinlikleri taşıma kuvvetine göre kesit dayanımları tahkik edilmiştir. Yapıya doğrusal olmayan statik itme (push over) analizi ile yapının performansı belirlenmiştir. İç içe geçmiş çapraz donatılarla yapılan betonarme bağ kirişli perde ile perdenin içine gömülmüş çelik bağ kirişli hibrid perde iki boyutlu modellenerek analiz yapılmış ve

yanal deplasmanlar, dönmeler, momentler ile kesme kuvvetleri bulunmuştur. Bağ kirişlerinin donatı miktarları ve boyutları yapının davranışını, bağ kirişlerindeki ve perde duvarlardaki iç kuvvetlerin dağılımını etkilemektedir. Yüksek kesme kuvvetine maruz kalan bağ kirişlerinde kesme kuvveti ve eğilme momentini karşılamak için yönetmeliklerde öngörülen çapraz donatı demetlerinde en az dört adet donatı bulunarak en az kenetlenme boyu belirlenerek perdelerin içine doğru uzatılmıştır. Yönetmelikte (TBDY 2018) belirtildiği şekilde; sık etriyeler ile sarılmış çapraz donatıların, bağ kirişinin ortasında birbirinin içinden geçecek şekilde imal edilmesi ve donatı yoğunluğunun bulunduğu perde duvar uç bölgelerinin içine kenetleme boyu kadar girecek şekilde imal edilmesi amaçlanmıştır.



## 2. AMAÇ ve YÖNTEM

Bu çalışmada iki farklı örnek olarak; 10 katlı ve 12 katlı yapılar iç içe geçmiş çapraz donatılar ile yapılan betonarme bağ kirişli boşluklu perdeler ve perdenin içine gömülü çelik bağ kirişli boşluklu perdeler ile analiz edilmiş ve bununla birlikte bağ kiriş boyutlarının yaptıkları yer değiştirme davranışlarına etkisi araştırılmıştır. Betonarme bağ kirişlerinde; farklı bağ kiriş yükseklikleri, donatı miktarları, çapraz donatıların gömülü derinliği ve yatay ile yaptığı açılar değiştirilerek, çelik bağ kirişlerinde ise başlık genişlikleri ve et kalınlıkları sabit kalıp gövde yüksekliği değiştirilerek SAP2000 paket programı ile iki boyutlu çözümler yapılmıştır. Analizlerden elde edilen karşılaştırmalar sonucunda aynı kesme kuvvetlerine göre tasarlanan bağ kirişlerinin deplasman ve dönme değerlerinin değişimleri araştırılmıştır.

Bağ kirişli boşluklu perde duvarlar modellenerek, analizlerinin yapılması ile yanal kat deplasmanları, perde momentleri ve kesme kuvvetleri bulunmuştur. Analiz edilen betonarme bağ kirişleri TBDY-2018’de öngörülen çapraz donatılar ile donatılmış ve ANSI/AISC 341-16’da betonarme perde duvara gömülü çelik profil ile karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmalarda bağ kirişli boşluklu perde duvarların yapısal davranışa etkisi araştırılmıştır. SAP2000 programında yapılan statik itme analizi sonucunda betonarme boşluklu perde duvarı çapraz bağ kirişi donatılarının yapma çelik profil ile yapılan bağ kirişleri ile karşılaştırılması yorumlanmıştır.

İki farklı perdenin push over (statik itme yöntemi) analizinin karşılaştırılması yapılmıştır. Bu yöntemler tasarımda aşağıda belirtilen hedefleri sağlamalıdır:

- Oluşacak yer değiştirmeler istenilen düzeyde tutulmalıdır.
- Doğru ve kolay imal edilmeli ve tasarımdaki gibi performans göstermesi sağlanmalıdır.
- Deprem enerjisini sönmülemeye yönelik tasarım belirlenmelidir.
- Perde tabanında oluşan kesme ve moment kuvvetleri azaltılmalıdır.

## **2.1. Yapıların Taşıyıcı Sistemlerine İlişkin Genel İlkeler**

Yapıların taşıyıcı sisteminde ve taşıyıcı sistemi meydana getiren elemanların her birinde, deprem kuvvetlerinin temele kadar sürekli ve bir bütün olarak çalışacak şekilde ve verimli olarak iletilmesini sağlayacak düzeyde rijitlik, süneklik ve dayanım bulunmalıdır. Binaya etkiyen deprem kuvvetlerinin büyük bir bölümü taşıyıcı sistemin sünek davranışıyla enerjiyi sönümleyebilmesi için, sünek tasarım esaslarını yerine getirmek gerekir. Yapıya etki eden deprem kuvvetlerinin belirlenmesi için, Spektral ivme katsayısı, deprem yükü azaltma katsayısı gibi birçok parametre esas alınacaktır. TBDY 2018’de aksi belirtilmediği sürece, deprem kuvvetlerinin yalnızca yatay düzlemde ve birbirine dik iki eksen doğrultusunda etki ettikleri varsayılacaktır.

## **2.2. Bina Performans Düzeyleri**

Bina performans hedeflerinin tanımına esas olmak üzere, deprem etkisi altında bina taşıyıcı sistemleri için bina performans düzeyleri aşağıda tanımlanmıştır.

### **2.2.1. Kesintisiz Kullanım (KK) Performans Düzeyi**

Bu düzey, yapının taşıyıcı sistem elemanlarında yapısal hasarın oluşmadığı ya da hasarın göz ardı edilebilecek seviyede kaldığı duruma tekabül etmektedir.

### **2.2.2. Sınırlı Hasar (SH) Performans Düzeyi**

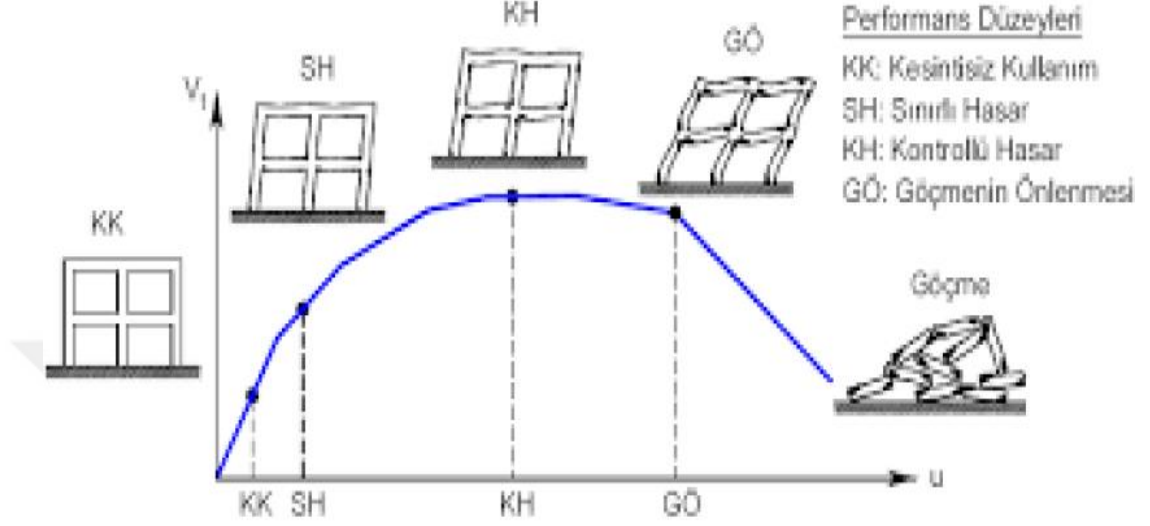
Bu düzey, yapının taşıyıcı sistem elemanlarında sınırlı seviyede hasarın oluştuğu, yani lineer olmayan davranışın belirli sınırlar içinde kaldığı hasar seviyesine tekabül etmektedir.

### **2.2.3. Kontrollü Hasar (KH) Performans Düzeyi**

Bu düzey, can güvenliğinin sağlanması amacı ile yapının taşıyıcı sistem elemanlarında ileri düzeyde hasarlar olmayan ve genellikle onarılması mümkün olabilen hasar seviyesine tekabül etmektedir.

#### 2.2.4. Göçmenin Önlenmesi (GÖ) Performans Düzeyi

Bu düzey, yapının taşıyıcı sistem elemanlarında ileri seviyede hasarın olduğu göçme öncesi duruma tekabül etmektedir. Yapının kısmen ya da tümüyle göçmesi önlenmiştir.



Şekil 2.1: Performans düzeyleri (Altunışık, 2019).

#### 2.3. Statik İtme Analizi

Yapıların yatay yükler etkisi altındaki davranış özellikleri ile performanslarının tespitine yönelik yapılan statik itme (push over) analizleri, genellikle yapıda adım adım yük artırılarak yanal yüklerin etkisinde rijitlik ile dayanım değişimlerinin yapı elemanlarında oluşan inelastik davranış özellikleri dikkate alınıp hesaplandığı ve bu hesapların belirli performans hedefleri için tarif edildiği sayısal bir inceleme yöntemidir. Taşıma gücü yöntemlerinde tipik olarak iki temel tasarım kriteri göz önüne alınmasına karşın (fonksiyonellik sınırı, dayanım sınırı) performans esaslı tasarımda birkaç tasarım kriteri bulunur (kesintisiz kullanım durumu, sınırlı hasar durumu, kontrollü hasar durumu, göçme durumu). Yöntemin, aslında çok serbestlik dereceli sistemlerin, tek serbestlik dereceli sisteme eşdeğer kabulü olduğu için yaklaşık sonuçlar elde edilir. Analizin yöntemi rijit veya mafsallı olacak şekilde bağlı inelastik çerçeve analizi için uygun bir prosedürü vardır. Bu prosedür, aslında yarı rijit bağlarla oluşturulan elastik çerçeve analizi prosedürünün değişik bir uzantısı sayılabilir.

Statik itme analizlerinde kullanılan iki ayrı hesaplama yöntemi; yer değiştirme kontrollü analiz ve yük kontrollü analizdir. Yer değiştirme kontrollü yöntemde,

yapının en üst katında (tepe noktasında) ağırlık merkezinin olduğu nokta belirli bir yer değiştirme seviyesine gelinceye kadar adım adım yatay yükleme yapılır. Yük kontrollü yöntemde ise yapı belirli bir yatay yük seviyesine gelinceye kadar yüklenir. Bu yüklemeler belirli aralıklarla arttırılarak her bir adımda yapı elemanlarında meydana gelen kuvvet-deplasman ilişkisi incelenir ve yapının hasar seviyesi belirlenir. Genel uygulamada mevcut yapıların incelenmesi amacıyla yönelik olarak kullanılan performans analizi yöntemleri yeni yapılacak yapılar için de kullanılabilecek bir hesap yöntemidir (Narticles, 2020).

## **2.4. Betonarme Perde Duvarlar**

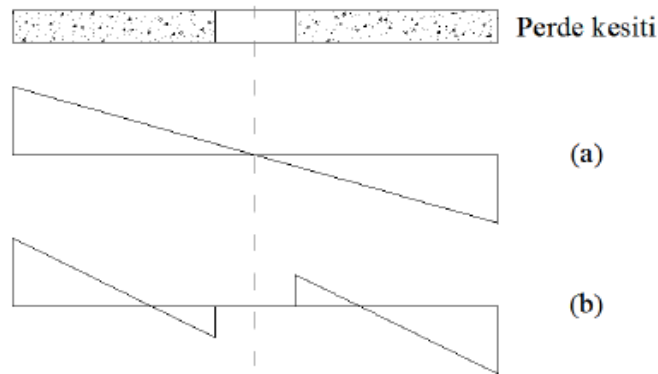
Çerçevesi sistemlerde yapının yüksekliği arttıkça rüzgar ve deprem etkisinden oluşan yanal yükleri karşı dayanım kapasitesi azalır; yönetmeliklerde belirtilen deplasmanları istenilen sınırlarda kalmasını sağlamak ve yeterli dayanım sağlamak için yatay yükleri karşılayacak yapı elemanlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Betonarme perde duvarların lineer olmayan davranış göstermesinin perdenin tabanında meydana gelen plastik mafsallık bölgesine bağlı kaldığını ve bu bölgede büyük dönme ve donatılarda akmanın oluşacağını, ayrıca süneklik, rijitlik, dayanım ve enerjiyi yutma kapasitesi gibi davranışları etkileyen önemli parametrelerin bu plastik bölgenin davranışına bağlı kaldığını belirtir. Eğer bu plastik bölge yaşanacak zorlanmalara karşı uygun tasarlanmazsa, yapı yanal kuvvetlere karşı kaldığında, bu plastik bölgede gevrek göçme mekanizmalarının meydana gelmesi mümkündür. Bu istenmeyen mekanizma durumlarından birkaçı aşağıda verilmiştir.

- Kritik bölgelerde betonun ezilmesi,
- Kesme kuvvetlerinin oluşturduğu çapraz basınç ve çekme,
- Mesnet bölgelerinde kesme göçmesi,
- Ankraj bölgesinde kesme hasarı ya da aderans,
- İnce duvarlarda deformasyon problemi.

## 2.5. Bağ Kirişli Boşluklu Perde Duvar

Yüksek yapıların tasarımında, boşluksuz perdelerde mimari sebeplerden dolayı kapı, pencere veya tesisat amaçlı boşlukların açılmasıyla iki veya daha fazla betonarme perde duvarların bağ kirişleriyle birbirlerine bağlanarak bağ kirişli boşluklu perdeler meydana gelir. Yanal rüzgar ve deprem yükleri altında boşluklu ve boşluksuz perde duvarların yatay ötelenmeleri farklı olabilmektedir. Bağ kirişli boşluklu perdeli yapı sisteminde yanall deprem yüklerine karşı bağ kirişlerinde oluşan deformasyonlar, deprem enerjisinin önemli bir kısmını karşılar. Bağ kirişli boşluklu perde duvarların deprem yüklerine karşı davranışı bağ kirişinin boyutu, yapı yüksekliğine bağlı olarak farklı olmaktadır. Bağ kirişli boşluklu perde sistemlerinde oluşabilecek plastik şekil değiştirmeler, boşluksuz perde sistemlerine göre sistemde sünekliği arttırmaktadır.

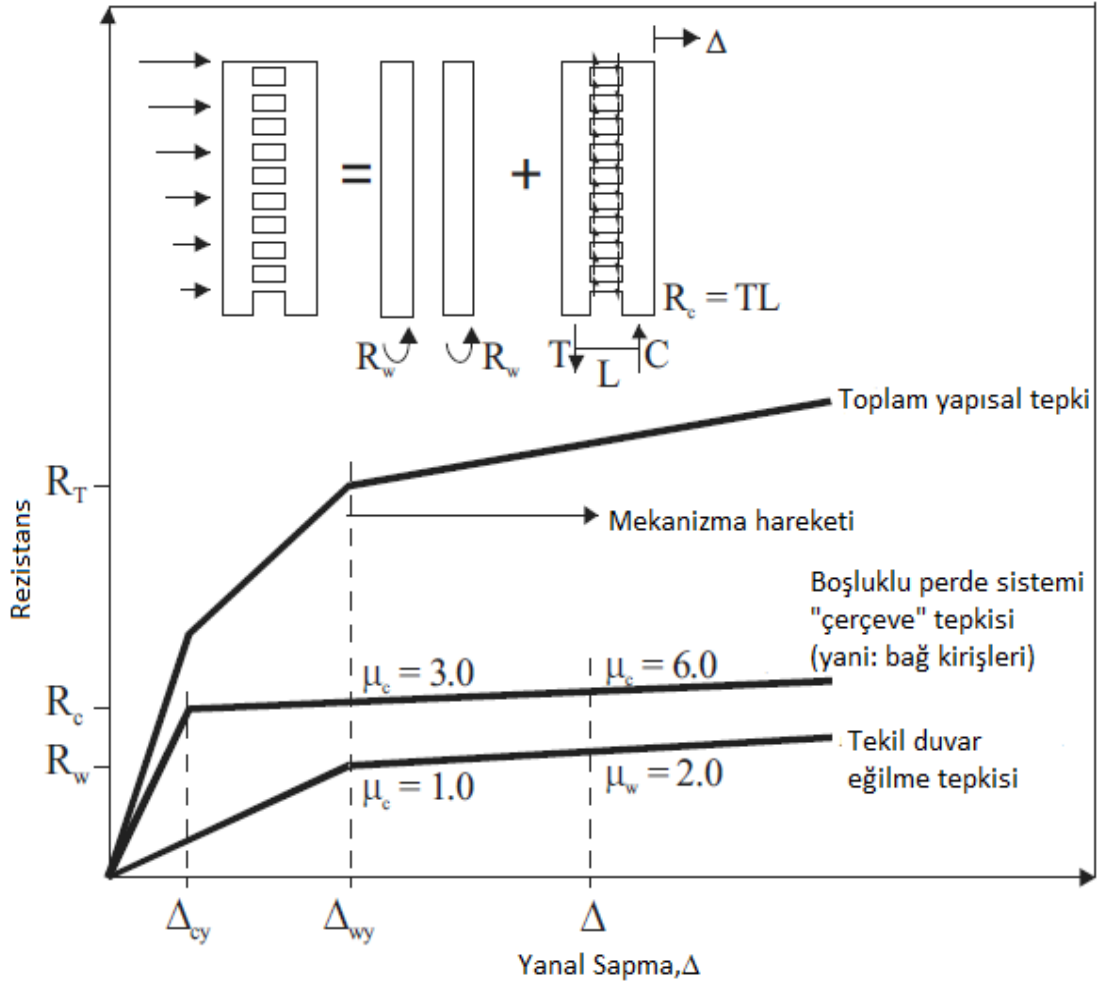
Bağ kirişli boşluklu perde duvarların birlikte çalışıp çalışmadığı veya bu perde duvarların birbirlerine olan etkileri betonarme perde duvarlar arasında oluşan etkileşimin derecesini başka bir deyişle bağlı davranışı belirler. Birbirlerine yalnızca aksenal olacak şekilde yük aktarılabilen böylelikle rijit olmayan elemanlar ile bağlanan iki betonarme perdede moment, perdelerin eğilme rijitlikleri oranında dağılım gösterirken, gerilmeler ise şekil 2.2b 'da görüldüğü üzere iki perdede farklı olacak şekilde gerilme dağılımı doğrusal olur. Ancak; birbirlerine rijit elemanlarla bağlanan betonarme perdelerde moment dağılımı, iki perdenin kompozit eleman yani tek bir perde olacak şekilde davranış gösterir. Burada, gerilme dağılımları şekil 2.2a'de görüldüğü üzere iki perde düzlemi boyunca gerilmeler doğrusal olacak şekilde tek bir perde gibi dağılır (Ayazoğlu, 2015).



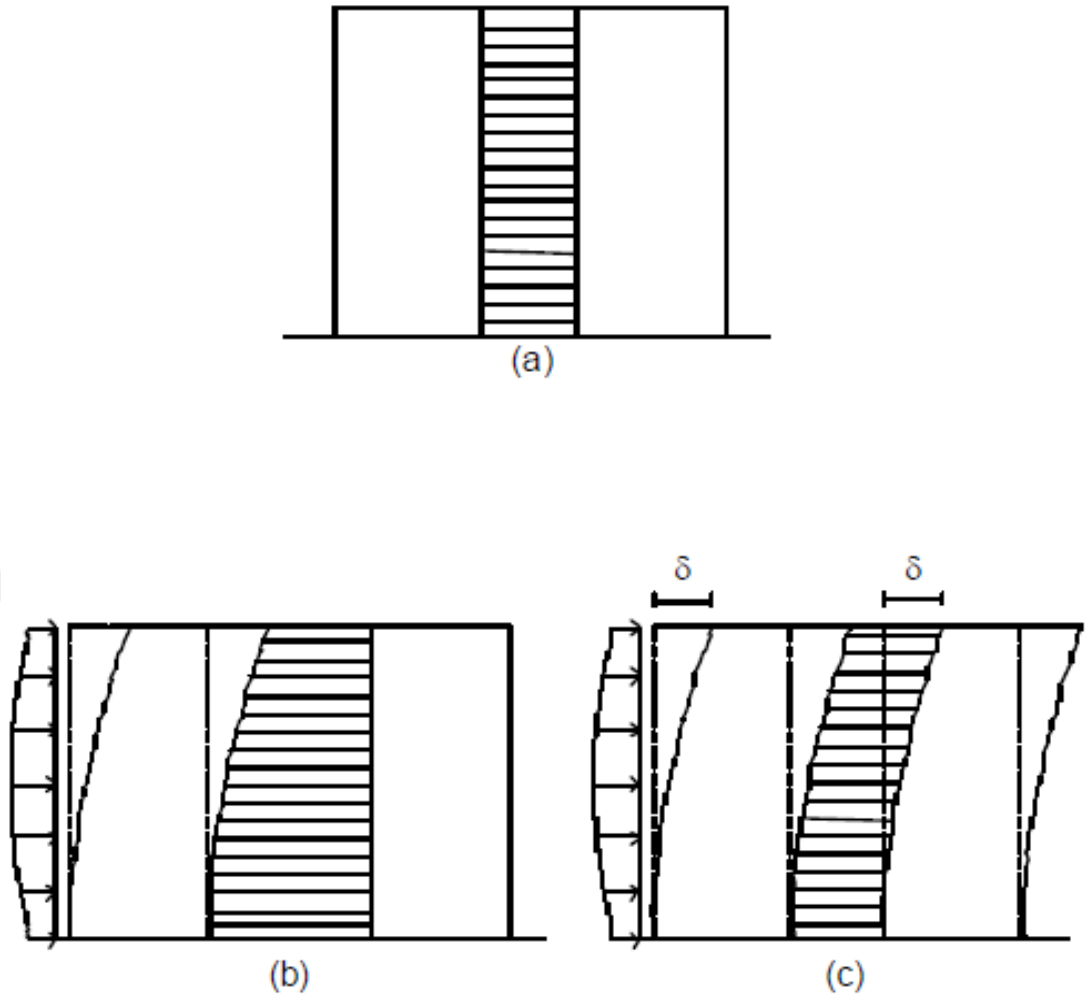
**Şekil 2.2:** Bağ kirişinin rijitliğine göre perde kesitindeki gerilme dağılımı **a)** Rijit bağ kirişinde oluşan normal gerilme dağılımı, **b)** Esnek bağ kirişinde oluşan normal gerilme dağılımı (Demir, 2008).

Bağ kirişli boşluklu perdeler üzerinde yapılmış araştırmalarda üç kritik sonuç çıkarılmıştır;

- İki ayrı perdenin karşılayacağı momenti kuvvetlerini azaltarak daha verimli yapı sistemlerini oluştururlar.
- Boşluksuz perdelerde sadece yapının tabanında enerjiyi sönümlerken, bağ kirişleri ile yapının tüm katlarında lineer olmayan deplasmanlar yaparak sismik enerjiyi sönümler ve enerji yutarak yapının geneline yayarlar.
- Birbirlerine bağlı olmayan perdelerin, yapı üzerinde tek başlarına oluşturdukları toplam yanal rijitlikten daha fazla yanal rijitlik meydana gelmesini sağlarlar.



Şekil 2.3: Boşluklu perde duvar yapısının idealleştirilmiş yanal tepkisi (El-Tawil, ve ark., 2009).



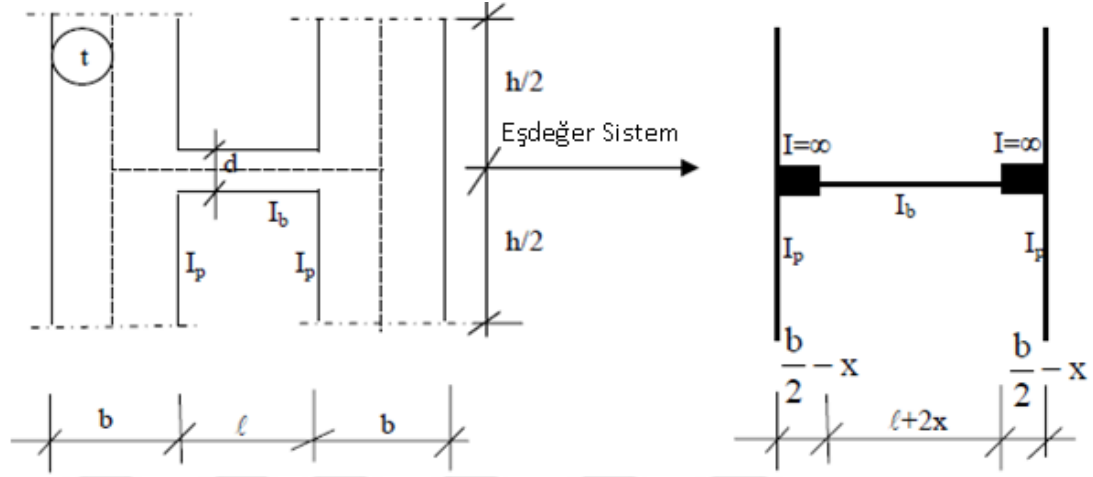
**Şekil 2.4.** Bağlantı kirişi rijitliğinin etkisi (Genç, 2009).

Bu bağ elemanları; kimi kez döşeme plağının bu kısmı, kimi kez çubuk davranışında kirişler, kimi kez de çubuk davranışına uymayan perde parçalarıdır (levha). Genelde söz konusu bağ elemanlarının boyutları, gerek mimari zorunluluklar gerekse çözüm kolaylığı açısından tüm katlarda sabit olacak şekilde düzenlenir. Ancak bu durumda boşluklu perdelerin bağ elemanları bazı bölgelerde (perdeye saplandığı kesimler) yetersiz kalabilir. Yeterli olup olmayacağına karar vermek bakımından, bağ elemanlarının plastik davranışlarının da bilinmesi gerekir.

Statik hesaplarda kolaylık olması açısından eşdeğer çerçeve yöntemi önerilmektedir. Bağ kirişli boşluklu perdelerin eşdeğer çerçeve olarak hesabının yapılabilmesi için ise literatürde kabul görmüş iki yaklaşım önerilebilir:

### 2.5.1. Boşluklu Perdelerde I. Eşdeğer Yaklaşım

Birinci yaklaşımda, perde içerisinde bulunan bağlantı elemanlarının belirli bir kısmı sonsuz rijit olarak alınmasıyla elde edilen bir statik sistem önerilmiştir.



Şekil 2.5: Eşdeğer yaklaşım – 1 (Doran., 2020).

$$\frac{x}{d} = (2.30 - 0.22 \gamma) e^{-0.78 \alpha} ; \alpha = \frac{b}{h}, \gamma = \frac{h}{d} \quad (2.1)$$

### 2.5.2. Boşluklu Perdelerde II. Eşdeğer Yaklaşım

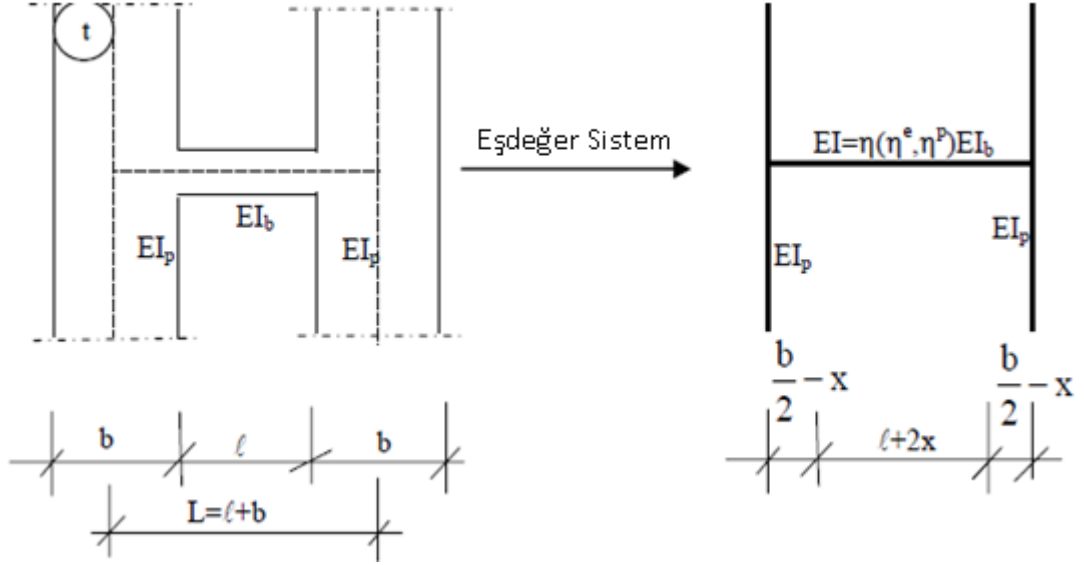
İkinci yaklaşımda, bağlantı elemanının eşdeğer rijitliği tüm mekanik ve geometrik parametrelerin bir fonksiyonu olarak,

Elastik çözümler için  $\eta^e = \eta^e(d, b, h, l, L, t, E, G, \mu)$ ,

Elastik ötesi çözümler için ise  $\eta^p = \eta^p(d, b, h, l, L, t, E, G, \mu, \sigma_c, f_c)$

şeklinde istatistik yaklaşımla tespit edilecek çarpan olmak üzere,

L açıklıklı, kesiti L boyunca sabit fiktif çubuğun rijitliğinin ( $\eta$ ) katı olarak tanımlanmıştır:

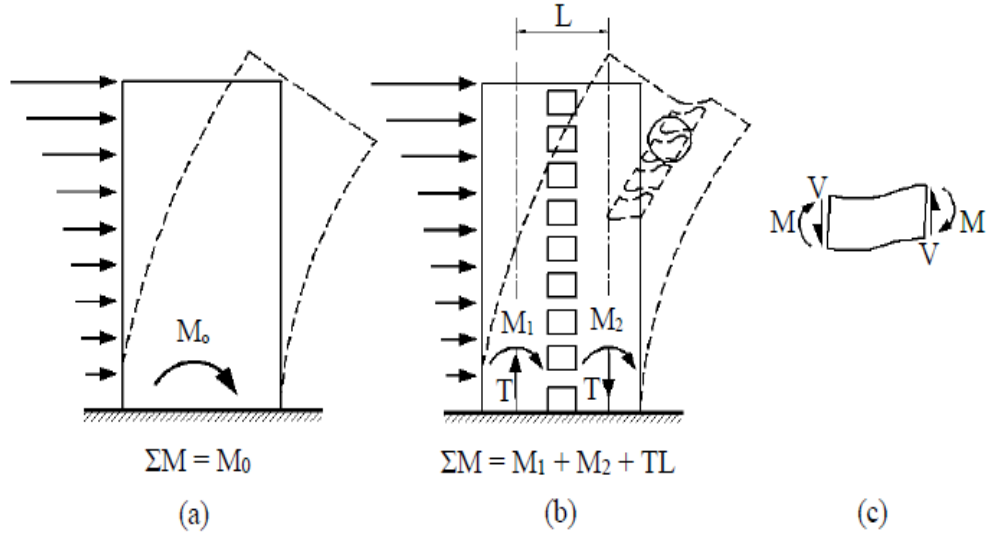


**Şekil 2.6:** Eşdeğer yaklaşım – 2 (Doran., 2020).

$$\eta^e = 1.9 \left(\frac{h}{\ell}\right)^{0.03} \left(\frac{b}{\ell}\right)^{1.70} \left(\frac{d}{\ell}\right)^{-0.06} ; \eta^p = 1.5 \left(\frac{h}{\ell}\right)^{0.03} \left(\frac{b}{\ell}\right)^{1.70} \left(\frac{d}{\ell}\right)^{-0.51} \left(\frac{\sigma_c}{f_c}\right)^{-0.35} \quad (2.2)$$

### 2.5.3. Bağ Kirişli boşluklu Perde Duvarlar Arasında Bağlı Davranış Derecesi

Bağ kirişleri bağlı oldukları betonarme perdeler arasındaki yük aktarımında bağlı davranış etkisi meydana getirerek, böylelikle taban kesme kuvveti etkisi ile oluşan toplam devrilme momentini bağlı oldukları betonarme perde duvarlara yapı yüksekliği boyunca dağıtarak, devrilme momentinin perdelerin tabanında yani plastik mafsallık bölgesinde oluşacak kuvvetlerin birikmesini engeller. Eğer birbirlerine bağ kirişleriyle birleştirilen boşluklu perdelerde bağlı davranış derecesi çok küçük ise, betonarme perde duvarlar birbirinden ayrı iki perde gibi davranış sergiler, eğer bu betonarme perdeler arasındaki bağlı davranış derecesi çok yüksek ise bu betonarme perdeler boşluksuz yani kompozit tek bir eleman gibi davranış sergiler. Şekil değiştirmeye uğramış boşluksuz ve boşluklu perdelerde oluşan mesnet tepkileri Şekil 2.7’de gösterilmiştir (Ayazoğlu, 2015).



**Şekil 2.7:** Betonarme perde davranışları (Ayazoğlu, 2015).

- (a) Yatay yük etkitilen boşluksuz perde;
- (b) Yatay yük etkitilen bağ kirişli boşluklu perde;
- (c) Yatay yük etkisinde bağ kirişinde meydana gelen iç kuvvet dağılımları

İki ayrı perde arasında meydana gelen bağıl davranış derecesini hesaplayabilmek için literatürde çeşitli formüller geliştirilmiştir. Bu çalışmada aşağıda verilen iki formülünden faydalanılmıştır:

- Bağıl davranış derecesi;

$$DC = \frac{TL}{\sum M_w + TL} \quad (2.3)$$

Burada;

$TL$ : Bağ kirişlerine gelen kesme kuvvetinden dolayı perde duvarlara gelen eksenel yüklerin toplamı

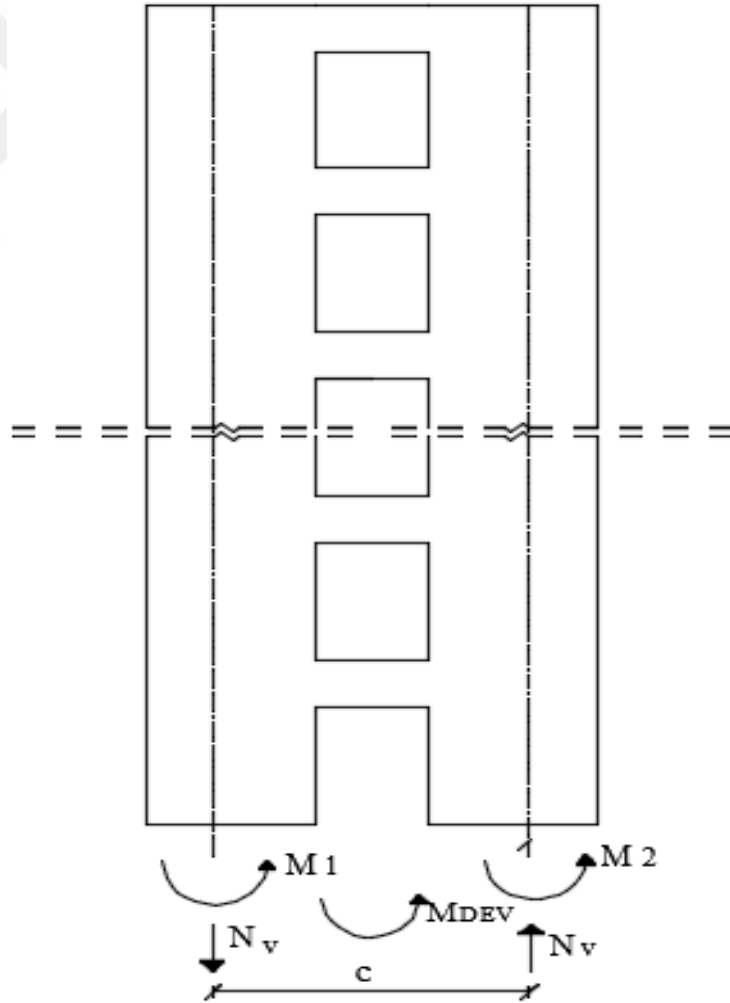
$L$ : Betonarme perde duvarların arasındaki moment kolu

$M_w$ : Betonarme perde duvarlardaki devrilme momenti

TBDY-2018'e göre betonarme boşluklu perde duvarlar, iki ayrı boşluksuz perdenin kısa ve çok yüksek kesme dayanımına sahip olan bağ kirişleriyle bağlanıp birlikte tek bir perde gibi davrandığı düşey taşıyıcı sistem elemanlarıdır. Bu tip betonarme perdeler, dayanıklı bağ kirişleri sayesinde konsol gibi davranış sergileyen boşluksuz perdeler ile çerçeve sistemler arasında bir davranış sergilerler. Boşluklu perdeyi meydana getiren perde parçalarının en kesit şekilleri dikdörtgen ya da genellikle yapı çekirdeklerindeki gibi U veya C şeklinde olabilir (TBDY, 2018).

Bağ kirişli (boşluklu) perdenin taban devrilme momenti **Denk.(2.5)** ile hesaplanır:

$$M_{DEV} = M_1 + M_2 + c \times N_v \quad (2.5)$$



**Şekil 2.8:** Bağ kirişi devrilme momenti hesabı (TBDY, 2018).

Burada,  $M_{DEV}$  bağ kirişli boşluklu perde tabanındaki toplam devrilme momentini, ve  $M_2$  bağ kirişli boşluklu perdeyi meydana getiren perde parçalarında deprem etkisinden perdenin tabanında elde edilen eğilme momentlerini,  $N_V$  ise deprem etkisi ile bağ kirişlerine gelen kesme kuvvetlerinin tüm boşluklu perde yüksekliği boyunca toplamı olarak, iki ayrı perdelerin tabanında meydana gelen birbirlerine eşit çekme ve basınç aksenal kuvvetlerine karşı gelmektedir. c, iki ayrı betonarme perdenin en kesit ağırlık merkezleri arasındaki uzaklığı belirtmektedir (TBDY, 2018).

Bağ kirişli boşluklu perdelerin tanımında esas alınan bağ derecesi katsayısı  $\Omega$  Denk. (2.6)'de verilmiştir.

$$\Omega = \frac{c \times N_V}{M_{DEV}} = \frac{c \times N_V}{M_1 + M_2 + c \times N_V} \quad (2.6)$$

Bağ kirişli boşluklu perde,  $\Omega$  bağ derecesi katsayısı'nın koşulu sağladığı taşıyıcı sistem elemanı olarak tanımlanır:

$$\Omega \geq \frac{1}{3} \quad (2.7)$$

Yukarıdaki koşulun sağlanamaması durumunda perde parçalarının her biri boşluksuz perde sayılır.

#### 2.5.4 Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R)

Taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R), deprem etkisinde kalan bir yapının alacağı yükü, yapılan süneklik kabulü ve tasarımlarına göre azaltan bir katsayıdır. Bir yapıyı R katsayısını kullanılmadan gerçek deprem yüküne göre tasarlanırsa, yapının deprem esnasında hiç hasar almamasını sağlanabilir fakat tasarım ekonomik olmayacaktır. Yapıların şiddetli deprem etkisi altında hasar almadan tasarlanması yerine esnek hareket etmesine olanak sağlanarak hafif hasar alması sağlanabilir. Bu da yapının sünek davranışı ile ilgilidir. Süneklik ise bir malzemenin, kesitin, elemanın veya taşıyıcı sistemin, gerilmede, kesit tesirinde, ya da yükte çok büyük bir değişme olmadan, elastik sınırın ötesinde şekil değiştirme, dolayısıyla yer değiştirme yapma yeteneğidir. Başka bir ifade ile betonarme kesitin dayanımında kritik bir azalma olmaksızın yapabileceği doğrusal ötesi şekil değiştirme kapasitesi olarak da söylenebilir.

DBYBHY 2007 yönetmeliğinde yapılar modellenirken doğrusal elastik hesap yöntemlerine göre tasarlanmaktadır. R katsayısı seçilecek yapı tipi ve süneklik düzeyine göre değişmektedir. R katsayısı, doğal titreşim periyodu ( $T_1$ ) ve spektrum karakteristik periyodu ( $T_a$ ) ile deprem yükü azaltma katsayısını ( $R_a$ ) etkilemektedir. Depremde taşıyıcı sistemin kendine özgü doğrusal elastik olmayan davranışını gözönüne almak üzere, spektral ivme katsayısına göre bulunacak elastik deprem yükleri, deprem yükü azaltma katsayısına ( $R_a$ ) bölünerek deprem hesabına en yakın taban kesme kuvveti bulunmaktadır. TBDY 2018 yönetmeliğinde ise (dayanımına göre tasarım) taşıma gücü yaklaşımı ile kesit tasarımı için, her bir taşıyıcı sistem türü için seçilen belirli sabit bir süneklik kapasitesine karşı gelen Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı ( $R_a$ ); öngörülen süneklik kapasitesi ( $\mu_k$ ), taşıyıcı sistem davranış katsayısı ( $R$ ), doğal titreşim periyodu ( $T_1$ ) , spektrum karakteristik periyodu ( $T_b$ ), dayanım fazlalığı katsayısına ( $D$ ) ve bina önem katsayısına ( $I$ ) bağlı olarak tanımlanmaktadır.

ASCE 7-16 'ya göre her sistem, yanal sismik kuvvetlere direnmek için kullanılan dikey eleman türlerine göre alt bölümlere ayrılmıştır. Temel yanal ve dikey sismik zorlama sistemi, Tablo 2.1'de belirtilen tiplerden birine, veya a, b ve c'de izin verilen sistemlerin bir kombinasyonuna uygun olacaktır. Kullanılan taşıyıcı sistemler, uygun taşıyıcı sistem davranış katsayısı, ( $R$ ); taşıma kuvveti faktörü, ( $\Omega_0$ ); ve Tablo 2.1'de belirtilen sapma büyütme faktörü ( $C_d$ ), taban kesme, eleman tasarım kuvvetleri ve tasarım kat kesme kuvvetlerinin belirlenmesinde kullanılacaktır (ASCE 7-16,2017).

ASCE 7-16'ya göre sistem kombinasyonları aşağıda gösterilmiştir:

**a) Farklı Yönlerde Çerçeveleme Sistemlerinin Kombinasyonları**

Yapının iki dik ekseninin her biri boyunca sismik kuvvetlere direnmek için farklı sismik kuvvete dirençli sistemlerin kullanılmasına izin verilir. Farklı sistemlerin kullanıldığı durumlarda, ilgili  $R$ ,  $C_d$  ve  $\Omega_0$  katsayıları, Tablo 2.1'de bulunan yapısal sistem sınırlamaları dahil olmak üzere her sisteme uygulanmalıdır.

## b) Aynı Yöndeki Çerçeveleme Sistemlerinin Kombinasyonları

İkili sistemler olarak kabul edilen kombinasyonlar dışında, aynı yöndeki sismik kuvvetlere direnmek için farklı sismik kuvvet dirençli sistemlerin kombinasyon halinde kullanıldığı durumlarda, Tablo 2.1'de yer alan en katı uygulanabilir yapısal sistem sınırlamaları geçerli olacak ve tasarım bu bölümün gereksinimlerine uygun olmalıdır.

## c) Kombinasyon Çerçeveleme Detaylandırma Gereksinimleri;

Herhangi bir yöndeki sismik kuvvetlere direnmek için kullanılan farklı çerçeveleme sistemlerinde ortak olan yapısal elemanlar, bağlı çerçeveleme sistemlerinin en yüksek taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R) tarafından gerekli kılınan ilgili detaylandırma gereksinimleri kullanılarak tasarlanmalıdır.

| Sismik Kuvvet Dayanımlı Sistem            | Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı, R | Taşıma Kuvveti Faktörü $\Omega_0$ | Sapma Büyütme Faktörü $C_d$ | Yapısal Sistem Sınırlamaları Limitleri, (m) cinsinden |               |               |               |               |
|-------------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|                                           |                                       |                                   |                             | Yapısal Sistem Sınırlamaları Limitleri, (m) cinsinden |               |               |               |               |
|                                           |                                       |                                   |                             | Sismik Tasarım Kategorisi                             |               |               |               |               |
| B                                         | C                                     | D                                 | E                           | F                                                     |               |               |               |               |
| TAŞIYICI DUVAR SİSTEMLERİ                 |                                       |                                   |                             |                                                       |               |               |               |               |
| Özel Betonarme Perde Duvarlar             | 5                                     | 1,414                             | 5                           | LİMİTSİZ                                              | LİMİTSİZ      | 48,8          | 48,8          | 48,8          |
| Sıradan Betonarme Perde Duvarlar          | 4                                     | 1,414                             | 4                           | LİMİTSİZ                                              | LİMİTSİZ      | İZİN VERİLMEZ | İZİN VERİLMEZ | İZİN VERİLMEZ |
| Ayrıntılı Düz Betonarme Perde Duvarlar    | 2                                     | 1,414                             | 2                           | LİMİTSİZ                                              | İZİN VERİLMEZ | İZİN VERİLMEZ | İZİN VERİLMEZ | İZİN VERİLMEZ |
| Sıradan Düz Betonarme Perde Duvarlar      | 1                                     | 1,414                             | 1                           | LİMİTSİZ                                              | İZİN VERİLMEZ | İZİN VERİLMEZ | İZİN VERİLMEZ | İZİN VERİLMEZ |
| Orta Düzey Prekast Perde Duvarlar         | 4                                     | 1,414                             | 4                           | LİMİTSİZ                                              | LİMİTSİZ      | 12,2          | 12,2          | 12,2          |
| Sıradan Prekast Perde Duvarlar            | 3                                     | 1,414                             | 3                           | LİMİTSİZ                                              | İZİN VERİLMEZ | İZİN VERİLMEZ | İZİN VERİLMEZ | İZİN VERİLMEZ |
| Özel Takviyeli Yığma Perde Duvarlar       | 5                                     | 1,414                             | 1,732                       | LİMİTSİZ                                              | LİMİTSİZ      | 48,8          | 48,8          | 48,8          |
| Orta Düzey Takviyeli Yığma Perde Duvarlar | 1,732                                 | 1,414                             | 1,414                       | LİMİTSİZ                                              | LİMİTSİZ      | İZİN VERİLMEZ | İZİN VERİLMEZ | İZİN VERİLMEZ |
| Sıradan Takviyeli Yığma Perde Duvarlar    | 2                                     | 1,414                             | 1                           | LİMİTSİZ                                              | 48,8          | İZİN VERİLMEZ | İZİN VERİLMEZ | İZİN VERİLMEZ |
| Ayrıntılı Düz Kagir Perde Duvarlar        | 2                                     | 1,414                             | 1                           | LİMİTSİZ                                              | İZİN VERİLMEZ | İZİN VERİLMEZ | İZİN VERİLMEZ | İZİN VERİLMEZ |
| Sıradan Düz Kagir Perde Duvarlar          | 1                                     | 1,414                             | 1                           | LİMİTSİZ                                              | İZİN VERİLMEZ | İZİN VERİLMEZ | İZİN VERİLMEZ | İZİN VERİLMEZ |
| Öngerilmeli Kagir Perde Duvarlar          | 1                                     | 1,414                             | 1                           | LİMİTSİZ                                              | İZİN VERİLMEZ | İZİN VERİLMEZ | İZİN VERİLMEZ | İZİN VERİLMEZ |

**Tablo 2.1:** Sismik kuvvet dayanımlı sistemler için tasarım katsayıları ve faktörleri (ASCE 7-16, 2017).

### 3. BETONARME BAĞ KİRİŞLERİ VE ÇELİK BAĞ KİRİŞLERİNİN MODELLENMESİ

#### 3.1. Betonarme Bağ Kirişleri

Betonarme bağ kirişlerinin büyük kesme dayanımına sahip olmalarını sağlamak için çapraz donatı demetleri ile düzenlenebilmesi için net açıklık/yükseklik oranları 2'yi geçmemelidir.

Bağ kirişli perde duvar sistemlerde, bağ kirişleri ile perde duvarların beraber çalışmaları amaçlanır. TBDY 2018'e göre aşağıda verilen her iki denkleminde sağlanmaması halinde bağ kirişine yerleştirilecek özel çapraz donatısı, geçerliliği deneyler ile kanıtlanmış yöntemlerle saptanacak ya da bağ kirişlerindeki kesme kuvvetlerini ve onun meydana getirdiği eğilme momentine karşı koyabilmek için çapraz donatı demetleri kullanılmalıdır (TBDY, 2018).

$$\ell_n \geq 2 h_k \quad (3.1)$$

$$V_d \leq 1.5 b_w d f_{ctd} \quad (3.2)$$

Bağ kirişli perdelerde bağ kirişlerine etki eden kesme kuvveti  $V_d$  verilen üst sınırı aşmamalıdır.

$$V_d \leq 0.85 \times b_w \times d \times \sqrt{f_{ck}} \quad (3.3)$$

Yukarıdaki formülde;

$\ell_n$ : bağ kirişlerinin perde yüzleri arasında kalan serbest açıklığı,

$h_k$ : bağ kirişi yüksekliği,

$b_w$ : bağ kirişi gövde genişliği,

$d$ : bağ kirişi faydalı yüksekliği,

$f_{ctd}$ : betonun tasarım çekme dayanımıdır.

TBDY 2018’de her bir çapraz donatı demetindeki toplam donatı alanı aşağıdaki denklem ile belirlenecektir.

$$A_{sd} = \frac{V_d}{2 x f_{yd} x \sin \gamma} \quad (3.4)$$

Bu denklemde;

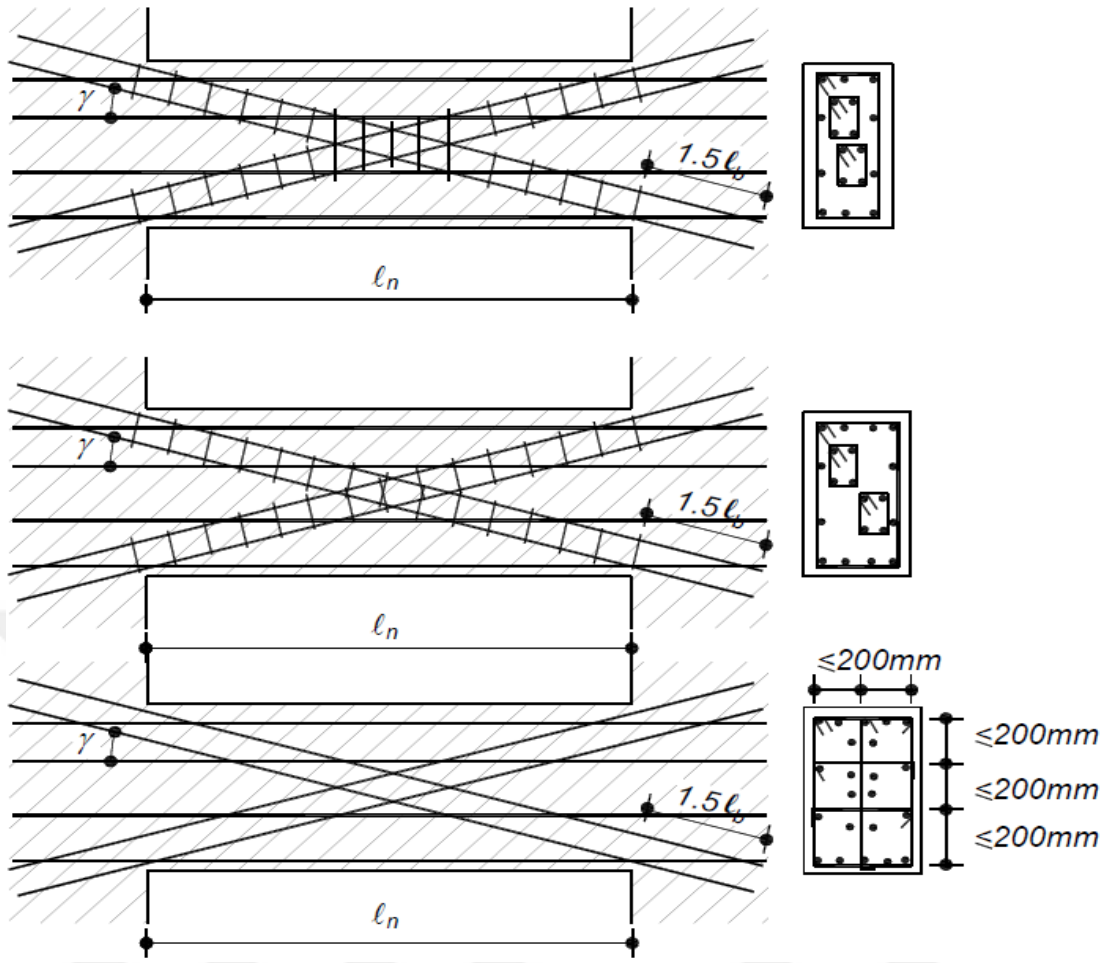
$A_{sd}$ : Betonarme bağ kirişinde bulunan her bir çapraz donatı demetinin toplam alanı,

$V_d$ : Yük katsayıları ile çarpılarak düşey yükler ve yanal deprem yüklerinin ortak etkisine maruz kalarak hesaplanan kesme kuvveti,

$f_{yd}$ : Boyuna donatının tasarım akma dayanımı,

$\gamma$ : Betonarme bağ kirişlerinde kullanılan çapraz donatı demetinin yatayla yaptığı açıdır.

Çapraz donatı demetlerinde en az dört adet donatı bulunmalı ve bu çapraz donatılar betonarme perde parçalarının içine doğru kalacak şekilde en az  $1.5l_b$  kadar uzatılacaktır. Çapraz donatı demetleri özel deprem etriyeleriyle sarılacak ve kullanılacak etriyelerin çapı 8 mm’den, aralığı ise çapraz donatı çapının 8 katından ve 100 mm’den daha büyük olmamalıdır. Çapraz donatılara ilave olarak, bağ kirişine TS 500’de öngörülen minimum miktarda etriye ve yatay donatı konulacaktır. Çapraz donatı demeti özel deprem etriyeleri ile sarılmadığı durumda, kiriş etriyelerinin aralığı çapraz donatı çapının 6 katını ve 150 mm’yi geçmemelidir. Ayrıca kiriş yüksekliği boyunca 200 mm’yi ve kiriş genişliği boyunca 200 mm’yi geçmeyen aralıklarla yatay ve düşey çirozlar kullanılacaktır. Bu şekilde yerleştirilen etriye ve çirozlar, hem düşey hem de yatay doğrultuda, belirtilen koşulları sağlamış olacaktır (TBDY, 2018).



Şekil 3.1: Boşluklu perdede bağ kirişi donatısı örnekleri (TBDY, 2018).



Şekil 3.2: Betonarme bağ kirişinin donatı uygulaması (Sowmya ve Chandra, 2014).

### 3.2. Çelik Bağ Kirişleri

Yapı deprem esnasında, perdeler arası kuvvet aktarımını sağlayan bağ kirişlerinde ciddi deformasyonlar oluşmaktadır. Bu bağ kirişlerinin istenilen sünekliği sağlayabilmesi için betonarme bağ kirişi tasarımında yoğun miktarda donatı yerleşimi ve bununla birlikte kiriş boyutlarının çok büyüdüğü gözlenmiştir. Bu sebepten dolayı, betonarme bağ kirişi yerine istenilen deformasyonları daha küçük bir çubuk eleman ile karşılayabilmek için ve bina kat yüksekliğinin sınırlandırılmış olması sebebiyle için bağ kirişlerinin tasarımında, yapısal çelik elemanlar tercih edilmiştir. Çelik bağ kirişi ile betonarme bağ kirişinin, bağ kirişli boşluklu perde sistemlerindeki rollerinin aynı olduğu gözlenmiştir (Harries et al, 2000).

Bağ kirişlerine gelen kesme kuvvetlerinden dolayı göçmenin önlendiği bilinmektedir. Eğilme mafsallarının meydana gelmesini sağlayan betonarme bağ kirişlerine karşı, çelik bağ kirişlerinde önemli miktarda enerji sönümleme kapasitesi kesme davranışının oluşması ile yapılabilmektedir. Bu davranışın oluşabilmesi için çelik bağ kirişinde bölgesel ve yanal burkulmaya karşı koyması gerekmektedir (Harries et al, 1992).

(Harries et al.,1992) çelik bağ kirişi kullanıldığında ortaya çıkacak avantajlar aşağıdaki verilmiştir:

- Yapıda enerji yutabilme kapasitesi ve sünekliği arttırmaktadır;
- Çelik bağ kirişinde gömülme bölgesi iyi detaylandırılırsa süneklik artar;
- Betonarme bağ kirişine göre imalat hatasını ve iç içe geçen kiriş donatı yığınlarının yerleştirilmesindeki zorluklar oluşmaz;
- Çelik Bağ kirişinde yerel ve yanal burkulmanın önlendiğinde süneklik artar;

### 3.2.1. Geometrik Modelleme

Önceki çalışmalar (Shahrooz ve ark. 1992, 1993, Gong ve ark. 1997, 1998, Harries ve ark. 1997), çelik veya çelik-beton kompozit bağ kirişlerinin duvarın karşısında ankastre olmadığını göstermektedir. Tasarım hesaplamalarının bir parçası olarak, duvar kuvvetlerinin ve yanal dönmelerin makul bir doğrulukla hesaplandığından emin olmak için ek sünekliğin dikkate alınması gerekir. Deneysel verilere dayanarak (Shahrooz ve ark. 1992, 1993, Gong ve ark. 1997, 1998), çelik veya çelik-beton kompozit bağ kirişlerinin “etkin ankastre noktaları”, gömme uzunluğunun yaklaşık üçte biri olarak duvarın yüzeyinden alınabilir (Harries et al, 2000).

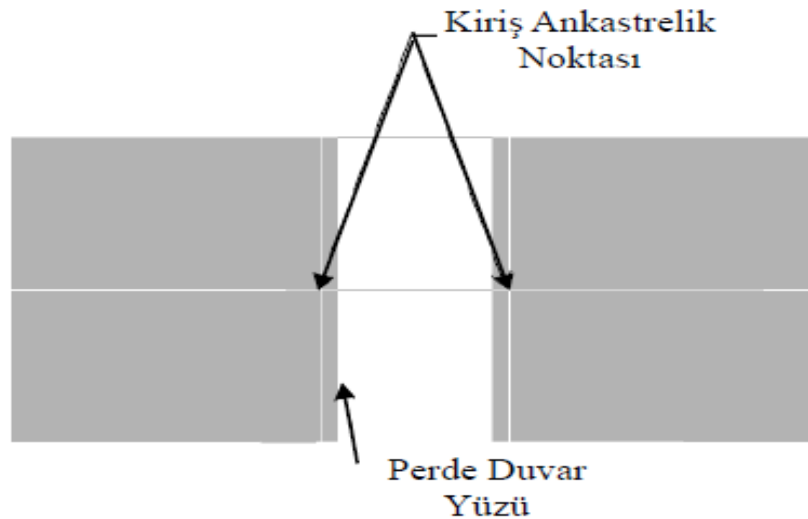
Bu nedenle, Şekil 3.3'de gösterilen modeldeki bağ kirişini temsil eden çerçeve elemanının L etkin ankastrelik noktası:

$$L = L_{\text{clear}} + 0,6 L_e \quad (3.1)$$

$L_{\text{clear}}$  = İki perde arasındaki bağ kirişi uzunluğu

$L_e$  = Çelik bağ kirişinin perdeye gömüldüğü uzunluk

L = Ankastre noktaları



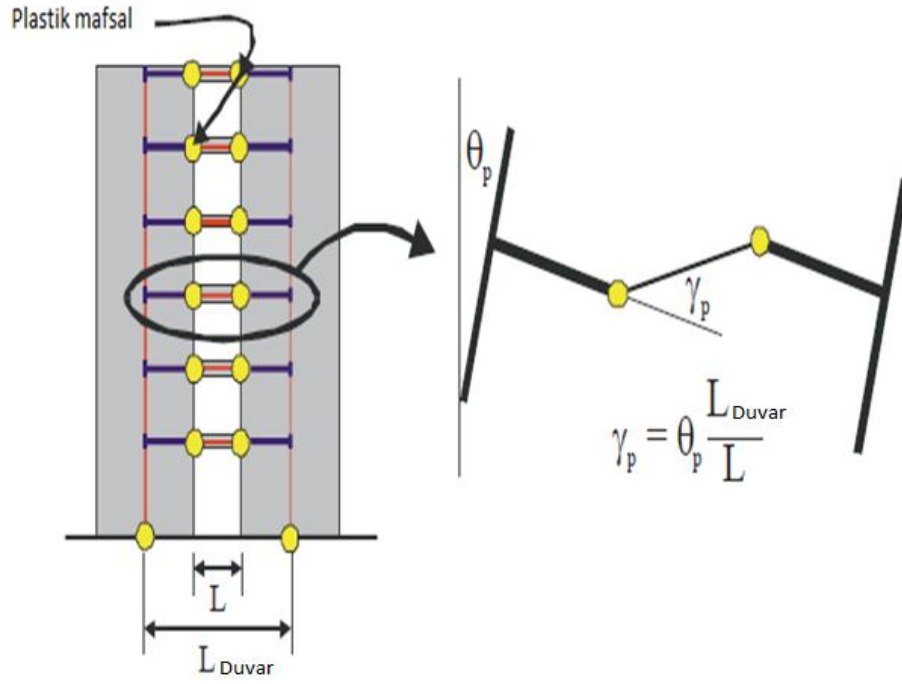
**Şekil 3.3:** Çelik bağ kirişlerinin ankastrelik noktaları (Ayazoğlu, 2015).



**Şekil 3.4:** Çelik bağ kirişi ile bağlanmış betonarme boşluklu perde duvar sistemi uygulaması – 1 (Ayazoğlu, 2015).



**Şekil 3.5:** Çelik bağ kirişi ile bağlanmış betonarme boşluklu perde duvar sistemi uygulaması – 2 (Jlang ve ark, 2017).



**Şekil 3.6:** Çelik bağ kirişli boşluklu perdede oluşan dönme açıları ve plastik mafsallar (Harries et al, 2000).

### 3.2.2. Çelik Bağ Kirişinin Gömülü Uzunluğunun Hesaplanması

Bağ kirişi, kapasitesinin geliştirilebileceği şekilde duvara gömülmüştür. Gerekli gömülme uzunluğunu hesaplamak için birkaç yöntem kullanılabilir. Her iki yöntem de, Marcakis ve Mitchell (1980) tarafından önerilen denklemlerin genellikle biraz daha uzun gömülme uzunlukları ile sonuçlanmasına rağmen kullanılabilir.

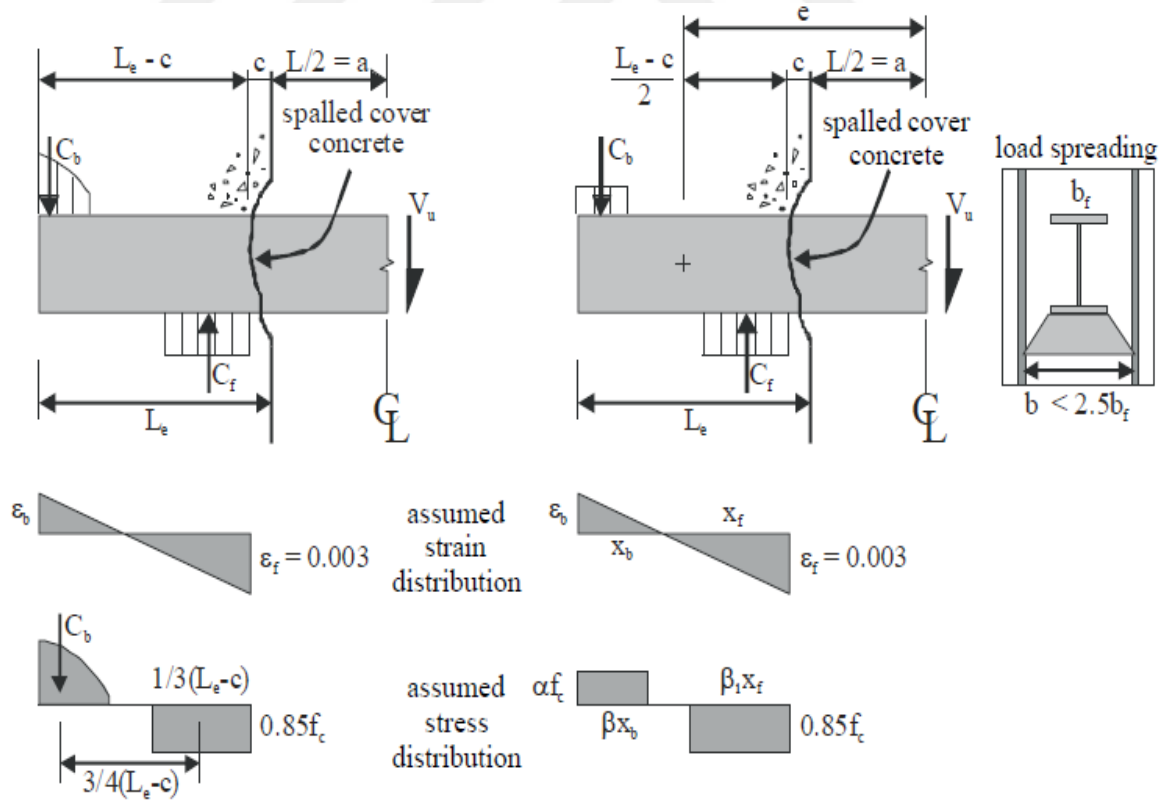
Bu model, Şekil 3.6a'da gösterildiği gibi,  $C_f$  ve  $C_b$  taşıma kuvvetleri arasında bir iç moment kolunun harekete geçirilmesine dayanmaktadır.  $C_b$  için taşıma gerilmelerinin bir parabolik dağılımı olduğu varsayılır ve  $C_f$ ,  $0.85f_c$ 'ye eşit bir düzgün gerilme ile hesaplanır. Taşıma gerilmeleri kiriş flanşının genişliği,  $b_f$ . Bu varsayımların ardından ve deneysel verilere göre kalibre edildiğinde, gerekli gömülme uzunluğu  $L_e$ , aşağıdakilerden belirlenebilir (Harries et al, 2000):

$$V_u = 4.05 \times \sqrt{f'_c} \times \left( \frac{t_{duvar}}{b_f} \right)^{0.66} \times \beta_1 \times b_f \times L_e \times \left[ \frac{0.58 - 0.22 \times \beta_1}{0.88 + \frac{\alpha}{L_e}} \right] \quad (3.3)$$

Şekil 3.6b'de gösterilen biraz farklı varsayılmış gerilme dağılımları kullanarak ve gömülü elemanın katı bir vücut hareketini varsayarsak, aşağıdaki ifade gerekli gömme uzunluğunu ( $L_e$ ) belirlemek için kullanılabilir. Bu ifade aynı zamanda deneysel verilere karşı kalibre edilmiştir (Harries et al, 2000).

$$V_u = \frac{0.85 \times \Phi_c \times f'_c \times b' \times (L_e - c)}{1 + \frac{3.6 \times e}{(L_e - c)}} \quad (3.4)$$

Şekil 3.6b'de gösterildiği gibi, Burada “e” etkili gömme merkezinin bağ kirişin dış merkezi ile arasındaki mesafedir. Her iki yöntemde de, kesme noktasının orta noktada olduğu kabul edilirse, kesme açıklığının değeri, "a", bağ kiriş uzunluğunun yarısı olarak alınır. Denklem 3.4'de hesaplanan perde duvarındaki dağılımlar için kesme aralığının arttırılması önerilmektedir. Bu yöntemler arasındaki önemli fark, Marcakis'in ve Mitchell'in, sıkıştırma kuvvetlerinin duvara yayılmasından sorumlu olmasıdır. Sonuç olarak, etkili sıkıştırma bölgesinin ( $b'$ ) genişliği kiriş flanşının ( $b_f$ ) genişliğinden daha büyük olabilir.



**Şekil 3.7:** a) Mattock ve Gaafar (1982) - b) Marcakis ve Mitchell (1980) Gömme kapasitesini belirleme yöntemleri (Harries et al, 2000).

Bağ kirişi kesmesi ( $V_u$ ) geliştirmek için gereken yerleştirme uzunluğu  $L_e$ , yukarıda bahsedilen iki yöntemden biriyle hesaplanabilir.

$$V_u = 1.5 V_p = 1.5 \times 0.6 \times F_y (h - 2 t_f) t_w \quad (3.5)$$

Çelik bağ kirişleri için  $V_u$ , çelik elemanın  $V_p$  plastik kesme kapasitesinin 1,5 katı olarak alınır:  $V_p$ :

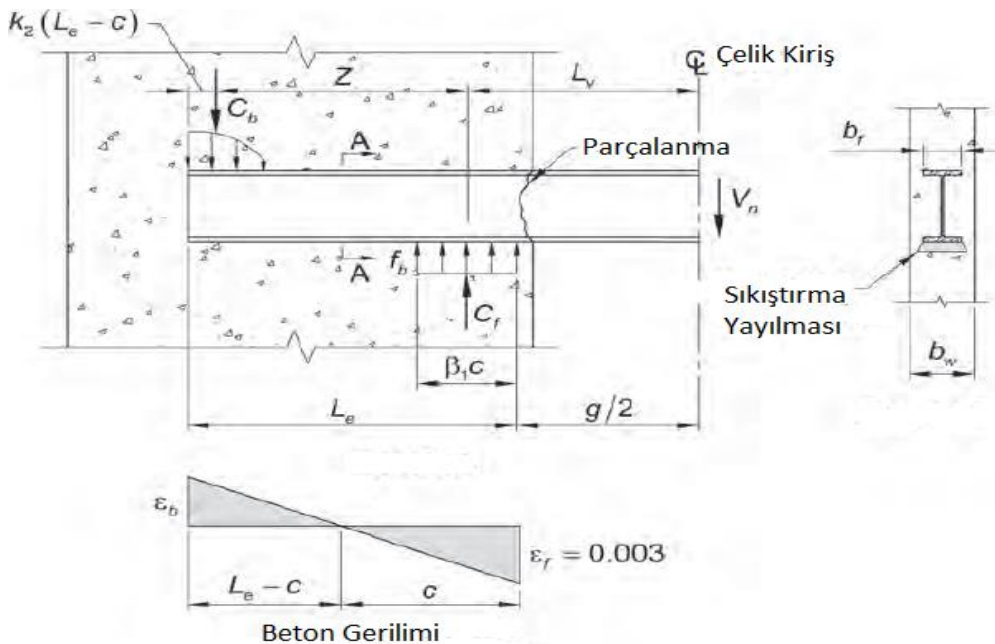
$$V_u = 1.35 \frac{2M_r}{L\Phi_s} = 1.5 \frac{M_r}{L} \quad (3.6)$$

İstenen gömülme uzunluğu, (Marcakis ve Mitchell, 1980'e dayanarak) yapılan ve ilişkinin faktörlü kayma direncinin  $V_u$ 'nun  $1.35 M_r / 2 L \Phi_s = 1.35 \times 727 / 0.9 = 1090$  kN olarak alındığı aşağıdaki ilişkiden belirlenir.

### 3.2.3. Çelik Bağ Kirişli Perde Duvarların AISC 341-16'ya Göre Tasarım Kuralları

Çelik bağ kirişlerinin tasarımı ve detaylandırması aşağıdakileri karşılamalıdır:

Çelik bağ kirişinin gömme uzunluğu,  $L_e$ , 3.7 ve 3.8 denklemlerinden hesaplanacaktır.



Şekil 3.8: Gömme kapasitesini belirleme yöntemleri (ANSI/AISC 341-16, 2016).

$$V_n = 1,54 \sqrt{f'_c} \left( \frac{t_{duvar}}{b_f} \right)^{0.66} \beta_1 b_f L_e \left[ \frac{0.58 - 0.22 \beta_1}{0.88 + \frac{L}{2 L_e}} \right] \quad (3.7)$$

Burada;

$L_e$  = Çelik bağ kirişinin betonarme perde duvar içinde gömülü uzunluğu, (mm)

$L$  = Çelik bağ kirişinin iki betonarme perde duvar arasındaki uzunluğu, (mm)

$V_n$  = Denklem 3.8'de hesaplanan çelik bağ kirişinin beklenen kesme kuvveti, (N)

$t_{duvar}$  = Perde duvar genişliği, (mm),

$b_f$  = Çelik Bağ kirişi profil başlık genişliği, (mm)

$f'_c$  = Perdenin betonun basınç dayanımı, (MPa)

$\beta_1$  = ACI 318-19'da tanımlandığı gibi, eşdeğer dikdörtgen basınç gerilim bloğunun nötr eksen derinliğine derinliği ile ilişkili faktör

Enine kesitin kenarları ile nötr eksene paralel olan  $0.85f'_c$  beton geriliminin, aşağıdaki şekilde hesaplandığı gibi, maksimum sıkıştırma gerilimine sahip liften bir mesafe ( $a$ ) uzaklıkta bulunan eşdeğer bir sıkıştırma bölgesi üzerinde eşit olarak dağıtıldığı varsayılacaktır. Maksimum basınç gerilimine sahip fiberden nötr eksene olan mesafe ( $c$ ), nötr eksene dik olarak ölçülecektir. (ACI 318-19, 2019).

$$a = \beta_1 c \quad (3.8)$$

$\beta_1$  alt sınırı, 55 MPa'dan daha büyük beton dayanımları ile inşa edilen kirişlerden elde edilen deneysel verilere dayanmaktadır (ACI 318-19, 2019).

**Tablo 3.1:** Beton dayanımlarına göre  $\beta_1$  tablosu (ACI 318-19, 2019).

| $f_c'$ , MPa           | $\beta_1$                           |     |
|------------------------|-------------------------------------|-----|
| $17 \leq f_c' \leq 28$ | 0.85                                | (a) |
| $28 \leq f_c' \leq 55$ | $0.85 - \frac{0.05 (f_c' - 28)}{7}$ | (b) |
| $f_c' \geq 55$         | 0.65                                | (c) |

$$V_n = \frac{2 M_p}{L} \leq V_p \quad (3.8)$$

Burada;

$A_{tw}$  = Çelik bağ kirişinin gövde alanı, (mm<sup>2</sup>)

$F_y$  = Çelik profil minimum akma gerilimi, (MPa)

$M_p = F_y Z$ , (N-mm)

$V_p = 0.6 F_y A_{tw}$  , (N)

$W$  = elastik mukavemet momenti (mm<sup>3</sup>) ,

$Z$  = plastik mukavemet momenti (mm<sup>3</sup>)

#### 4. SAYISAL UYGULAMALAR

##### 4.1. Betonarme Bağ Kirişli Boşluklu Perdelerin Taşıma Kuvvetine Göre Sayısal Uygulamalar

###### 4.1.1.1. 100 cm x 30 cm Boyutlarındaki 500 kN'a Göre Tasarlanan Betonarme Bağ kirişi

Kirişe ait zellikler:

Boyutları:  $b_w = 300 \text{ mm}$ ,  $h = 1000 \text{ mm}$ ,  $L_n = 2000 \text{ mm}$

$f_{ck} = C_{30} = 30 \text{ N/mm}^2 \text{ (Mpa)}$  (beton silindirik karakteristik denklemi)

$f_{yk} = S_{420} = 420 \text{ N/mm}^2 \text{ (Mpa)}$  ( ana donatı elik akma mukavemeti )

$f_{ywk} = S_{420} = 420 \text{ N/mm}^2 \text{ (Mpa)}$  ( etriye elik akma mukavemeti )

$\gamma_{mc} = 1,5$ ,  $\gamma_{ms} = 1,15$ ,  $f_{cd} = 30 / 1,5 = 20 \text{ N/mm}^2$

$f_{yd} = 420 / 1,15 = 365,2 \text{ N/mm}^2 \text{ (Mpa)}$  ( ana donatı için )

$f_{ywd} = 420 / 1,15 = 365,2 \text{ N/mm}^2 \text{ (Mpa)}$  ( etriye için )

$f_{ctk} = 0,35 \sqrt{f_{ck}} = 0,35 \times \sqrt{30} = 1,917 \text{ N/mm}^2$

$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_{mc} = 1,917 / 1,5 = 1,28 \text{ N/mm}^2$

$\text{paspayı} = d' = 50 \text{ mm}$

Bağ Kirişi Boyutları Kontrolü:

$$V_d = 500 \text{ Kn}$$

$$L_n > 2 \times h_k \quad (1. \text{ Denklem})$$

$$V_d \leq 1,5 \times b_w \times d \times f_{ctd} \quad (2. \text{ Denklem})$$

Deprem yönetmeliğinde 1. ve 2. Denklemlerin her ikisinin de gerçekleşmemesi durumunda çapraz donatı kullanılır.

$$2 h_k = 2 \times 1000 = 2000 \text{ mm}$$

$$L_n = 2000 \text{ mm} > 2 h_k = 2000 \text{ mm} \quad (\text{sağlamadı.})$$

$$V_d = 1,5 \times 300 \times 950 \times 1,28 / 1000 = 547,2 \text{ kN} \geq 500 \text{ kN} \quad (\text{sağladı.})$$

Her iki denklemde sağlamadığından çapraz donatı gerekir.

$$V_{cr} = 0,65 f_{ctd} b_w d = 0,65 \times 1,28 \times 300 \times 950 / 1000 = 237,12 \text{ kN}$$

$$V_{r \max} = 0,22 f_{cd} b_w d = 0,22 \times 20 \times 300 \times 950 / 1000 = 1254 \text{ kN}$$

Kesme kuvvetini donatı ile karşılama şartı:  $V_{cr} < V_d < V_{r \max}$

$$V_{cr} = 237,12 \text{ kN} < V_d = 500 \text{ kN} < V_{r \max} = 1254 \text{ kN}$$

$$\frac{(h_k - 2d')}{2} = \frac{(1000 - 2 \times 50)}{2} = 450 \rightarrow \tan \gamma = \frac{450}{1000} = 0,45 \rightarrow \gamma = 24,22^\circ$$

$$A_{sd} = \frac{V_d}{2 f_{yd} \sin \gamma} = \frac{500 \times 1000}{2 \times 365,2 \times \sin 24,22} = 1668,67 \text{ mm}^2$$

Seçilen çapraz donatı alanı 4 Ø 24 (1809,56 mm<sup>2</sup>) seçilmiştir.

Çapraz donatı etriye hesabı:  $b_w / 2 = 300/2 = 150 \text{ mm}$

Çapraz donatının etriye genişliği = 150 mm

Çapraz donatının etriye yüksekliği = 150 mm < 350 mm

Çapraz donatının bir köşesindeki donatı miktarı =  $\Sigma A_b = 452,39 \text{ mm}^2$

Çapraz donatıların burkulmasını önleyecek sargı donatısı;

$$\frac{A_{te}}{S} = \frac{(\Sigma A_b f_{yd})}{(1600 f_{yd})} = \frac{452,39 \times 365,2}{1600 \times 365,2} = 0,283 \frac{\text{mm}^2}{\text{mm}}$$

Seçilen etriye Ø 8 / 100 →  $A_{te} / S = 50,27 / 100 = 0,503 \text{ mm}^2 / \text{mm}$

0,503 > 0,441 seçilen etriye uygundur.

Çapraz donatı kenetlenme boyu hesabı:

$$L_b = 1,5 \times 0,12 \times \emptyset \times f_{yd} / f_{ctd} > 1,5 \times 20 \times \emptyset$$

$$1,5 \times 0,12 \times 24 \times 365,2 / 1,28 = 1232,55 \text{ mm}$$

$$1,5 \times 20 \times \emptyset = 1,5 \times 20 \times 24 = 720 \text{ mm}$$

Seçilen →  $L_b = 1232,55 \text{ mm}$

Bağ kirişinin donatı miktarı:

$$A_{smin} = \frac{0,8 f_{ctd}}{f_{yd}} b_w d = \frac{0,8 \times 1,28}{365,2} \times 300 \times 950 = 799,12 \text{ mm}^2$$

$$\rightarrow \text{Seçilen: } 3 \text{ } \varnothing 20 = 942,48 \text{ mm}^2$$

Bağ kirişinin etriye donatısı aralığı:

$$A_{sw} = n \pi \varnothing^2 / 4 = 2 \times \pi \times 8^2 / 4 = 100,5 \text{ mm}^2$$

$$S_{min} = \frac{A_{sw} f_{ywd}}{(0,3 f_{ctd} b_w)} = \frac{100,5 \times 365,2}{0,3 \times 1,28 \times 300} = 318,6 \text{ mm}$$

$$S_{min} = h / 3 = 1000 / 3 = 333,33 \text{ mm}$$

$$S_{min} = 10 \times \varnothing_{min} = 10 \times 20 = 200 \text{ mm}$$

$$S_{min} = 150 \text{ mm}$$

$$\text{Seçilen bağ kirişi etriye aralığı} \quad s = 150 \text{ mm}$$

Bağ kirişine yerleştirilecek gövde donatısı:

$$A_{sgövde} = 0,001 b_w d = 0,001 \times 300 \times 950 = 285 \text{ mm}^2 \rightarrow 4 \varnothing 12 (452,39 \text{ mm}^2)$$

$$h_k - 2d' = 1000 - 2 \times 50 = 900$$

$$900 / 350 = 2,57 \rightarrow 3 \text{ adet seçilen } 6 \varnothing 12 (678,58 \text{ mm}^2)$$

#### 4.1.1.2. 100 cm x 30cm Boyutlarındaki 600 kN'a Göre Tasarlanan Betonarme Bağ kirişi

Kirişe ait özellikler:

Boyutları:  $b_w = 300 \text{ mm}$ ,  $h = 1000 \text{ mm}$ ,  $L_n = 2000 \text{ mm}$

$f_{ck} = C_{30} = 30 \text{ N/mm}^2 \text{ (Mpa)}$  (beton silindirik karakteristik denklemi)

$f_{yk} = S_{420} = 420 \text{ N/mm}^2 \text{ (Mpa)}$  ( ana donatı çelik akma mukavemeti )

$f_{ywk} = S_{420} = 420 \text{ N/mm}^2 \text{ (Mpa)}$  ( etriye çelik akma mukavemeti )

$\gamma_{mc} = 1,5$ ,  $\gamma_{ms} = 1,15$ ,  $f_{cd} = 30 / 1,5 = 20 \text{ N/mm}^2$

$f_{yd} = 420 / 1,15 = 365,2 \text{ N/mm}^2 \text{ (Mpa)}$  ( ana donatı için )

$f_{ywd} = 420 / 1,15 = 365,2 \text{ N/mm}^2 \text{ (Mpa)}$  ( etriye için )

$f_{ctk} = 0,35 \sqrt{f_{ck}} = 0,35 \times \sqrt{30} = 1,917 \text{ N/mm}^2$

$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_{mc} = 1,917 / 1,5 = 1,28 \text{ N/mm}^2$

$\text{paspayı} = d' = 50 \text{ mm}$

Bağ Kirişi Boyutları Kontrolü:

$V_d = 600 \text{ kN}$

$L_n > 2 h_k$

(1. Denklem)

$$V_d \leq 1,5 \times b_w \times d \times f_{ctd} \quad (2. \text{ Denklemler})$$

Deprem yönetmeliğinde 1. ve 2. Denklemlerin her ikisinin de gerçekleşmemesi durumunda çapraz donatı kullanılır.

$$2 h_k = 2 \times 1000 = 2000 \text{ mm}$$

$$L_n = 2000 \text{ mm} > 2 h_k = 2000 \text{ mm} \quad (\text{sağlamadı.})$$

$$V_d = 1,5 \times 300 \times 950 \times 1,28 / 1000 = 547,2 \text{ kN} \geq 600 \text{ kN} \quad (\text{sağlamadı.})$$

Her iki denklemde sağlamadığından çapraz donatı gerekir.

$$V_{cr} = 0,65 f_{ctd} b_w d = 0,65 \times 1,28 \times 300 \times 950 / 1000 = 237,12 \text{ kN}$$

$$V_{r \max} = 0,22 f_{cd} b_w d = 0,22 \times 20 \times 300 \times 950 / 1000 = 1254 \text{ kN}$$

Kesme kuvvetini donatı ile karşılama şartı:  $V_{cr} < V_d < V_{r \max}$

$$V_{cr} = 237,12 \text{ kN} < V_d = 600 \text{ kN} < V_{r \max} = 1254 \text{ kN}$$

$$\frac{(h_k - 2d')}{2} = \frac{(1000 - 2 \times 50)}{2} = 450 \rightarrow \tan \gamma = \frac{450}{1000} = 0,45 \rightarrow \gamma = 24,22^\circ$$

$$A_{sd} = \frac{V_d}{2 \times f_{yd} \times \sin \gamma} = \frac{600 \times 1000}{2 \times 365,2 \times \sin 24,22} = 2002,4 \text{ mm}^2$$

Seçilen çapraz donatı alanı 4 Ø 26 (2123,71 mm<sup>2</sup>) seçilmiştir.

Çapraz donatı etriye hesabı:  $b_w / 2 = 300/2 = 150 \text{ mm}$

Çapraz donatının etriye genişliği = 150 mm

Çapraz donatının etriye yüksekliği = 150 mm < 350 mm

Çapraz donatının bir köşesindeki donatı miktarı =  $\Sigma A_b = 530,93 \text{ mm}^2$

Çapraz donatıların burkulmasını önleyecek sargı donatısı;

$$\frac{A_{te}}{S} = \frac{(\Sigma A_b f_{yd})}{(1600 f_{yd})} = \frac{530,93 \times 365,2}{1600 \times 365,2} = 0,331 \frac{\text{mm}^2}{\text{mm}}$$

Seçilen etriye  $\emptyset 8 / 100 \rightarrow A_{te} / S = 50,27 / 100 = 0,503 \text{ mm}^2 / \text{mm}$

$0,503 > 0,331$  seçilen etriye uygundur.

Çapraz donatı kenetlenme boyu hesabı:

$$L_b = 1,5 \times 0,12 \times \emptyset \times f_{yd} / f_{ctd} > 1,5 \times 20 \times \emptyset$$

$$1,5 \times 0,12 \times 26 \times 365,2 / 1,28 = 1335,26 \text{ mm}$$

$$1,5 \times 20 \times \emptyset = 1,5 \times 20 \times 26 = 780 \text{ mm}$$

Seçilen  $\rightarrow L_b = 1335,26 \text{ mm}$

Bağ kirişinin donatı miktarı:

$$A_{smin} = \frac{0,8 f_{ctd}}{f_{yd}} b_w d = \frac{0,8 \times 1,28}{365,2} \times 300 \times 950 = 799,12 \text{ mm}^2$$

$\rightarrow$  Seçilen:  $3 \emptyset 20 = 942,48 \text{ mm}^2$

Bağ kirişinin etriye donatısı aralığı:

$$A_{sw} = n \pi \varnothing^2 / 4 = 2 \times \pi \times 8^2 / 4 = 100,5 \text{ mm}^2$$

$$S_{min} = \frac{A_{sw} f_{ywd}}{(0,3 f_{ctd} b_w)} = \frac{100,5 \times 365,2}{0,3 \times 1,28 \times 300} = 318,6 \text{ mm}$$

$$S_{min} = h / 3 = 1000 / 3 = 333,33 \text{ mm}$$

$$S_{min} = 10 \varnothing_{min} = 10 \times 20 = 200 \text{ mm}$$

$$S_{min} = 150 \text{ mm}$$

Seçilen bağ kirişi etriye aralığı  $s = 150 \text{ mm}$

Bağ kirişine yerleştirilecek gövde donatısı:

$$A_{sgövde} = 0,001 b_w d = 0,001 \times 300 \times 950 = 285 \text{ mm}^2 \rightarrow 4\varnothing 12 (452.39 \text{ mm}^2)$$

$$h_k - 2d' = 1000 - 2 \times 50 = 900$$

$$900 / 350 = 2,57 \rightarrow 3 \text{ adet seçilen } 6 \varnothing 12 (678.58 \text{ mm}^2)$$

#### 4.1.1.3. 100 cm x 30 cm Boyutlarındaki 700 kN'a Göre Tasarlanan Betonarme Bağ kirişi

Kirişe ait özellikler:

Boyutları:  $b_w = 300 \text{ mm}$ ,  $h = 1000 \text{ mm}$ ,  $L_n = 2000 \text{ mm}$

$f_{ck} = C_{30} = 30 \text{ N/mm}^2 \text{ (Mpa)}$  (beton silindirik karakteristik denklemi)

$f_{yk} = S_{420} = 420 \text{ N/mm}^2 \text{ (Mpa)}$  ( ana donatı çelik akma mukavemeti )

$f_{ywk} = S_{420} = 420 \text{ N/mm}^2 \text{ (Mpa)}$  ( etriye çelik akma mukavemeti )

$\gamma_{mc} = 1,5$ ,  $\gamma_{ms} = 1,15$ ,  $f_{cd} = 30 / 1,5 = 20 \text{ N/mm}^2$

$f_{yd} = 420 / 1,15 = 365,2 \text{ N/mm}^2 \text{ (Mpa)}$  ( ana donatı için )

$f_{ywd} = 420 / 1,15 = 365,2 \text{ N/mm}^2 \text{ (Mpa)}$  ( etriye için )

$f_{ctk} = 0,35 \sqrt{f_{ck}} = 0,35 \times \sqrt{30} = 1,917 \text{ N/mm}^2$

$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_{mc} = 1,917 / 1,5 = 1,28 \text{ N/mm}^2$

$\text{paspayı} = d' = 50 \text{ mm}$

Bağ Kirişi Boyutları Kontrolü:

$V_d = 700 \text{ kN}$

$L_n > 2 h_k$

(1. Denklem)

$$V_d \leq 1,5 \times b_w \times d \times f_{ctd} \quad (2. \text{ Denklemler})$$

Deprem yönetmeliğinde 1. ve 2. Denklemlerin her ikisinin de gerçekleşmemesi durumunda çapraz donatı kullanılır.

$$2 h_k = 2 \times 1000 = 2000 \text{ mm}$$

$$L_n = 2000 \text{ mm} > 2 h_k = 2000 \text{ mm} \quad (\text{sağlamadı.})$$

$$V_d = 1,5 \times 300 \times 950 \times 1,28 / 1000 = 547,2 \text{ kN} \geq 700 \text{ kN} \quad (\text{sağlamadı.})$$

Her iki denklemden sağlanmadığından çapraz donatı gerekir.

$$V_{cr} = 0,65 f_{ctd} b_w d = 0,65 \times 1,28 \times 300 \times 950 / 1000 = 237,12 \text{ kN}$$

$$V_{r \max} = 0,22 f_{cd} b_w d = 0,22 \times 20 \times 300 \times 950 / 1000 = 1254 \text{ kN}$$

Kesme kuvvetini donatı ile karşılama şartı:  $V_{cr} < V_d < V_{r \max}$

$$V_{cr} = 237,12 \text{ kN} < V_d = 700 \text{ kN} < V_{r \max} = 1254 \text{ kN}$$

$$\frac{(h_k - 2d')}{2} = \frac{(1000 - 2 \times 50)}{2} = 450 \rightarrow \tan \gamma = \frac{450}{1000} = 0,45 \rightarrow \gamma = 24,22^\circ$$

$$A_{sd} = \frac{V_d}{2 f_{yd} \sin \gamma} = \frac{700 \times 1000}{2 \times 365,2 \times \sin 24,22} = 2336,13 \text{ mm}^2$$

Seçilen çapraz donatı alanı 4 Ø 28 (2463 mm<sup>2</sup>) seçilmiştir.

Çapraz donatı etriye hesabı:  $b_w / 2 = 300 / 2 = 150 \text{ mm}$

Çapraz donatının etriye genişliği = 150 mm

Çapraz donatının etriye yüksekliği = 150 mm < 350 mm

Çapraz donatının bir köşesindeki donatı miktarı =  $\Sigma A_b = 615,75 \text{ mm}^2$

Çapraz donatıların burkulmasını önleyecek sargı donatısı;

$$\frac{A_{te}}{S} = \frac{(\Sigma A_b f_{yd})}{(1600 f_{yd})} = \frac{615,75 \times 365,2}{1600 \times 365,2} = 0,385 \frac{\text{mm}^2}{\text{mm}}$$

Seçilen etriye  $\emptyset 8 / 100 \rightarrow A_{te} / S = 50,27 / 100 = 0,503 \text{ mm}^2 / \text{mm}$

$0,503 > 0,385$  seçilen etriye uygundur.

Çapraz donatı kenetlenme boyu hesabı:

$$L_b = 1,5 \times 0,12 \times \emptyset \times f_{yd} / f_{ctd} > 1,5 \times 20 \times \emptyset$$

$$1,5 \times 0,12 \times 28 \times 365,2 / 1,28 = 1438 \text{ mm}$$

$$1,5 \times 20 \times \emptyset = 1,5 \times 20 \times 28 = 840 \text{ mm}$$

Seçilen  $\rightarrow L_b = 1438 \text{ mm}$

Bağ kirişinin donatı miktarı:

$$A_{smin} = \frac{0,8 f_{ctd}}{f_{yd}} b_w d = \frac{0,8 \times 1,28}{365,2} \times 300 \times 950 = 799,12 \text{ mm}^2$$

$\rightarrow$  Seçilen:  $3 \emptyset 20 = 942,48 \text{ mm}^2$

Bağ kirişinin etriye donatısı aralığı:

$$A_{sw} = n \pi \varnothing^2 / 4 = 2 \times \pi \times 8^2 / 4 = 100,5 \text{ mm}^2$$

$$S_{min} = \frac{A_{sw} f_{ywd}}{(0,3 f_{ctd} b_w)} = \frac{100,5 \times 365,2}{0,3 \times 1,28 \times 300} = 318,6 \text{ mm}$$

$$S_{min} = h / 3 = 1000 / 3 = 333,33 \text{ mm}$$

$$S_{min} = 10 \varnothing_{min} = 10 \times 20 = 200 \text{ mm}$$

$$S_{min} = 150 \text{ mm}$$

Seçilen bağ kirişi etriye aralığı  $s = 150 \text{ mm}$

Bağ kirişine yerleştirilecek gövde donatısı:

$$A_{sgövde} = 0,001 b_w d = 0,001 \times 300 \times 950 = 285 \text{ mm}^2 \rightarrow 4\varnothing 12 (452.39 \text{ mm}^2)$$

$$h_k - 2d' = 1000 - 2 \times 50 = 900$$

$$900 / 350 = 2,57 \rightarrow 3 \text{ adet seçilen } 6 \varnothing 12 (678.58 \text{ mm}^2)$$

#### 4.1.2.1. 125 cm x 30 cm Boyutlarındaki 500 kN'a Göre Tasarlanan Betonarme Bağ kirişi

Kirişe ait özellikler:

Boyutları:  $b_w = 300 \text{ mm}$ ,  $h = 1250 \text{ mm}$ ,  $L_n = 2000 \text{ mm}$

$f_{ck} = C_{30} = 30 \text{ N/mm}^2 \text{ (MPa)}$  (beton silindirik karakteristik denklemi)

$f_{yk} = S_{420} = 420 \text{ N/mm}^2 \text{ (MPa)}$  ( ana donatı çelik akma mukavemeti )

$f_{ywk} = S_{420} = 420 \text{ N/mm}^2 \text{ (MPa)}$  ( etriye çelik akma mukavemeti )

$\gamma_{mc} = 1,5$ ,  $\gamma_{ms} = 1,15$ ,  $f_{cd} = 30 / 1,5 = 20 \text{ N/mm}^2$

$f_{yd} = 420 / 1,15 = 365,2 \text{ N/mm}^2 \text{ (MPa)}$  ( ana donatı için )

$f_{ywd} = 420 / 1,15 = 365,2 \text{ N/mm}^2 \text{ (MPa)}$  ( etriye için )

$f_{ctk} = 0,35 \sqrt{f_{ck}} = 0,35 \times \sqrt{30} = 1,917 \text{ N/mm}^2$

$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_{mc} = 1,917 / 1,5 = 1,28 \text{ N/mm}^2$

$\text{paspayı} = d' = 50 \text{ mm}$

Bağ Kirişi Boyutları Kontrolü:

$V_d = 500 \text{ kN}$

$L_n > 2 h_k$

(1. Denklem)

$$V_d \leq 1,5 \times b_w \times d \times f_{ctd} \quad (2. \text{ Denklemler})$$

Deprem yönetmeliğinde 1. ve 2. Denklemlerin her ikisinin de gerçekleşmemesi durumunda çapraz donatı kullanılır.

$$2 h_k = 2 \times 1250 = 2500 \text{ mm}$$

$$L_n = 2000 \text{ mm} > 2 h_k = 2500 \text{ mm} \quad (\text{sağlamadı.})$$

$$V_d = 1,5 \times 300 \times 1200 \times 1,28 / 1000 = 691,2 \text{ kN} \geq 500 \text{ kN} \quad (\text{sağladı.})$$

Her iki denklemde sağlamadığından çapraz donatı gerekir.

$$V_{cr} = 0,65 f_{ctd} b_w d = 0,65 \times 1,28 \times 300 \times 1200 / 1000 = 299,52 \text{ kN}$$

$$V_{r \max} = 0,22 f_{cd} b_w d = 0,22 \times 20 \times 300 \times 1200 / 1000 = 1584 \text{ kN}$$

Kesme kuvvetini donatı ile karşılama şartı:  $V_{cr} < V_d < V_{r \max}$

$$V_{cr} = 299,52 \text{ kN} < V_d = 500 \text{ kN} < V_{r \max} = 1584 \text{ kN}$$

$$\frac{(h_k - 2d')}{2} = \frac{(1250 - 2 \times 50)}{2} = 575 \rightarrow \tan \gamma = \frac{575}{1000} = 0,575 \rightarrow \gamma = 29,9^\circ$$

$$A_{sd} = \frac{V_d}{2 \times f_{yd} \times \sin \gamma} = \frac{500 \times 1000}{2 \times 365,2 \times \sin 29,9} = 1373,27 \text{ mm}^2$$

Seçilen çapraz donatı alanı 4 Ø 22 ( 1520,53 mm<sup>2</sup> ) seçilmiştir.

$$\text{Çapraz donatı etriye hesabı: } b_w / 2 = 300/2 = 150 \text{ mm}$$

Çapraz donatının etriye genişliği = 150 mm

Çapraz donatının etriye yüksekliği = 150 mm < 350 mm

Çapraz donatının bir köşesindeki donatı miktarı =  $\Sigma A_b = 380,13 \text{ mm}^2$

Çapraz donatıların burkulmasını önleyecek sargı donatısı;

$$\frac{A_{te}}{S} = \frac{(\Sigma A_b f_{yd})}{(1600 f_{yd})} = \frac{380,13 \times 365,2}{1600 \times 365,2} = 0,238 \frac{\text{mm}^2}{\text{mm}}$$

Seçilen etriye  $\emptyset 8 / 100 \rightarrow A_{te} / S = 50,27 / 100 = 0,503 \text{ mm}^2 / \text{mm}$

$0,503 > 0,385$  seçilen etriye uygundur.

Çapraz donatı kenetlenme boyu hesabı:

$$L_b = 1,5 \times 0,12 \times \emptyset \times f_{yd} / f_{ctd} > 1,5 \times 20 \times \emptyset$$

$$1,5 \times 0,12 \times 22 \times 365,2 / 1,28 = 1129,83 \text{ mm}$$

$$1,5 \times 20 \times \emptyset = 1,5 \times 20 \times 22 = 840 \text{ mm}$$

Seçilen  $\rightarrow L_b = 1129,83 \text{ mm}$

Bağ kirişinin donatı miktarı:

$$A_{smin} = \frac{0,8 f_{ctd}}{f_{yd}} b_w d = \frac{0,8 \times 1,28}{365,2} \times 300 \times 1200 = 1009,42 \text{ mm}^2$$

$\rightarrow$  Seçilen:  $3 \emptyset 22 = 1140,42 \text{ mm}^2$

Bağ kirişinin etriye donatısı aralığı:

$$A_{sw} = n \pi \varnothing^2 / 4 = 2 \times \pi \times 8^2 / 4 = 100,5 \text{ mm}^2$$

$$S_{min} = \frac{A_{sw} f_{ywd}}{(0,3 f_{ctd} b_w)} = \frac{100,5 \times 365,2}{0,3 \times 1,28 \times 300} = 318,6 \text{ mm}$$

$$S_{min} = h / 3 = 1000 / 3 = 333,33 \text{ mm}$$

$$S_{min} = 10 \varnothing_{min} = 10 \times 22 = 220 \text{ mm}$$

$$S_{min} = 150 \text{ mm}$$

Seçilen bağ kirişi etriye aralığı  $s = 150 \text{ mm}$

Bağ kirişine yerleştirilecek gövde donatısı:

$$A_{sgövde} = 0,001 \times b_w \times d = 0,001 \times 300 \times 1200 = 360 \text{ mm}^2 \rightarrow 4\varnothing 12 (452.39 \text{ mm}^2)$$

$$h_k - 2d' = 1250 - 2 \times 50 = 1150$$

$$1150 / 350 = 3,28 \rightarrow 4 \text{ adet seçilen } 8 \varnothing 12 (904.77 \text{ mm}^2)$$

#### 4.1.2.2. 125 cm x 30 cm Boyutundaki 600 kN'a Göre Tasarlanan Betonarme Bağ kirişi

Kirişe ait özellikler:

Boyutları:  $b_w = 300 \text{ mm}$ ,  $h = 1250 \text{ mm}$ ,  $L_n = 2000 \text{ mm}$

$f_{ck} = C_{30} = 30 \text{ N/mm}^2 \text{ (Mpa)}$  (beton silindirik karakteristik denklemi)

$f_{yk} = S_{420} = 420 \text{ N/mm}^2 \text{ (Mpa)}$  ( ana donatı çelik akma mukavemeti )

$f_{ywk} = S_{420} = 420 \text{ N/mm}^2 \text{ (Mpa)}$  ( etriye çelik akma mukavemeti )

$\gamma_{mc} = 1,5$ ,  $\gamma_{ms} = 1,15$ ,  $f_{cd} = 30 / 1,5 = 20 \text{ N/mm}^2$

$f_{yd} = 420 / 1,15 = 365,2 \text{ N/mm}^2 \text{ (Mpa)}$  ( ana donatı için )

$f_{ywd} = 420 / 1,15 = 365,2 \text{ N/mm}^2 \text{ (Mpa)}$  ( etriye için )

$f_{ctk} = 0,35 \sqrt{f_{ck}} = 0,35 \times \sqrt{30} = 1,917 \text{ N/mm}^2$

$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_{mc} = 1,917 / 1,5 = 1,28 \text{ N/mm}^2$

$\text{paspayı} = d' = 50 \text{ mm}$

Bağ Kirişi Boyutları Kontrolü:

$V_d = 600 \text{ kN}$

$L_n > 2 h_k$

(1. Denklem)

$$V_d \leq 1,5 \times b_w \times d \times f_{ctd} \quad (2. \text{Denklem})$$

Deprem yönetmeliğinde 1. ve 2. Denklemlerin her ikisinin de gerçekleşmemesi durumunda çapraz donatı kullanılır.

$$2 h_k = 2 \times 1250 = 2500 \text{ mm}$$

$$L_n = 2000 \text{ mm} > 2 h_k = 2500 \text{ mm} \quad (\text{sağlamadı.})$$

$$V_d = 1,5 \times 300 \times 1200 \times 1,28 / 1000 = 691,2 \text{ kN} \geq 600 \text{ kN} \quad (\text{sağladı.})$$

Her iki denklemde sağlamadığından çapraz donatı gerekir.

$$V_{cr} = 0,65 f_{ctd} b_w d = 0,65 \times 1,28 \times 300 \times 1200 / 1000 = 299,52 \text{ kN}$$

$$V_{r \max} = 0,22 f_{cd} b_w d = 0,22 \times 20 \times 300 \times 1200 / 1000 = 1584 \text{ kN}$$

Kesme kuvvetini donatı ile karşılama şartı:  $V_{cr} < V_d < V_{r \max}$

$$V_{cr} = 299,52 \text{ kN} < V_d = 600 \text{ kN} < V_{r \max} = 1584 \text{ kN}$$

$$\frac{(h_k - 2d')}{2} = \frac{(1250 - 2 \times 50)}{2} = 575 \rightarrow \tan \gamma = \frac{575}{1000} = 0,575 \rightarrow \gamma = 29,9^\circ$$

$$A_{sd} = \frac{V_d}{2 \times f_{yd} \times \sin \gamma} = \frac{600 \times 1000}{2 \times 365,2 \times \sin 29,9} = 1647,92 \text{ mm}^2$$

Seçilen çapraz donatı alanı 4 Ø 24 (1809,55 mm<sup>2</sup>) seçilmiştir.

Çapraz donatı etriye hesabı:  $b_w / 2 = 300 / 2 = 150 \text{ mm}$

Çapraz donatının etriye genişliği = 150 mm

Çapraz donatının etriye yüksekliği = 150 mm < 350 mm

Çapraz donatının bir köşesindeki donatı miktarı =  $\Sigma A_b = 452,39 \text{ mm}^2$

Çapraz donatıların burkulmasını önleyecek sargı donatısı;

$$\frac{A_{te}}{S} = \frac{(\Sigma A_b \times f_{yd})}{(1600 \times f_{yd})} = \frac{452,39 \times 365,2}{1600 \times 365,2} = 0,282 \frac{\text{mm}^2}{\text{mm}}$$

Seçilen etriye  $\emptyset 8 / 100 \rightarrow A_{te} / S = 50,27 / 100 = 0,503 \text{ mm}^2 / \text{mm}$

$0,503 > 0,282$  seçilen etriye uygundur.

Çapraz donatı kenetlenme boyu hesabı:

$$L_b = 1,5 \times 0,12 \times \emptyset \times f_{yd} / f_{ctd} > 1,5 \times 20 \times \emptyset$$

$$1,5 \times 0,12 \times 24 \times 365,2 / 1,28 = 1232,55 \text{ mm}$$

$$1,5 \times 20 \times \emptyset = 1,5 \times 20 \times 24 = 720 \text{ mm}$$

Seçilen  $\rightarrow L_b = 1232,55 \text{ mm}$

Bağ kirişinin donatı miktarı:

$$A_{smin} = \frac{0,8 f_{ctd}}{f_{yd}} b_w d = \frac{0,8 \times 1,28}{365,2} \times 300 \times 1200 = 1009,42 \text{ mm}^2$$

$\rightarrow$  Seçilen  $3 \emptyset 22 = 1140,42 \text{ mm}^2$

Bağ kirişinin etriye donatısı aralığı:

$$A_{sw} = n \pi \varnothing^2 / 4 = 2 \times \pi \times 8^2 / 4 = 100,5 \text{ mm}^2$$

$$S_{min} = \frac{A_{sw} f_{ywd}}{(0,3 f_{ctd} b_w)} = \frac{100,5 \times 365,2}{0,3 \times 1,28 \times 300} = 318,6 \text{ mm}$$

$$S_{min} = h / 3 = 1000 / 3 = 333,33 \text{ mm}$$

$$S_{min} = 10 \varnothing_{min} = 10 \times 22 = 220 \text{ mm}$$

$$S_{min} = 150 \text{ mm}$$

Seçilen bağ kirişi etriye aralığı  $s = 150 \text{ mm}$

Bağ kirişine yerleştirilecek gövde donatısı:

$$A_{sgövde} = 0,001 b_w d = 0,001 \times 300 \times 1200 = 360 \text{ mm}^2 \rightarrow 4\varnothing 12 (452,39 \text{ mm}^2)$$

$$h_k - 2d' = 1250 - 2 \times 50 = 1150$$

$$1150 / 350 = 3,28 \rightarrow 4 \text{ adet seçilen } 8 \varnothing 12 (904,77 \text{ mm}^2)$$

#### 4.1.2.3. 125 cm x 30 cm Boyutlarındaki 700 kN'a Göre Tasarlanan Betonarme Bağ kirişi

Kirişe ait özellikler:

Boyutları:  $b_w = 300 \text{ mm}$ ,  $h = 1250 \text{ mm}$ ,  $L_n = 2000 \text{ mm}$

$f_{ck} = C_{30} = 30 \text{ N/mm}^2 \text{ (Mpa)}$  (beton silindirik karakteristik denklemi)

$f_{yk} = S_{420} = 420 \text{ N/mm}^2 \text{ (Mpa)}$  ( ana donatı çelik akma mukavemeti )

$f_{ywk} = S_{420} = 420 \text{ N/mm}^2 \text{ (Mpa)}$  ( etriye çelik akma mukavemeti )

$\gamma_{mc} = 1,5$ ,  $\gamma_{ms} = 1,15$ ,  $f_{cd} = 30 / 1,5 = 20 \text{ N/mm}^2$

$f_{yd} = 420 / 1,15 = 365,2 \text{ N/mm}^2 \text{ (Mpa)}$  ( ana donatı için )

$f_{ywd} = 420 / 1,15 = 365,2 \text{ N/mm}^2 \text{ (Mpa)}$  ( etriye için )

$f_{ctk} = 0,35 \sqrt{f_{ck}} = 0,35 \times \sqrt{30} = 1,917 \text{ N/mm}^2$

$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_{mc} = 1,917 / 1,5 = 1,28 \text{ N/mm}^2$

$\text{paspayı} = d' = 50 \text{ mm}$

Bağ Kirişi Boyutları Kontrolü:

$V_d = 700 \text{ kN}$

$L_n > 2 h_k$

(1. Denklem)

$$V_d \leq 1,5 \times b_w \times d \times f_{ctd} \quad (2. \text{ Denklem})$$

Deprem yönetmeliğinde 1. ve 2. Denklemlerin her ikisinin de gerçekleşmemesi durumunda çapraz donatı kullanılır.

$$2 h_k = 2 \times 1250 = 2500 \text{ mm}$$

$$L_n = 2000 \text{ mm} > 2 h_k = 2500 \text{ mm} \quad (\text{sağlamadı.})$$

$$V_d = 1,5 \times 300 \times 1200 \times 1,28 / 1000 = 691,2 \text{ kN} \geq 700 \text{ kN} \quad (\text{sağlamadı.})$$

Her iki denklemde sağlamadığından çapraz donatı gerekir.

$$V_{cr} = 0,65 f_{ctd} b_w d = 0,65 \times 1,28 \times 300 \times 1200 / 1000 = 299,52 \text{ kN}$$

$$V_{r \max} = 0,22 f_{cd} b_w d = 0,22 \times 20 \times 300 \times 1200 / 1000 = 1584 \text{ kN}$$

Kesme kuvvetini donatı ile karşılama şartı:  $V_{cr} < V_d < V_{r \max}$

$$V_{cr} = 299,52 \text{ kN} < V_d = 700 \text{ kN} < V_{r \max} = 1584 \text{ kN}$$

$$\frac{(h_k - 2d')}{2} = \frac{(1250 - 2 \times 50)}{2} = 575 \rightarrow \tan \gamma = \frac{575}{1000} = 0,575 \rightarrow \gamma = 29,9^\circ$$

$$A_{sd} = \frac{V_d}{2 f_{yd} \sin \gamma} = \frac{700 \times 1000}{2 \times 365,2 \times \sin 29,9} = 1922,57 \text{ mm}^2$$

Seçilen çapraz donatı alanı 4 Ø 26 (2123,71 mm<sup>2</sup>) seçilmiştir.

Çapraz donatı etriye hesabı:  $b_w / 2 = 300 / 2 = 150 \text{ mm}$

Çapraz donatının etriye genişliği = 150 mm

Çapraz donatının etriye yüksekliği = 150 mm < 350 mm

Çapraz donatının bir köşesindeki donatı miktarı =  $\Sigma A_b = 530,93 \text{ mm}^2$

Çapraz donatıların burkulmasını önleyecek sargı donatısı;

$$\frac{A_{te}}{S} = \frac{(\Sigma A_b f_{yd})}{(1600 f_{yd})} = \frac{530,93 \times 365,2}{1600 \times 365,2} = 0,331 \frac{\text{mm}^2}{\text{mm}}$$

Seçilen etriye  $\emptyset 8 / 100 \rightarrow A_{te} / S = 50,27 / 100 = 0,503 \text{ mm}^2 / \text{mm}$

$0,503 > 0,331$  seçilen etriye uygundur.

Çapraz donatı kenetlenme boyu hesabı:

$$L_b = 1,5 \times 0,12 \times \emptyset \times f_{yd} / f_{ctd} > 1,5 \times 20 \times \emptyset$$

$$1,5 \times 0,12 \times 26 \times 365,2 / 1,28 = 1335,26 \text{ mm}$$

$$1,5 \times 20 \times \emptyset = 1,5 \times 20 \times 26 = 780 \text{ mm}$$

Seçilen  $\rightarrow L_b = 1335,26 \text{ mm}$

Bağ kirişinin donatı miktarı:

$$A_{smin} = \frac{0,8 f_{ctd}}{f_{yd}} b_w d = \frac{0,8 \times 1,28}{365,2} \times 300 \times 1200 = 1009,42 \text{ mm}^2$$

$\rightarrow$  Seçilen  $3 \emptyset 22 = 1140,42 \text{ mm}^2$

Bağ kirişinin etriye donatısı aralığı:

$$A_{sw} = n \pi \varnothing^2 / 4 = 2 \times \pi \times 8^2 / 4 = 100,5 \text{ mm}^2$$

$$S_{min} = \frac{A_{sw} f_{ywd}}{(0,3 f_{ctd} b_w)} = \frac{100,5 \times 365,2}{0,3 \times 1,28 \times 300} = 318,6 \text{ mm}$$

$$S_{min} = h / 3 = 1000 / 3 = 333,33 \text{ mm}$$

$$S_{min} = 10 \varnothing_{min} = 10 \times 22 = 220 \text{ mm}$$

$$S_{min} = 150 \text{ mm}$$

Seçilen bağ kirişi etriye aralığı  $s = 150 \text{ mm}$

Bağ kirişine yerleştirilecek gövde donatısı:

$$A_{sgövde} = 0,001 b_w d = 0,001 \times 300 \times 1200 = 360 \text{ mm}^2 \rightarrow 4\varnothing 12 (452.39 \text{ mm}^2)$$

$$h_k - 2d' = 1250 - 2 \times 50 = 1150$$

$$1150 / 350 = 3,28 \rightarrow 4 \text{ adet seçilen } 8 \varnothing 12 (904.77 \text{ mm}^2)$$

#### 4.1.3.1. 150 cm x 30 cm Boyutlarındaki 500 kN'a Göre Tasarlanan Betonarme Bağ kirişi

Kirişe ait özellikler:

Boyutları:  $b_w = 300 \text{ mm}$ ,  $h = 1500 \text{ mm}$ ,  $L_n = 2000 \text{ mm}$

$f_{ck} = C_{30} = 30 \text{ N/mm}^2 \text{ (Mpa)}$  (beton silindirik karakteristik denklemi)

$f_{yk} = S_{420} = 420 \text{ N/mm}^2 \text{ (Mpa)}$  ( ana donatı çelik akma mukavemeti )

$f_{ywk} = S_{420} = 420 \text{ N/mm}^2 \text{ (Mpa)}$  ( etriye çelik akma mukavemeti )

$\gamma_{mc} = 1,5$ ,  $\gamma_{ms} = 1,15$ ,  $f_{cd} = 30 / 1,5 = 20 \text{ N/mm}^2$

$f_{yd} = 420 / 1,15 = 365,2 \text{ N/mm}^2 \text{ (Mpa)}$  ( ana donatı için )

$f_{ywd} = 420 / 1,15 = 365,2 \text{ N/mm}^2 \text{ (Mpa)}$  ( etriye için )

$f_{ctk} = 0,35 \sqrt{f_{ck}} = 0,35 \times \sqrt{30} = 1,917 \text{ N/mm}^2$

$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_{mc} = 1,917 / 1,5 = 1,28 \text{ N/mm}^2$

$\text{paspayı} = d' = 50 \text{ mm}$

Bağ Kirişi Boyutları Kontrolü:

$V_d = 500 \text{ kN}$

$L_n > 2 h_k$

(1. Denklem)

$$V_d \leq 1,5 \times b_w \times d \times f_{ctd} \quad (2. \text{ Denklemler})$$

Deprem yönetmeliğinde 1. ve 2. Denklemlerin her ikisinin de gerçekleşmemesi durumunda çapraz donatı kullanılır.

$$2 h_k = 2 \times 1500 = 3000 \text{ mm}$$

$$L_n = 2000 \text{ mm} > 2 h_k = 3000 \text{ mm} \quad (\text{sağlamadı.})$$

$$V_d = 1,5 \times 300 \times 1450 \times 1,28 / 1000 = 835,2 \text{ kN} \geq 500 \text{ kN} \quad (\text{sağladı.})$$

Her iki denklemden sağlanmadığından çapraz donatı gerekir.

$$V_{cr} = 0,65 f_{ctd} b_w d = 0,65 \times 1,28 \times 300 \times 1450 / 1000 = 361,92 \text{ kN}$$

$$V_{r \max} = 0,22 f_{cd} b_w d = 0,22 \times 20 \times 300 \times 1200 / 1000 = 1914 \text{ kN}$$

Kesme kuvvetini donatı ile karşılama şartı:  $V_{cr} < V_d < V_{r \max}$

$$V_{cr} = 361,92 \text{ kN} < V_d = 500 \text{ kN} < V_{r \max} = 1914 \text{ kN}$$

$$\frac{(h_k - 2d')}{2} = \frac{(1500 - 2 \times 50)}{2} = 700 \rightarrow \tan \gamma = \frac{700}{1000} = 0,7 \rightarrow \gamma = 35^\circ$$

$$A_{sd} = \frac{V_d}{2 f_{yd} \sin \gamma} = \frac{800 \times 1000}{2 \times 365,2 \times \sin 35} = 1193,49 \text{ mm}^2$$

Seçilen çapraz donatı alanı 4 Ø 20 (1256,64 mm<sup>2</sup>) seçilmiştir.

Çapraz donatı etriye hesabı:  $b_w / 2 = 300/2 = 150 \text{ mm}$

Çapraz donatının etriye genişliği = 150 mm

Çapraz donatının etriye yüksekliği = 150 mm < 350 mm

Çapraz donatının bir köşesindeki donatı miktarı =  $\Sigma A_b = 314,16 \text{ mm}^2$

Çapraz donatıların burkulmasını önleyecek sargı donatısı;

$$\frac{A_{te}}{S} = \frac{(\Sigma A_b f_{yd})}{(1600 f_{yd})} = \frac{314,16 \times 365,2}{1600 \times 365,2} = 0,196 \frac{\text{mm}^2}{\text{mm}}$$

Seçilen etriye  $\emptyset 8 / 100 \rightarrow A_{te} / S = 50,27 / 100 = 0,503 \text{ mm}^2 / \text{mm}$

$0,503 > 0,331$  seçilen etriye uygundur.

Çapraz donatı kenetlenme boyu hesabı:

$$L_b = 1,5 \times 0,12 \times \emptyset \times f_{yd} / f_{ctd} > 1,5 \times 20 \times \emptyset$$

$$1,5 \times 0,12 \times 20 \times 365,2 / 1,28 = 1027,12 \text{ mm}$$

$$1,5 \times 20 \times \emptyset = 1,5 \times 20 \times 20 = 780 \text{ mm}$$

Seçilen  $\rightarrow L_b = 1027,12 \text{ mm}$

Bağ kirişinin donatı miktarı:

$$A_{smin} = \frac{0,8 f_{ctd}}{f_{yd}} b_w d = \frac{0,8 \times 1,28}{365,2} \times 300 \times 1450 = 1219,71 \text{ mm}^2$$

$\rightarrow$  Seçilen:  $3 \emptyset 24 = 1357,17 \text{ mm}^2$

Bağ kirişinin etriye donatısı aralığı:

$$A_{sw} = n \pi \varnothing^2 / 4 = 2 \times \pi \times 8^2 / 4 = 100,5 \text{ mm}^2$$

$$S_{min} = \frac{A_{sw} f_{ywd}}{(0,3 f_{ctd} b_w)} = \frac{100,5 \times 365,2}{0,3 \times 1,28 \times 300} = 318,6 \text{ mm}$$

$$S_{min} = h / 3 = 1000 / 3 = 333,33 \text{ mm}$$

$$S_{min} = 10 \varnothing_{min} = 10 \times 24 = 240 \text{ mm}$$

$$S_{min} = 150 \text{ mm}$$

Seçilen bağ kirişı etriye aralığı  $s = 150 \text{ mm}$

Bağ kirişine yerleştirilecek gövde donatısı:

$$A_{sgövde} = 0,001 b_w d = 0,001 \times 300 \times 1450 = 435 \text{ mm}^2 \rightarrow 4\varnothing 12 (452,39 \text{ mm}^2)$$

$$h_k - 2d' = 1500 - 2 \times 50 = 1400$$

$$1400 / 350 = 4 \rightarrow 4 \text{ adet seçilen } 8 \varnothing 12 (904,77 \text{ mm}^2)$$

#### 4.1.3.2. 150 cm x 30 cm Boyutlarındaki 600 kN'a Göre Tasarlanan Betonarme Bağ kirişi

Kirişe ait özellikler:

Boyutları:  $b_w = 300 \text{ mm}$ ,  $h = 1500 \text{ mm}$ ,  $L_n = 2000 \text{ mm}$

$f_{ck} = C_{30} = 30 \text{ N/mm}^2 \text{ (Mpa)}$  (beton silindirik karakteristik denklemi)

$f_{yk} = S_{420} = 420 \text{ N/mm}^2 \text{ (Mpa)}$  ( ana donatı çelik akma mukavemeti )

$f_{ywk} = S_{420} = 420 \text{ N/mm}^2 \text{ (Mpa)}$  ( etriye çelik akma mukavemeti )

$\gamma_{mc} = 1,5$ ,  $\gamma_{ms} = 1,15$ ,  $f_{cd} = 30 / 1,5 = 20 \text{ N/mm}^2$

$f_{yd} = 420 / 1,15 = 365,2 \text{ N/mm}^2 \text{ (Mpa)}$  ( ana donatı için )

$f_{ywd} = 420 / 1,15 = 365,2 \text{ N/mm}^2 \text{ (Mpa)}$  ( etriye için )

$f_{ctk} = 0,35 \sqrt{f_{ck}} = 0,35 \times \sqrt{30} = 1,917 \text{ N/mm}^2$

$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_{mc} = 1,917 / 1,5 = 1,28 \text{ N/mm}^2$

$\text{paspayı} = d' = 50 \text{ mm}$

Bağ Kirişi Boyutları Kontrolü:

$V_d = 600 \text{ kN}$

$L_n > 2 h_k$

(1. Denklem)

$$V_d \leq 1,5 \times b_w \times d \times f_{ctd} \quad (2. \text{ Denklem})$$

Deprem yönetmeliğinde 1. ve 2. Denklemlerin her ikisinin de gerçekleşmemesi durumunda çapraz donatı kullanılır.

$$2 h_k = 2 \times 1500 = 3000 \text{ mm}$$

$$L_n = 2000 \text{ mm} > 2 h_k = 3000 \text{ mm} \quad (\text{sağlamadı.})$$

$$V_d = 1,5 \times 300 \times 1450 \times 1,28 / 1000 = 835,2 \text{ kN} \geq 600 \text{ kN} \quad (\text{sağladı.})$$

Her iki denklemde sağlamadığından çapraz donatı gerekir.

$$V_{cr} = 0,65 f_{ctd} b_w d = 0,65 \times 1,28 \times 300 \times 1450 / 1000 = 361,92 \text{ kN}$$

$$V_{r \max} = 0,22 f_{cd} b_w d = 0,22 \times 20 \times 300 \times 1200 / 1000 = 1914 \text{ kN}$$

Kesme kuvvetini donatı ile karşılama şartı:  $V_{cr} < V_d < V_{r \max}$

$$V_{cr} = 361,92 \text{ kN} < V_d = 600 \text{ kN} < V_{r \max} = 1914 \text{ kN}$$

$$\frac{(h_k - 2d')}{2} = \frac{(1500 - 2 \times 50)}{2} = 700 \rightarrow \tan \gamma = \frac{700}{1000} = 0,7 \rightarrow \gamma = 35^\circ$$

$$A_{sd} = \frac{V_d}{2 f_{yd} \sin \gamma} = \frac{600 \times 1000}{2 \times 365,2 \times \sin 35} = 1432,19 \text{ mm}^2$$

Seçilen çapraz donatı alanı 4 Ø 22 (1520,53 mm<sup>2</sup>) seçilmiştir.

$$\text{Çapraz donatı etriye hesabı: } b_w / 2 = 300 / 2 = 150 \text{ mm}$$

Çapraz donatının etriye genişliği = 150 mm

Çapraz donatının etriye yüksekliği = 150 mm < 350 mm

Çapraz donatının bir köşesindeki donatı miktarı =  $\Sigma A_b = 380,13 \text{ mm}^2$

Çapraz donatıların burkulmasını önleyecek sargı donatısı;

$$\frac{A_{te}}{S} = \frac{(\Sigma A_b f_{yd})}{(1600 f_{yd})} = \frac{380,13 \times 365,2}{1600 \times 365,2} = 0,237 \frac{\text{mm}^2}{\text{mm}}$$

Seçilen etriye  $\emptyset 8 / 100 \rightarrow A_{te} / S = 50,27 / 100 = 0,503 \text{ mm}^2 / \text{mm}$

$0,503 > 0,237$  seçilen etriye uygundur.

Çapraz donatı kenetlenme boyu hesabı:

$$L_b = 1,5 \times 0,12 \times \emptyset \times f_{yd} / f_{ctd} > 1,5 \times 20 \times \emptyset$$

$$1,5 \times 0,12 \times 22 \times 365,2 / 1,28 = 1129,84 \text{ mm}$$

$$1,5 \times 20 \times \emptyset = 1,5 \times 20 \times 26 = 660 \text{ mm}$$

Seçilen  $\rightarrow L_b = 1129,84 \text{ mm}$

Bağ kirişinin donatı miktarı:

$$A_{smin} = \frac{0,8 f_{ctd}}{f_{yd}} b_w d = \frac{0,8 \times 1,28}{365,2} \times 300 \times 1450 = 1219,71 \text{ mm}^2$$

$\rightarrow$  Seçilen  $3 \emptyset 24 = 1357,17 \text{ mm}^2$

Bağ kirişinin etriye donatısı aralığı:

$$A_{sw} = n \pi \varnothing^2 / 4 = 2 \times \pi \times 8^2 / 4 = 100,5 \text{ mm}^2$$

$$S_{min} = \frac{A_{sw} f_{ywd}}{(0,3 f_{ctd} b_w)} = \frac{100,5 \times 365,2}{0,3 \times 1,28 \times 300} = 318,6 \text{ mm}$$

$$S_{min} = h / 3 = 1000 / 3 = 333,33 \text{ mm}$$

$$S_{min} = 10 \varnothing_{min} = 10 \times 20 = 200 \text{ mm}$$

$$S_{min} = 150 \text{ mm}$$

Seçilen bağ kirişi etriye aralığı  $s = 150 \text{ mm}$

Bağ kirişine yerleştirilecek gövde donatısı:

$$A_{sgövde} = 0,001 b_w d = 0,001 \times 300 \times 1450 = 435 \text{ mm}^2 \rightarrow 4\varnothing 12 (452.39 \text{ mm}^2)$$

$$h_k - 2d' = 1500 - 2 \times 50 = 1400$$

$$1400 / 350 = 4 \rightarrow 4 \text{ adet seçilen } 8 \varnothing 12 (904.77 \text{ mm}^2)$$

#### 4.1.3.3. 150 cm x 30 cm Boyutlarındaki 700 kN'a Göre Tasarlanan Betonarme Bağ kirişi

Kirişe ait özellikler:

Boyutları:  $b_w = 300 \text{ mm}$ ,  $h = 1500 \text{ mm}$ ,  $L_n = 2000 \text{ mm}$

$f_{ck} = C_{30} = 30 \text{ N/mm}^2 \text{ (Mpa)}$  (beton silindirik karakteristik denklemi)

$f_{yk} = S_{420} = 420 \text{ N/mm}^2 \text{ (Mpa)}$  ( ana donatı çelik akma mukavemeti )

$f_{ywk} = S_{420} = 420 \text{ N/mm}^2 \text{ (Mpa)}$  ( etriye çelik akma mukavemeti )

$\gamma_{mc} = 1,5$ ,  $\gamma_{ms} = 1,15$ ,  $f_{cd} = 30 / 1,5 = 20 \text{ N/mm}^2$

$f_{yd} = 420 / 1,15 = 365,2 \text{ N/mm}^2 \text{ (Mpa)}$  ( ana donatı için )

$f_{ywd} = 420 / 1,15 = 365,2 \text{ N/mm}^2 \text{ (Mpa)}$  ( etriye için )

$f_{ctk} = 0,35 \sqrt{f_{ck}} = 0,35 \times \sqrt{30} = 1,917 \text{ N/mm}^2$

$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_{mc} = 1,917 / 1,5 = 1,28 \text{ N/mm}^2$

$\text{paspayı} = d' = 50 \text{ mm}$

Bağ Kirişi Boyutları Kontrolü:

$V_d = 700 \text{ kN}$

$L_n > 2 h_k$

(1. Denklem)

$$V_d \leq 1,5 \times b_w \times d \times f_{ctd} \quad (2. \text{ Denklemler})$$

Deprem yönetmeliğinde 1. ve 2. Denklemlerin her ikisinin de gerçekleşmemesi durumunda çapraz donatı kullanılır.

$$2 h_k = 2 \times 1500 = 3000 \text{ mm}$$

$$L_n = 2000 \text{ mm} > 2 h_k = 3000 \text{ mm} \quad (\text{sağlamadı.})$$

$$V_d = 1,5 \times 300 \times 1450 \times 1,28 / 1000 = 835,2 \text{ kN} \geq 700 \text{ kN} \quad (\text{sağladı.})$$

Her iki denklemden sağlanmadığından çapraz donatı gerekir.

$$V_{cr} = 0,65 f_{ctd} b_w d = 0,65 \times 1,28 \times 300 \times 1450 / 1000 = 361,92 \text{ kN}$$

$$V_{r \max} = 0,22 f_{cd} b_w d = 0,22 \times 20 \times 300 \times 1200 / 1000 = 1914 \text{ kN}$$

Kesme kuvvetini donatı ile karşılama şartı:  $V_{cr} < V_d < V_{r \max}$

$$V_{cr} = 361,92 \text{ kN} < V_d = 700 \text{ kN} < V_{r \max} = 1914 \text{ kN}$$

$$\frac{(h_k - 2d')}{2} = \frac{(1500 - 2 \times 50)}{2} = 700 \rightarrow \tan \gamma = \frac{700}{1000} = 0,7 \rightarrow \gamma = 35^\circ$$

$$A_{sd} = \frac{V_d}{2 f_{yd} \sin \gamma} = \frac{700 \times 1000}{2 \times 365,2 \times \sin 35} = 1670 \text{ mm}^2$$

Seçilen çapraz donatı alanı 4 Ø 24 (1809,55 mm<sup>2</sup>) seçilmiştir.

$$\text{Çapraz donatı etriye hesabı: } b_w / 2 = 300 / 2 = 150 \text{ mm}$$

Çapraz donatının etriye genişliği = 150 mm

Çapraz donatının etriye yüksekliği = 150 mm < 350 mm

Çapraz donatının bir köşesindeki donatı miktarı =  $\Sigma A_b = 452,39 \text{ mm}^2$

Çapraz donatıların burkulmasını önleyecek sargı donatısı;

$$\frac{A_{te}}{S} = \frac{(\Sigma A_b f_{yd})}{(1600 f_{yd})} = \frac{452,39 \times 365,2}{1600 \times 365,2} = 0,282 \frac{\text{mm}^2}{\text{mm}}$$

Seçilen etriye  $\emptyset 8 / 100 \rightarrow A_{te} / S = 50,27 / 100 = 0,503 \text{ mm}^2 / \text{mm}$

$0,503 > 0,282$  seçilen etriye uygundur.

Çapraz donatı kenetlenme boyu hesabı:

$$L_b = 1,5 \times 0,12 \times \emptyset \times f_{yd} / f_{ctd} > 1,5 \times 20 \times \emptyset$$

$$1,5 \times 0,12 \times 24 \times 365,2 / 1,28 = 1232,55 \text{ mm}$$

$$1,5 \times 20 \times \emptyset = 1,5 \times 20 \times 24 = 720 \text{ mm}$$

Seçilen  $\rightarrow L_b = 1232,55 \text{ mm}$

Bağ kirişinin donatı miktarı:

$$A_{smin} = \frac{0,8 \times f_{ctd}}{f_{yd}} b_w d = \frac{0,8 \times 1,28}{365,2} \times 300 \times 1450 = 1219,71 \text{ mm}^2$$

$\rightarrow$  Seçilen:  $3 \emptyset 24 = 1357,17 \text{ mm}^2$

Bağ kirişinin etriye donatısı aralığı:

$$A_{sw} = n \pi \varnothing^2 / 4 = 2 \times \pi \times 8^2 / 4 = 100,5 \text{ mm}^2$$

$$S_{min} = \frac{A_{sw} f_{ywd}}{(0,3 f_{ctd} b_w)} = \frac{100,5 \times 365,2}{0,3 \times 1,28 \times 300} = 318,6 \text{ mm}$$

$$S_{min} = h / 3 = 1000 / 3 = 333,33 \text{ mm}$$

$$S_{min} = 10 \varnothing_{min} = 10 \times 20 = 200 \text{ mm}$$

$$S_{min} = 150 \text{ mm}$$

Seçilen bağ kirişi etriye aralığı  $s = 150 \text{ mm}$

Bağ kirişine yerleştirilecek gövde donatısı:

$$A_{sgövde} = 0,001 b_w d = 0,001 \times 300 \times 1450 = 435 \text{ mm}^2 \rightarrow 4 \varnothing 12 (452.39 \text{ mm}^2)$$

$$h_k - 2d' = 1500 - 2 \times 50 = 1400$$

$$1400 / 350 = 4 \rightarrow 4 \text{ adet seçilen } 8 \varnothing 12 (904.77 \text{ mm}^2)$$

## 4.2. Çelik Bağ Kirişli Boşluklu Perdelerin Boşluk Oranlarına Göre Sayısal uygulamalar

### 4.2.1. 500 kN'a Göre Tasarlanan Çelik Bağ kirişi

Çelik sınıfı S335JR =  $F_y = 355$  MPa

$$\frac{2 M_p}{L} = \frac{2 F_y Z_x}{L} \leq V_p = 0,6 F_y A_{tw}$$

$$500 \text{ kN} = \frac{2 M_p}{2000 \text{ mm}} \leq V_p = 0,6 \times 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * A_{tw}$$

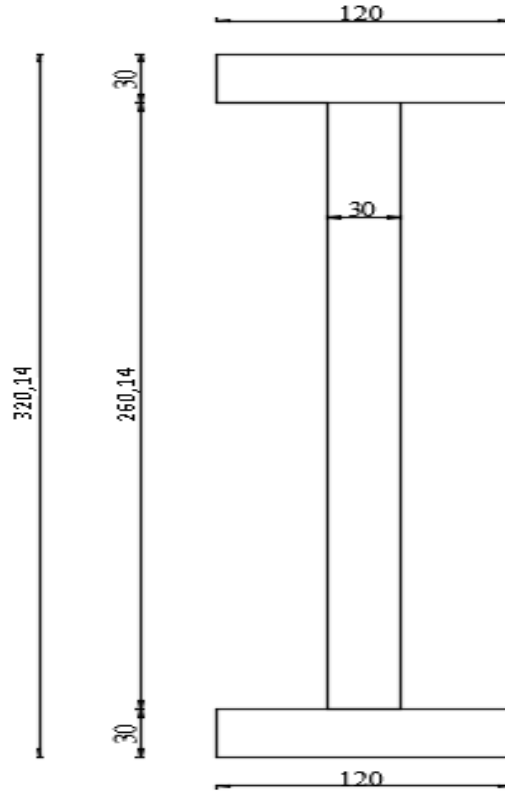
$$500 \times 10^6 \text{ Nmm} = 355 \times Z = M_p$$

$$Z_x = 1408,45 \text{ cm}^3$$

$$Z_x \cong 1,15 W_x = 1224,9 \text{ cm}^3$$

$$W_x = 1224,9 \text{ cm}^3$$

→  $W_x = 1224,9 \text{ cm}^3$ 'e uygun profil aşağıdaki şekildeki gibi oluşturulmuştur.



Şekil 4.1: 500 kN'a Göre Tasarlanan Çelik Bağ Kirişi Ebatları

$$A_{tw} = 37,41 \times 3 = 78,042 \text{ cm}^2 = 78,042 \times 10^2 \text{ mm}^2$$

$$V_p = 0,6 \times 355 \frac{N}{\text{mm}^2} \times 7804,2 \text{ mm}^2$$

$$V_p = 1662294,6 \text{ N} = 1662,29 \text{ kN}$$

$$V_n = 500 \text{ kN} = \frac{2 M_p}{L} \leq V_p = 1662,29 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$$V_n = 1,54 \sqrt{f'_c} \left( \frac{t_{duvar}}{b_f} \right)^{0.66} \beta_1 b_f L_e \left[ \frac{0.58 - 0.22 \beta_1}{0.88 + \frac{L}{2 L_e}} \right]$$

$$500000 = 1,54 \times \sqrt{30} \times \left( \frac{300}{120} \right)^{0.66} \times 0,83 \times 120 \times L_e \times \left[ \frac{0.58 - 0.22 \times 0,83}{0.88 + \frac{2000}{2 \times L_e}} \right]$$

$$L_e = 1333,36 \text{ mm}$$

#### 4.2.2. 600 kN'a Göre Tasarlanan Çelik Bağ kirişi

Çelik sınıfı S335JR =  $F_y = 355$  MPa

$$\frac{2 M_p}{L} = \frac{2 F_y Z_x}{L} \leq V_p = 0,6 F_y A_{tw}$$

$$600 \text{ kN} = \frac{2 M_p}{2000 \text{ mm}} \leq V_p = 0,6 \times 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times A_{tw}$$

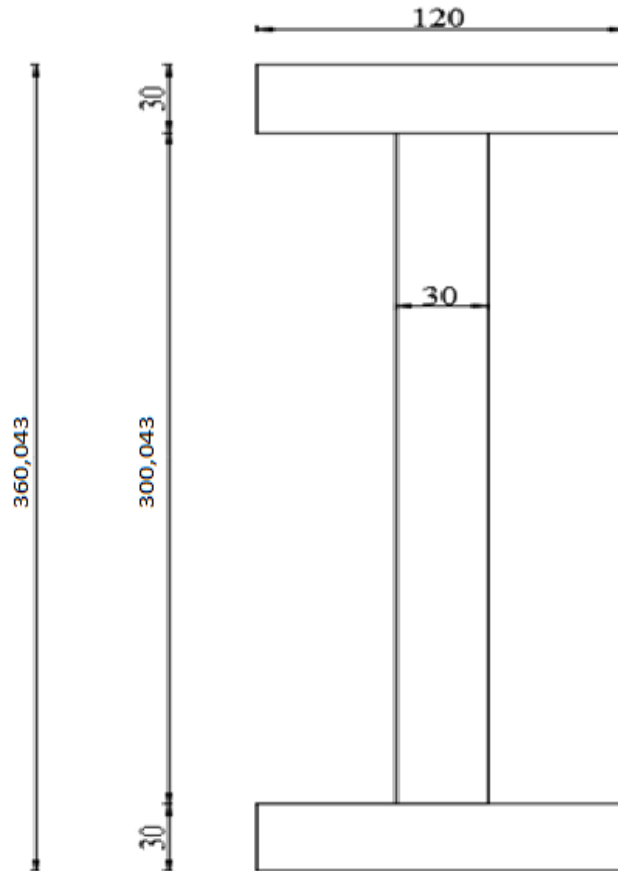
$$600 \times 10^6 \text{ Nmm} = 355 \times Z = M_p$$

$$Z_x = 1690,14 \text{ cm}^3$$

$$Z_x \cong 1,15 \times W_x = 1690,14 \text{ cm}^3$$

$$W_x = 1469,69 \text{ cm}^3$$

→  $W_x = 1469,69 \text{ cm}^3$ 'e uygun profil aşağıdaki şekildeki gibi oluşturulmuştur.



Şekil 4.2: 600 kN'a Göre Tasarlanan Çelik Bağ Kirişi Ebatları

$$A_{tw} = 30,04 \times 3 = 90,12 \text{ cm}^2 = 90,12 \times 10^2 \text{ mm}^2$$

$$V_p = 0,6 \times 355 \frac{N}{\text{mm}^2} \times 9012 \text{ mm}^2$$

$$V_p = 1919556 \text{ N} = 1919,556 \text{ kN}$$

$$V_n = 600 \text{ kN} = \frac{2 M_p}{L} \leq V_p = 1919,556 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$$V_n = 1,54 \sqrt{f'_c} \left( \frac{t_{duvar}}{b_f} \right)^{0.66} \beta_1 b_f L_e \left[ \frac{0.58 - 0.22 \beta_1}{0.88 + \frac{L}{2 L_e}} \right]$$

$$600000 = 1,54 \times \sqrt{30} \times \left( \frac{300}{120} \right)^{0.66} \times 0,83 \times 120 \times L_e \times \left[ \frac{0.58 - 0.22 \times 0,83}{0.88 + \frac{2000}{2 \times L_e}} \right]$$

$$L_e = 1512,73 \text{ mm}$$

#### 4.2.3. 700 kN'a Göre Tasarlanan Çelik Bağ kirişi

Çelik sınıfı S335JR =  $F_y = 355$  MPa

$$\frac{2 M_p}{L} = \frac{2 F_y Z_x}{L} \leq V_p = 0,6 \times F_y \times A_{tw}$$

$$700 \text{ kN} = \frac{2 M_p}{2000 \text{ mm}} \leq V_p = 0,6 \times 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times A_{tw}$$

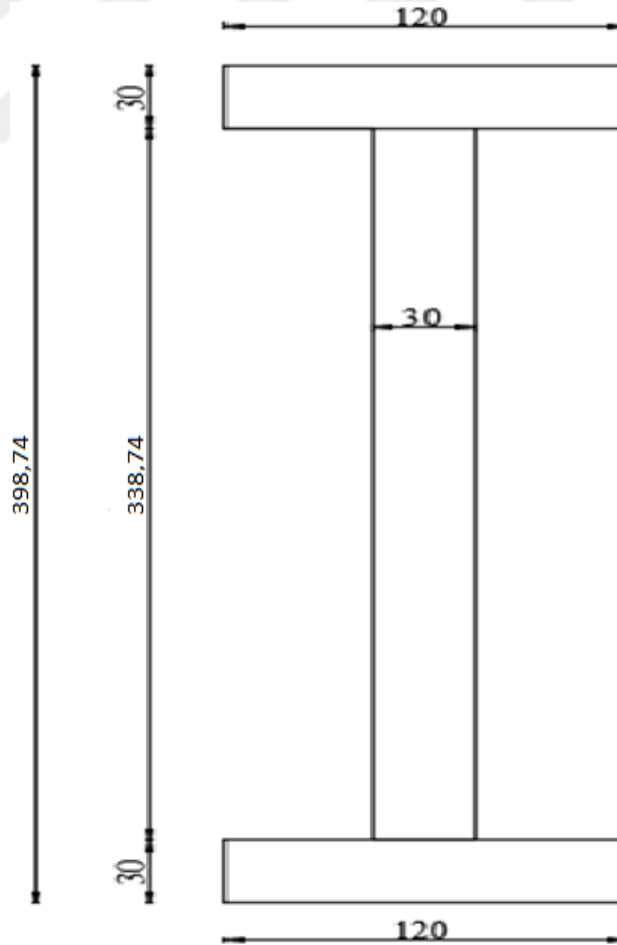
$$700 \times 10^6 \text{ Nmm} = 355 \times Z = M_p$$

$$Z_x = 1971,831 \text{ cm}^3$$

$$Z_x \cong 1,15 \times W_x = 1971,831 \text{ cm}^3$$

$$W_x = 1717,64 \text{ cm}^3$$

→  $W_x = 1714,64 \text{ cm}^3$ 'e uygun profil aşağıdaki şekildeki gibi oluşturulmuştur.



Şekil 4.3: 700 kN'a Göre Tasarlanan Çelik Bağ Kirişi Ebatları

$$A_{tw} = 33,83 \times 3 = 101,49 \text{ cm}^2 = 101,49 \times 10^2 \text{ mm}^2$$

$$V_p = 0,6 \times 355 \frac{N}{\text{mm}^2} \times 10149 \text{ mm}^2$$

$$V_p = 2161737 \text{ N} = 2161,737 \text{ kN}$$

$$V_n = 700 \text{ kN} = \frac{2 M_p}{L} \leq V_p = 2161,737 \text{ kN} \quad \checkmark$$

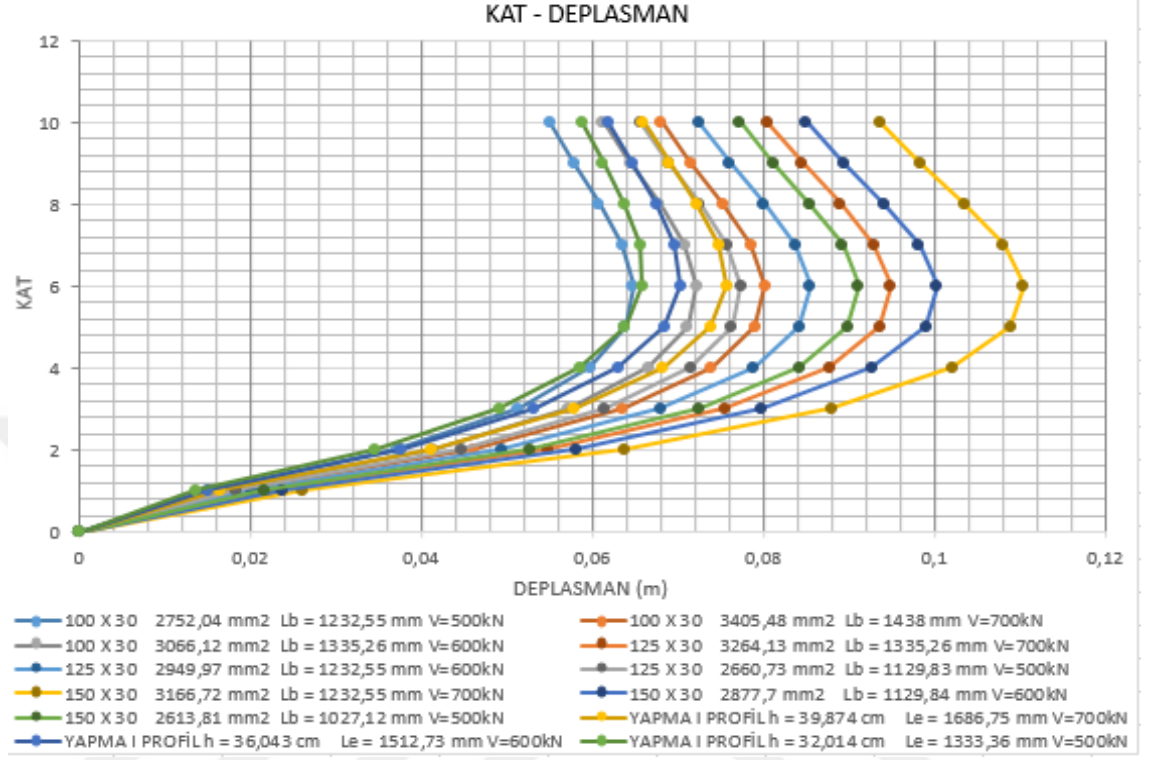
$$V_n = 1,54 \sqrt{f'_c} \left( \frac{t_{\text{duvar}}}{b_f} \right)^{0.66} \beta_1 b_f L_e \left[ \frac{0.58 - 0.22 \beta_1}{0.88 + \frac{L}{2 L_e}} \right]$$

$$700000 = 1,54 \times \sqrt{30} \times \left( \frac{300}{120} \right)^{0.66} \times 0,83 \times 120 \times L_e \times \left[ \frac{0.58 - 0.22 \times 0,83}{0.88 + \frac{2000}{2 \times L_e}} \right]$$

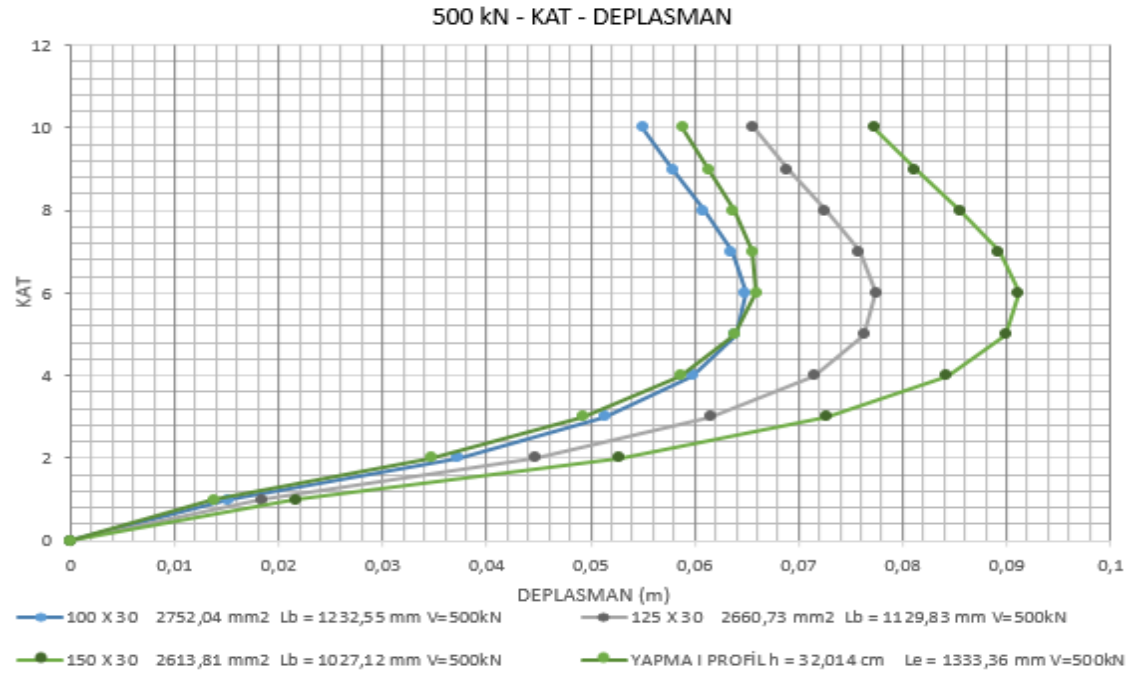
$$L_e = 1686,75 \text{ mm}$$

### 4.3. Çelik ve Betonarme Boşluklu Perdelerin Yer değiştirme Grafikleri

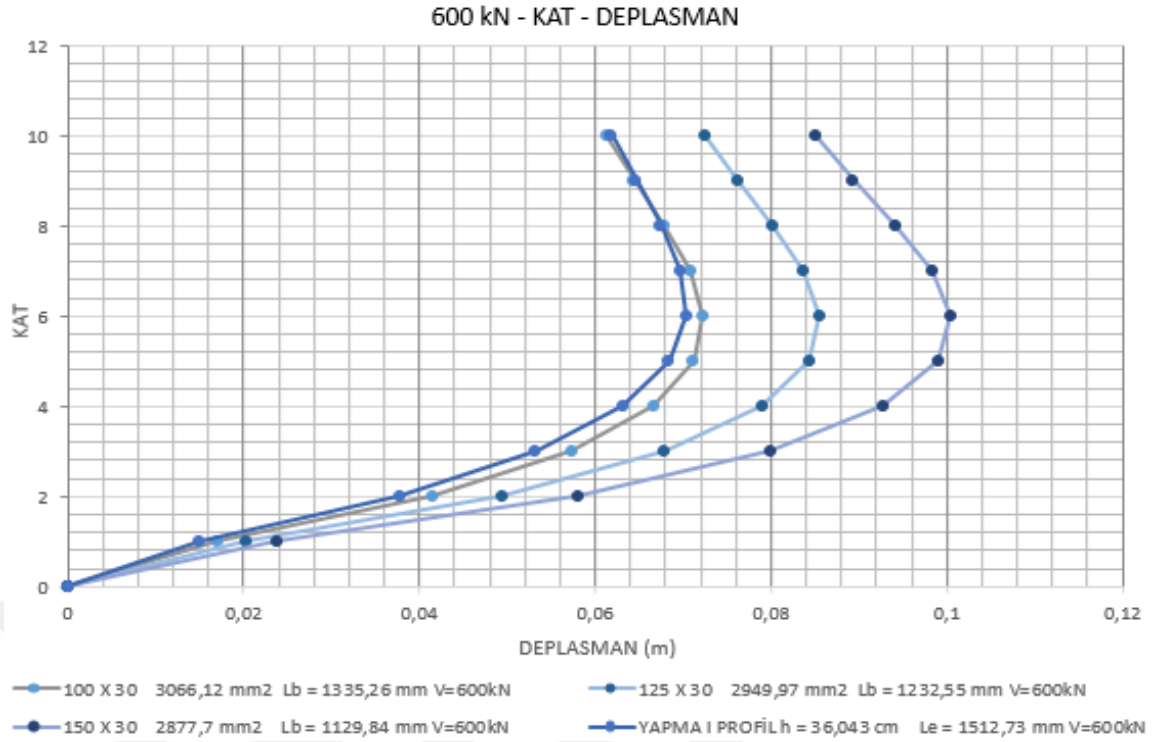
#### 4.3.1. 10 Katlı Binanın Yer değiştirme Grafikleri



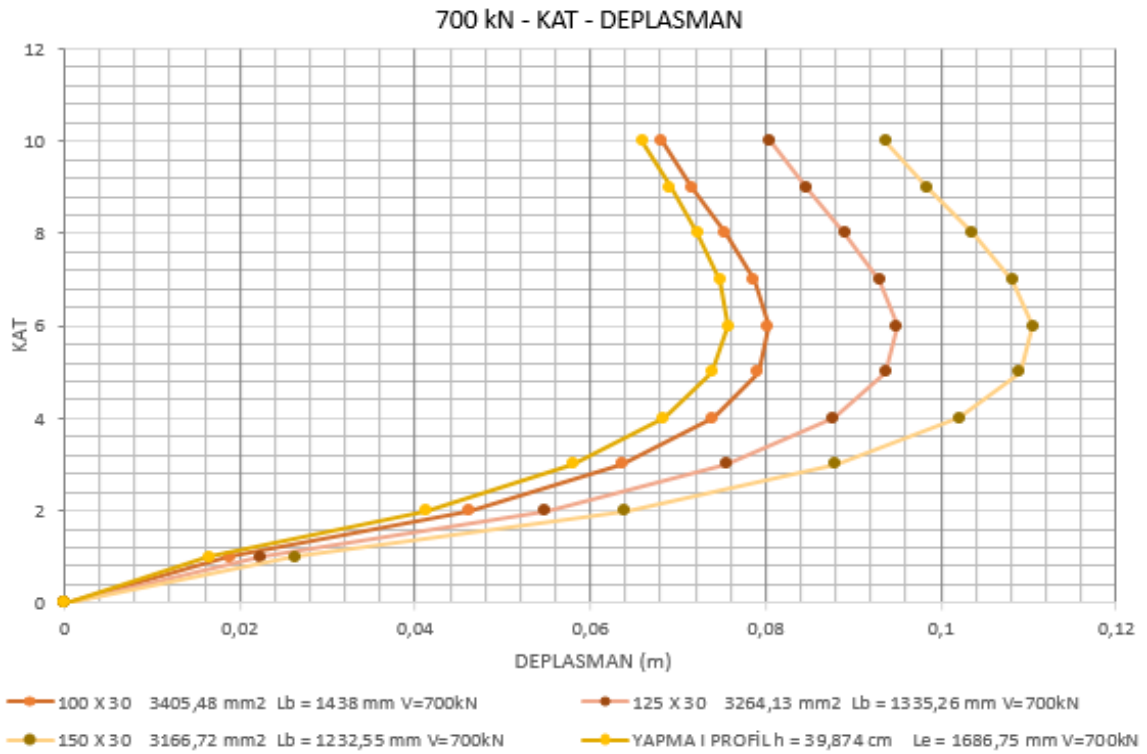
**Grafik 4.1:** 10 katlı binanın katlara göre deplasmanları



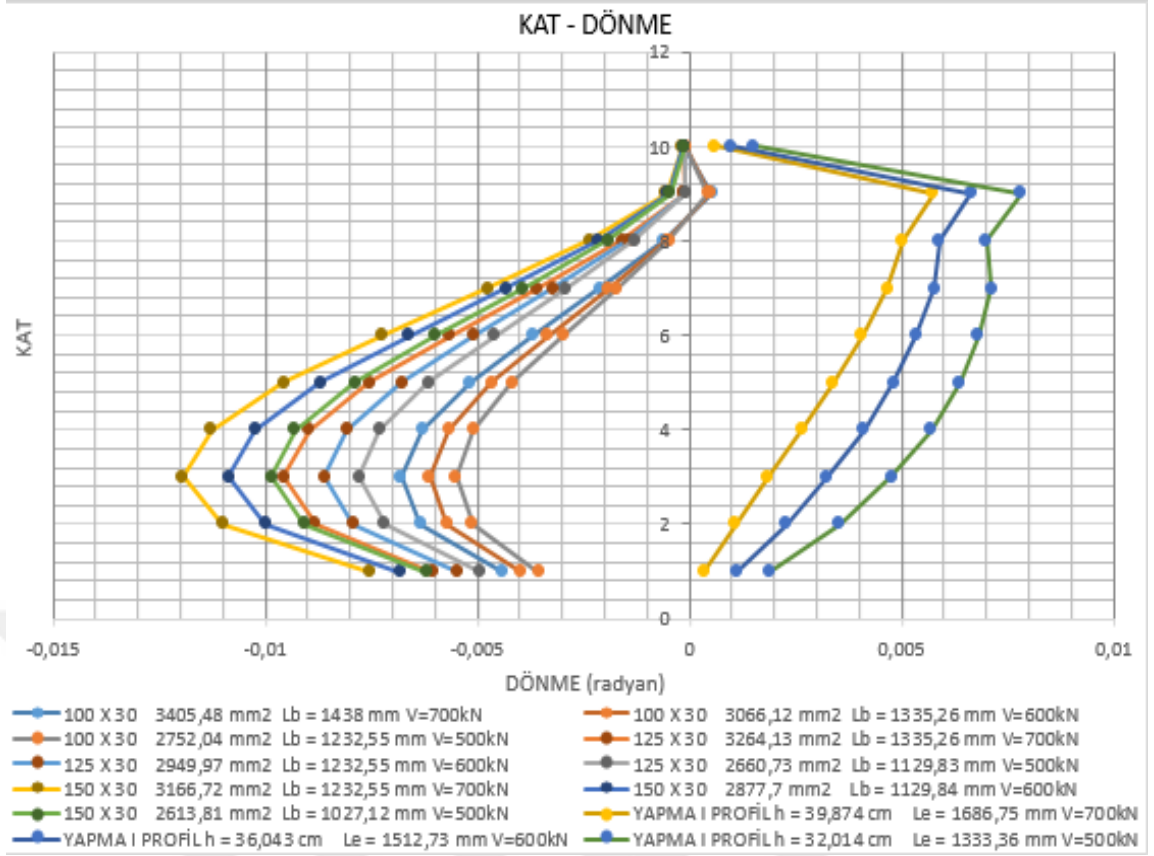
**Grafik 4.2:** 10 katlı binanın 500 kN'a göre tasarlanan kirişlerin katlara göre deplasmanları



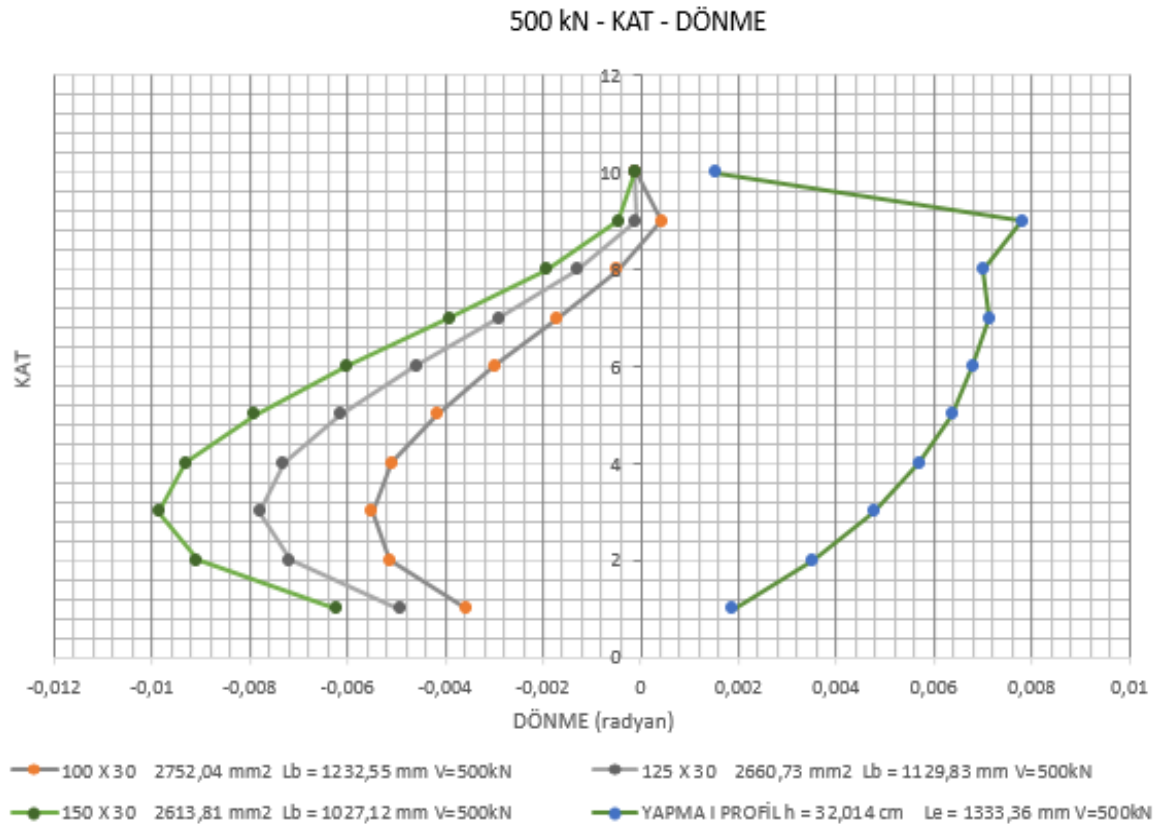
**Grafik 4.3:** 10 katlı binanın 600 kN'a göre tasarlanan kirişlerin katlara göre deplasmanları



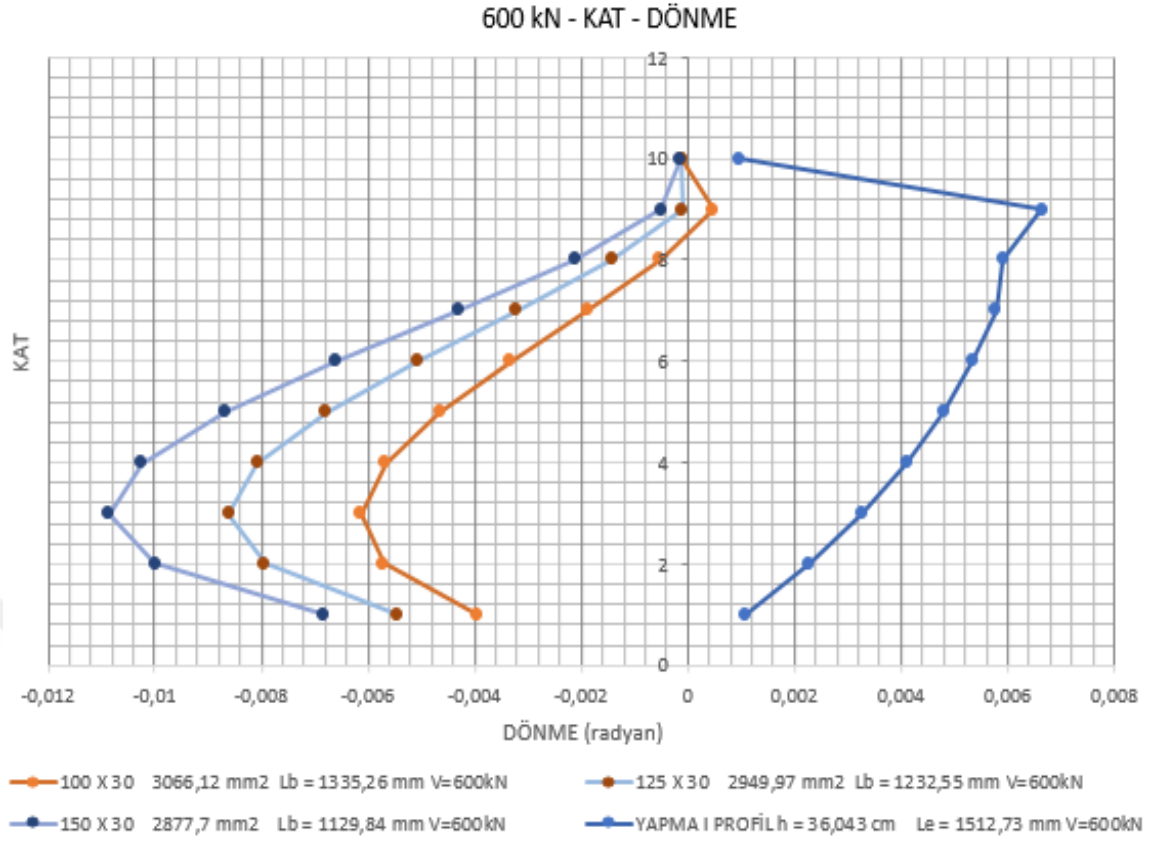
**Grafik 4.4:** 10 katlı binanın 700 kN'a göre tasarlanan kirişlerin katlara göre deplasmanları



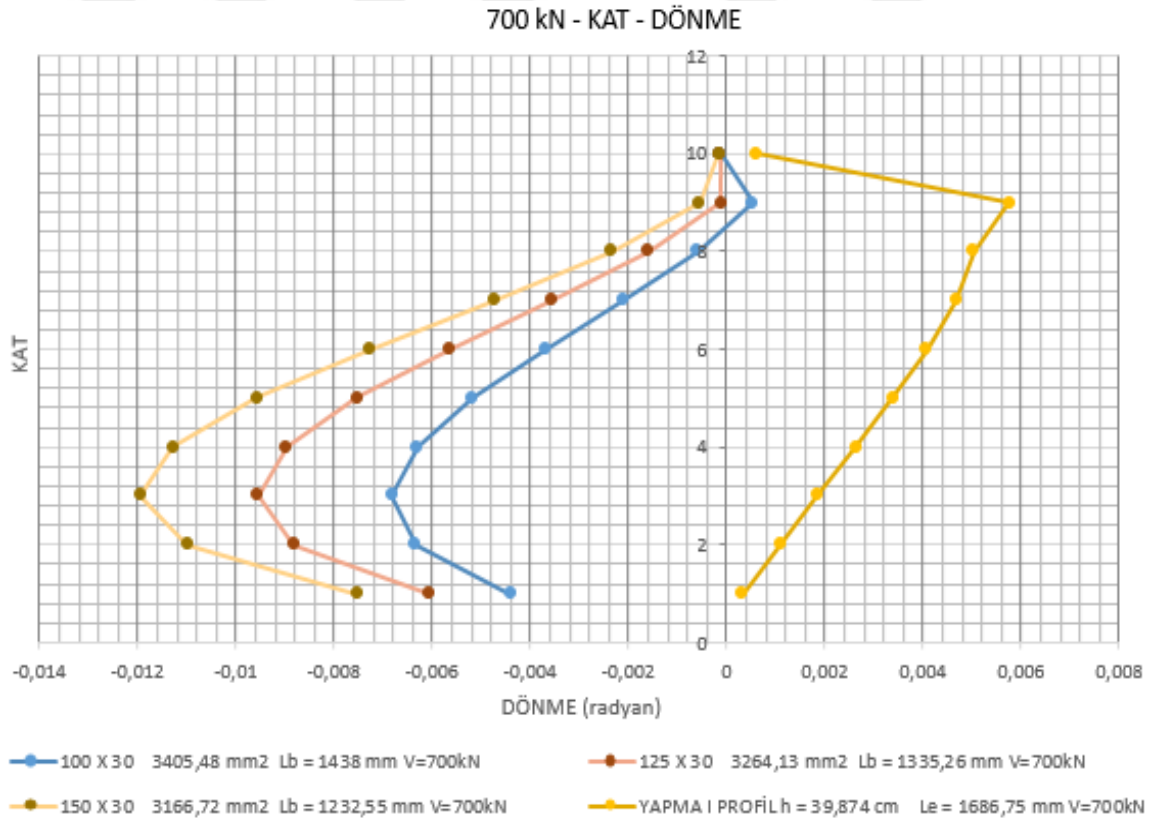
**Grafik 4.5:** 10 katlı binanın katlara göre dönmeleri



**Grafik 4.6:** 10 katlı binanın 500 kN'a göre tasarlanan kirişlerin katlara göre dönmeleri

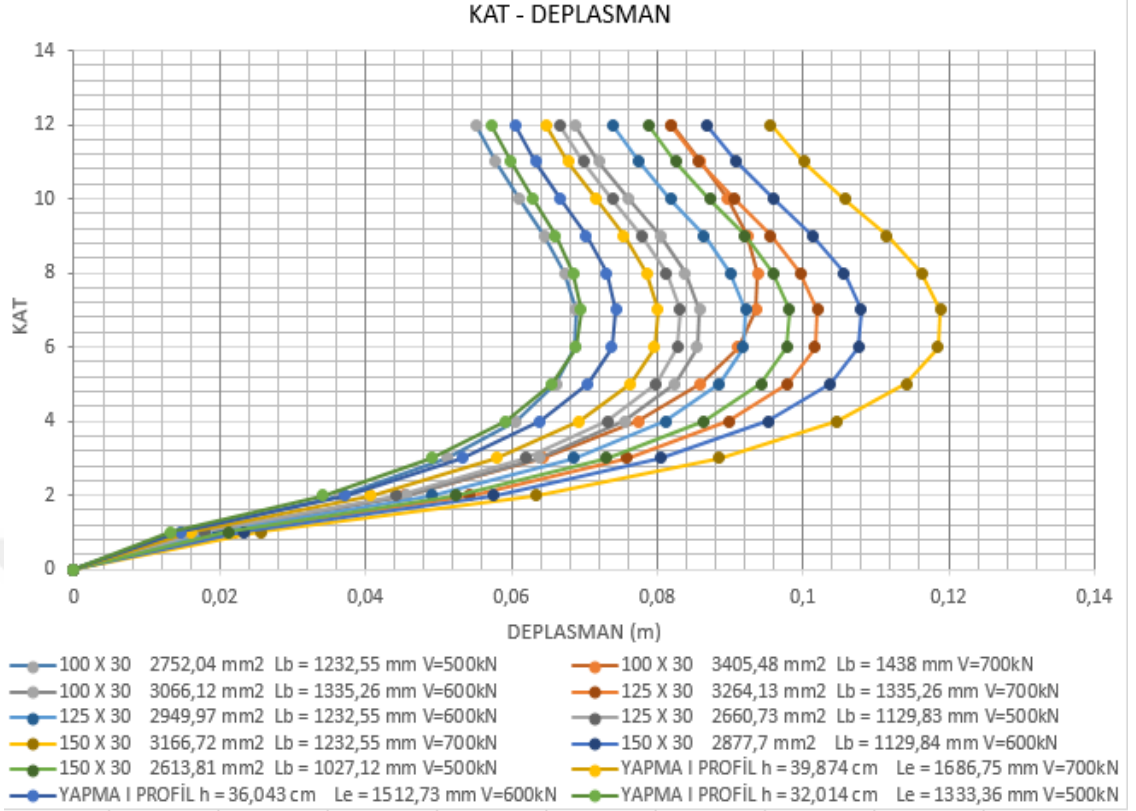


**Grafik 4.7:** 10 katlı binanın 600 kN'a göre tasarlanan kirişlerin katlara göre dönmeleri

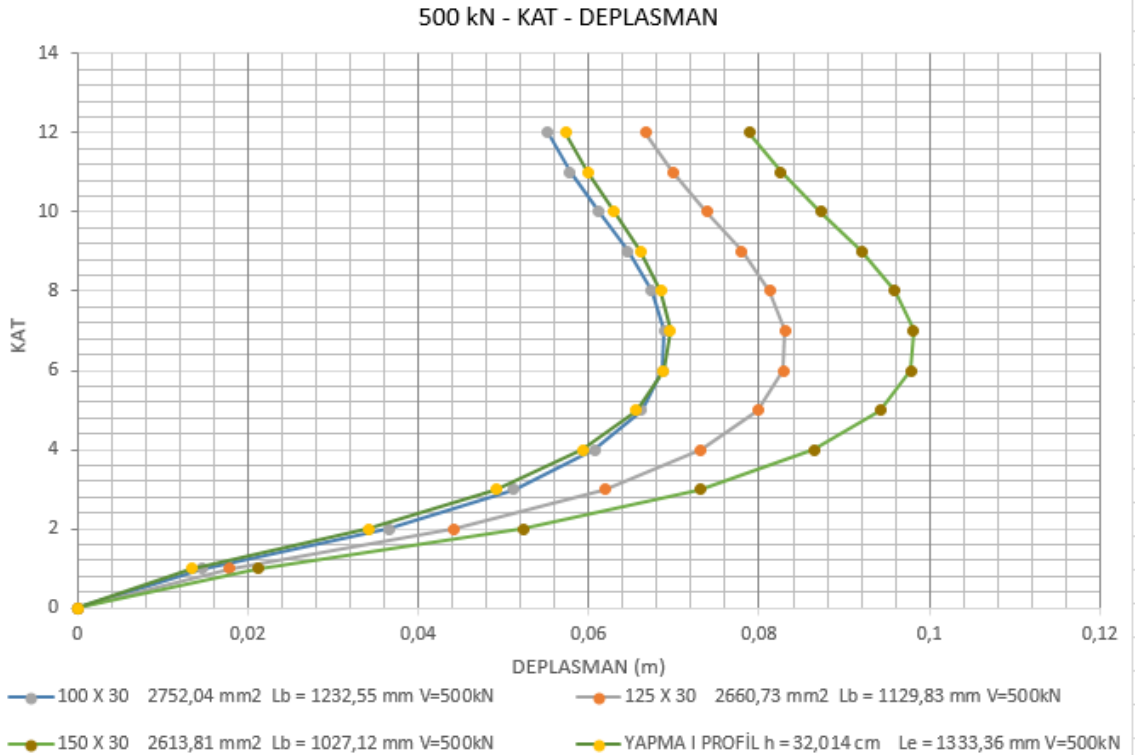


**Grafik 4.8:** 10 katlı binanın 700 kN'a göre tasarlanan kirişlerin katlara göre dönmeleri

#### 4.3.2. 12 Katlı Binanın Yer değiştirme Grafikleri

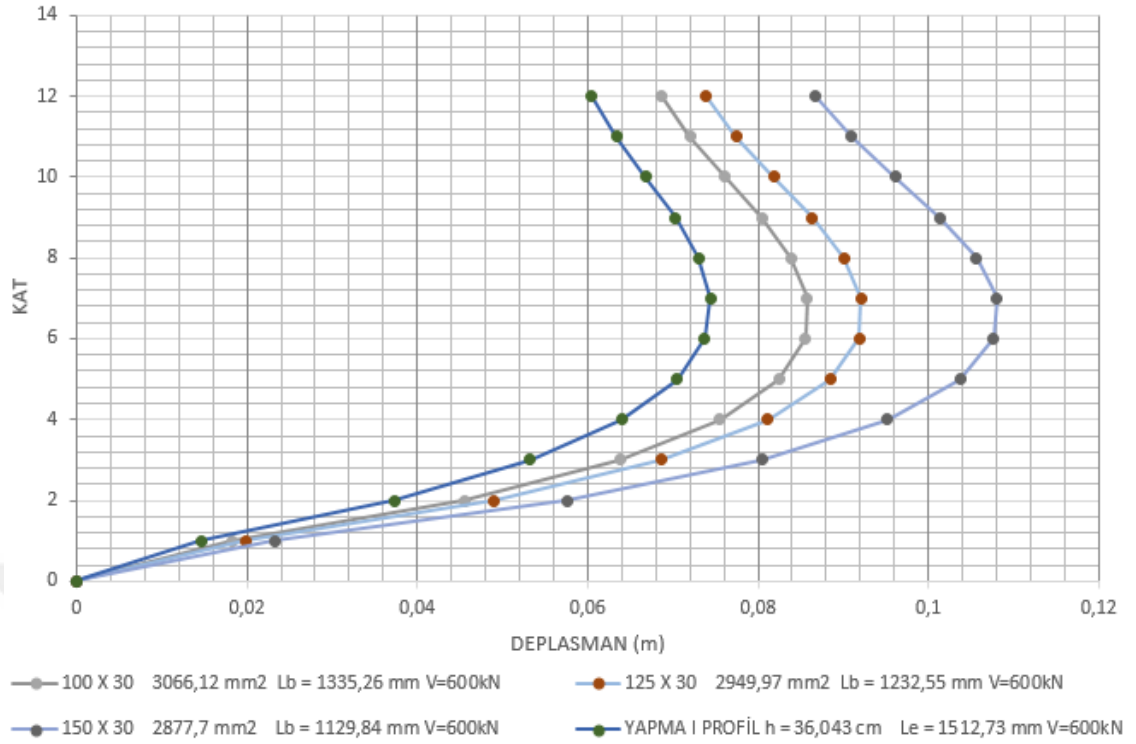


**Grafik 4.9:** 12 katlı binanın katlara göre deplasmanları



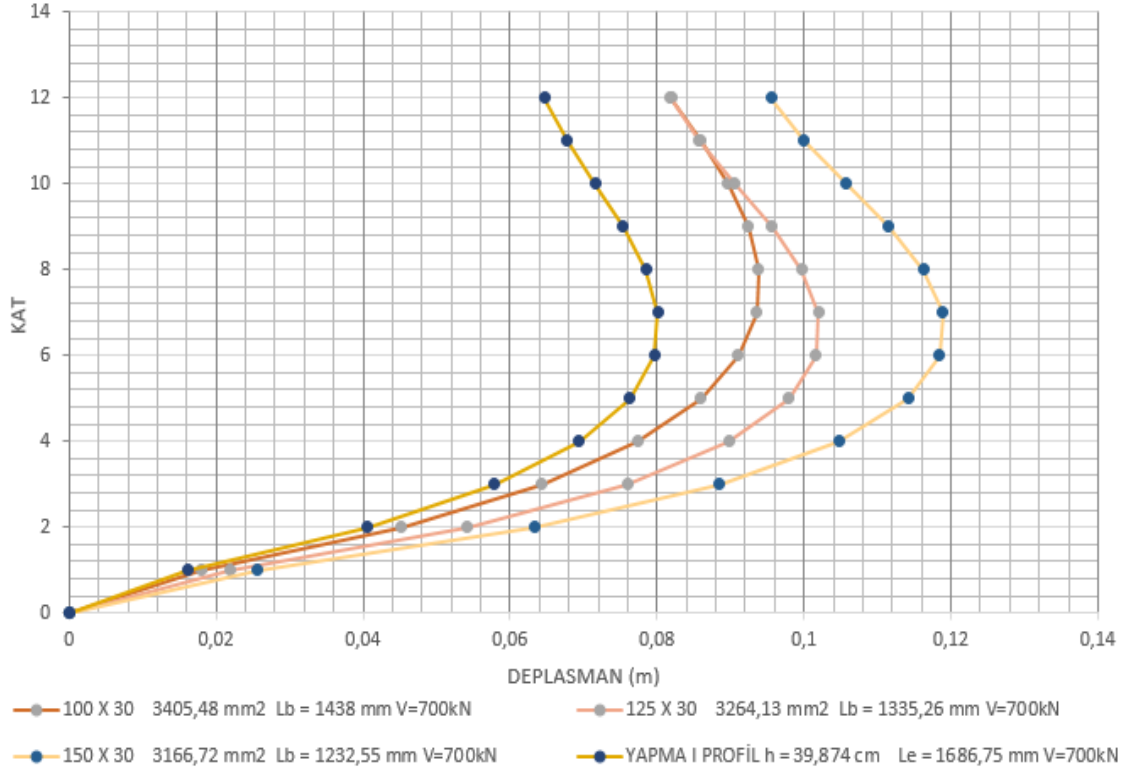
**Grafik 4.10:** 12 katlı binanın 500 kN'a göre tasarlanan kirişlerin katlara göre deplasmanları

600 kN - KAT - DEPLASMAN

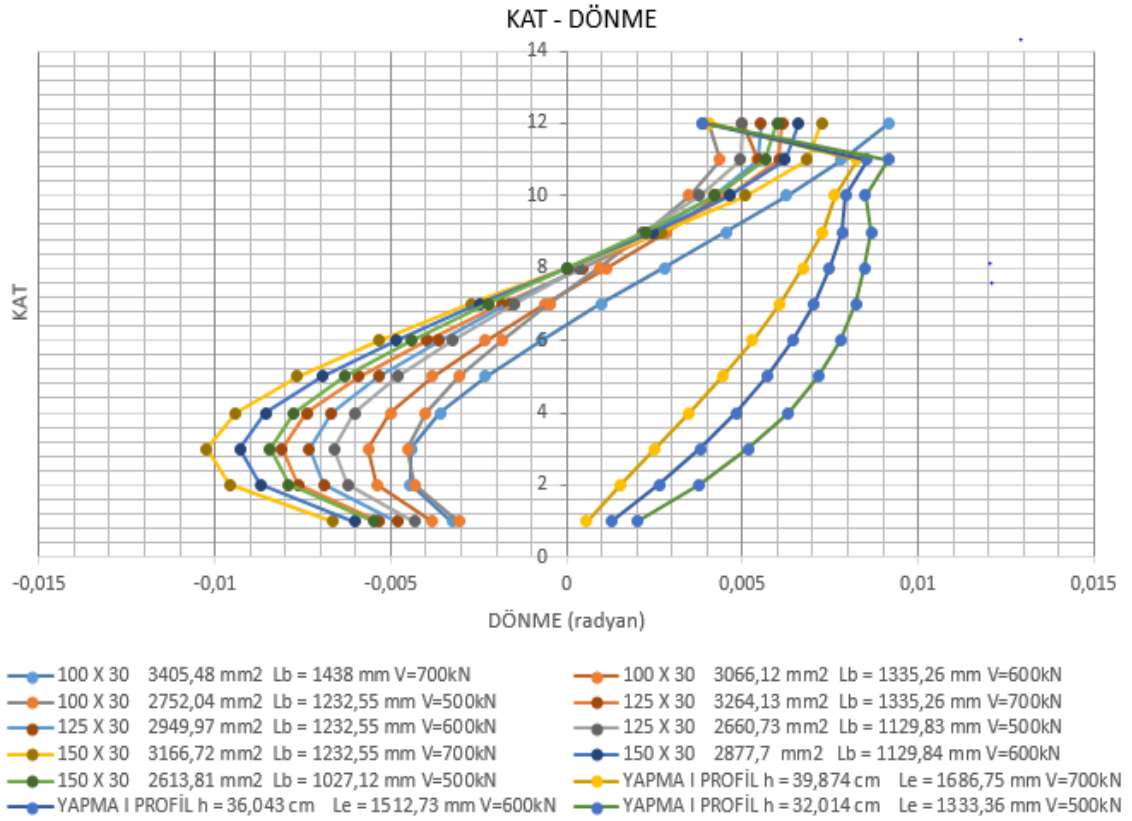


**Grafik 4.11:** 12 katlı binanın 600 kN'a göre tasarlanan kirişlerin katlara göre deplasmanları

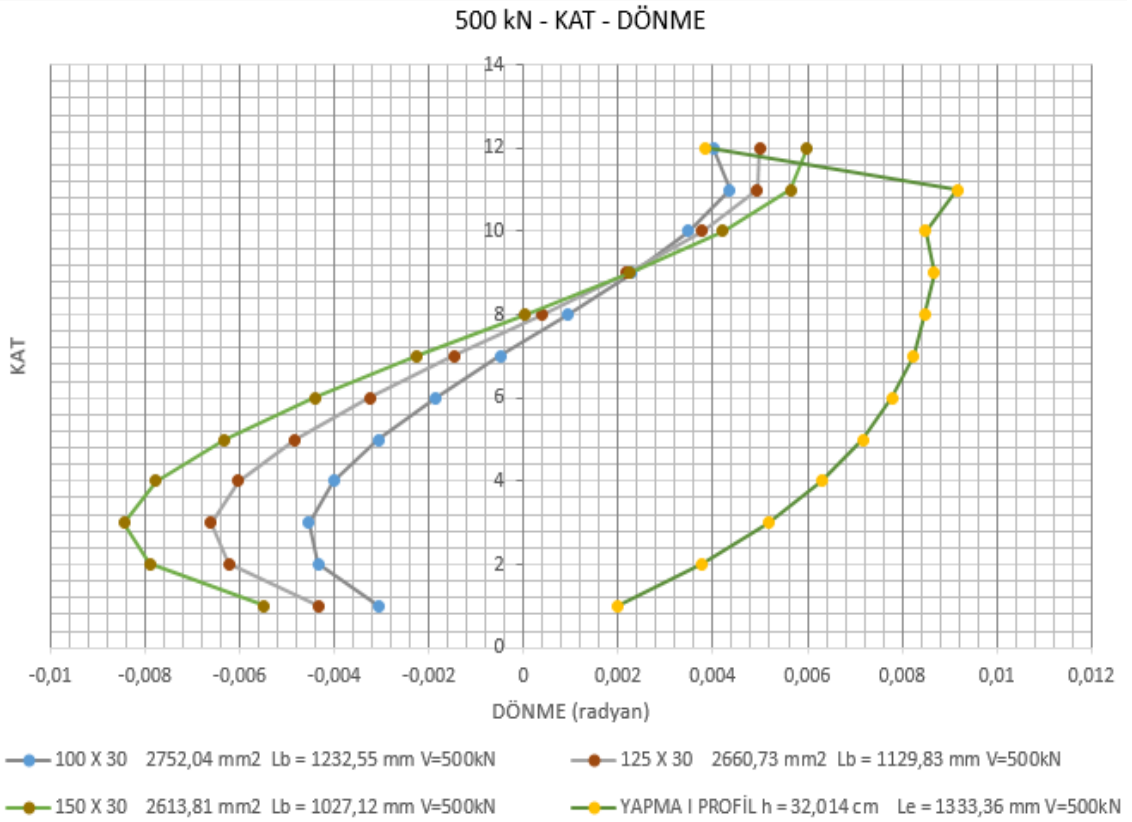
700 kN - KAT - DEPLASMAN



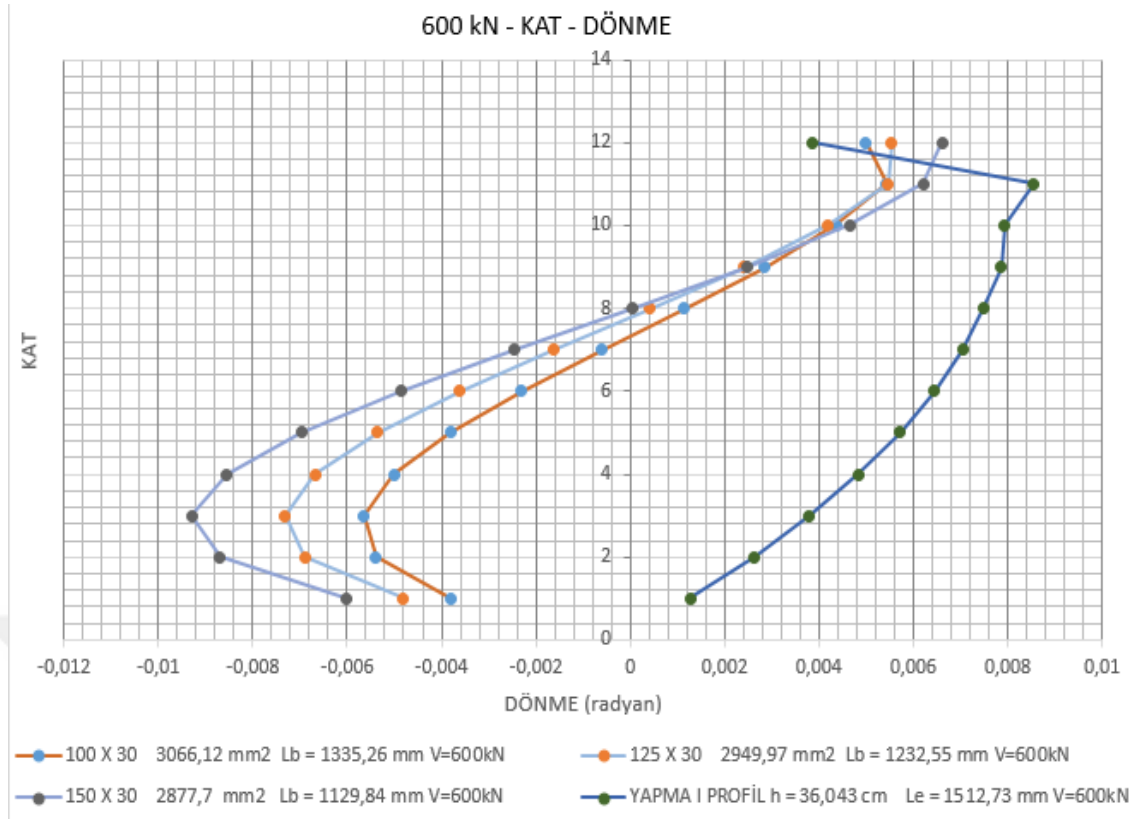
**Grafik 4.12:** 12 katlı binanın 700 kN'a göre tasarlanan kirişlerin katlara göre deplasmanları



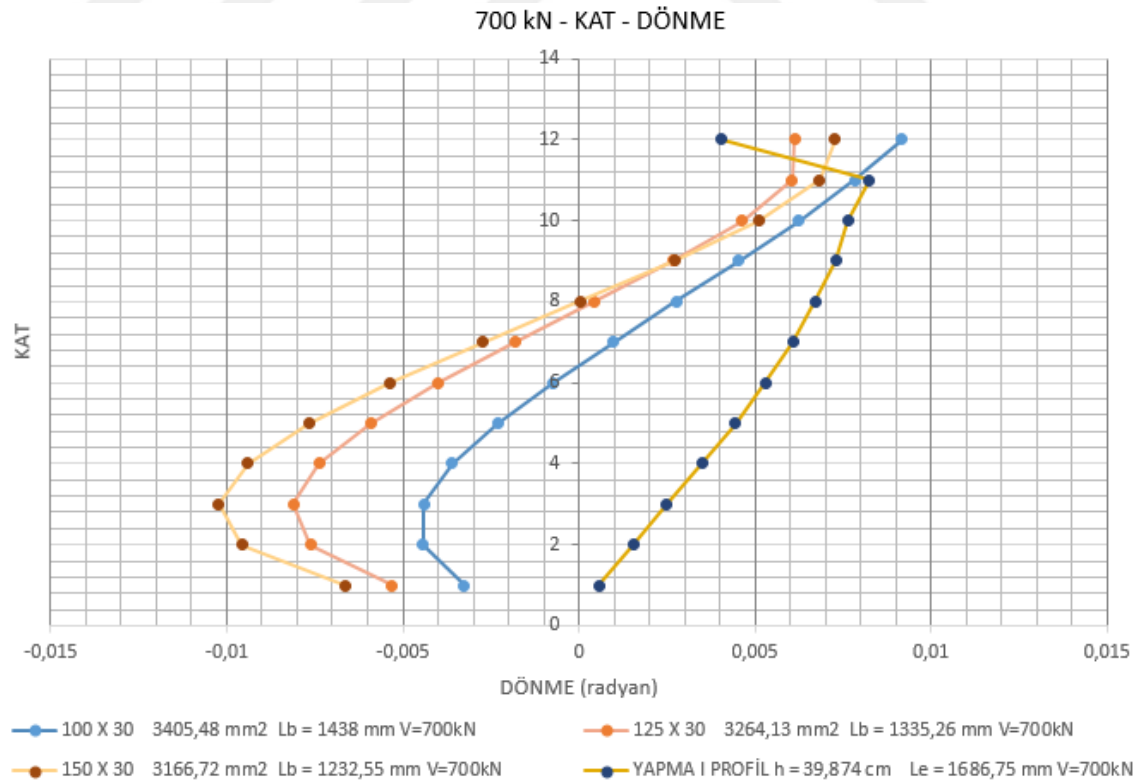
**Grafik 4.13:** 12 Katlı binanın katlara göre dönmeleri



**Grafik 4.14:** 12 katlı binanın 500 kN'a göre tasarlanan kirişlerin katlara göre dönmeleri

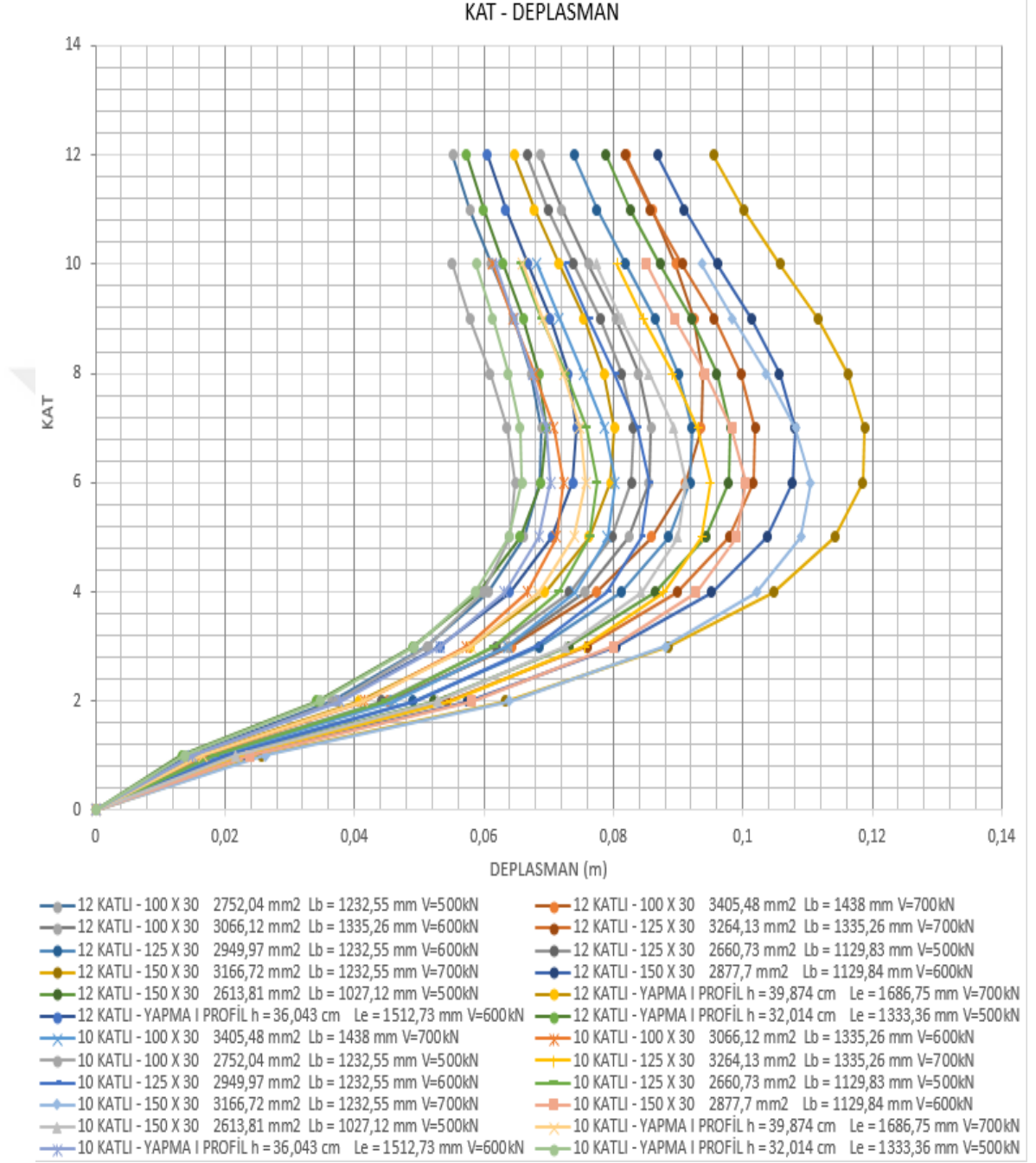


**Grafik 4.15:** 12 katlı binanın 600 kN'a göre tasarlanan kirişlerin katlara göre dönmeleri

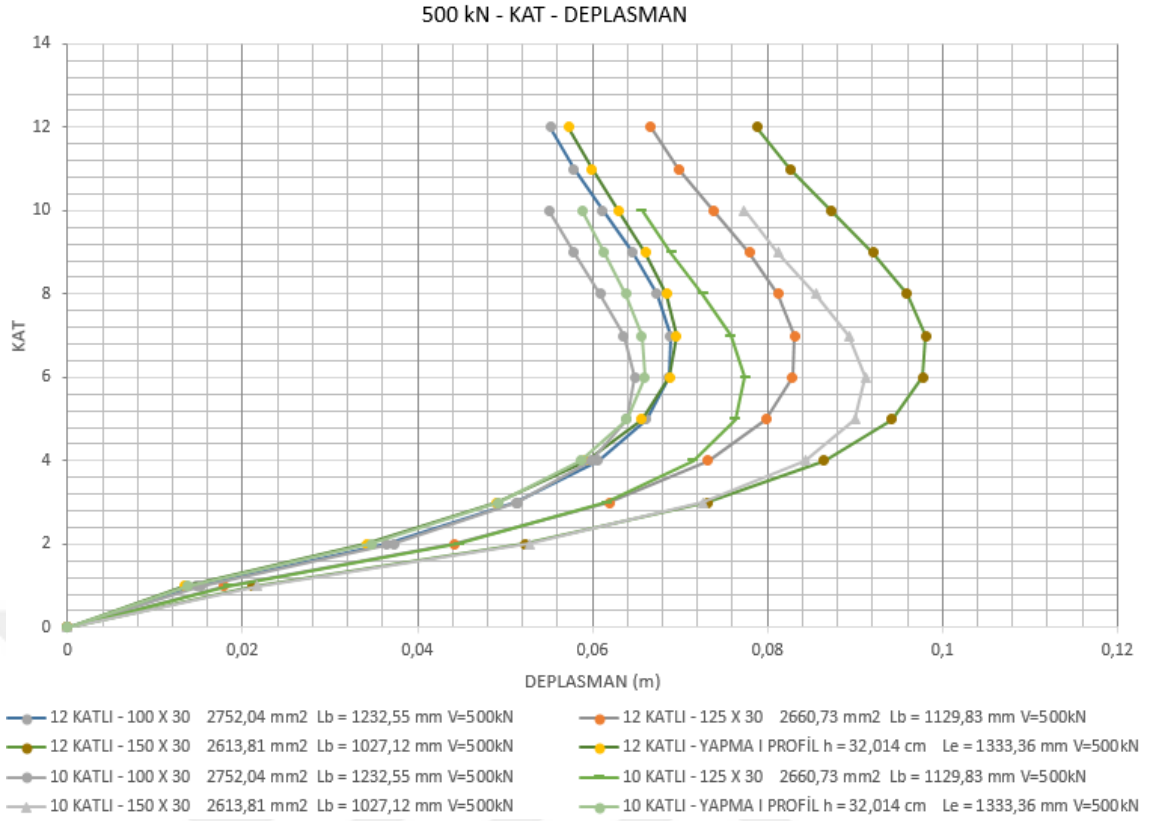


**Grafik 4.16:** 12 katlı binanın 700 kN'a göre tasarlanan kirişlerin katlara göre dönmeleri

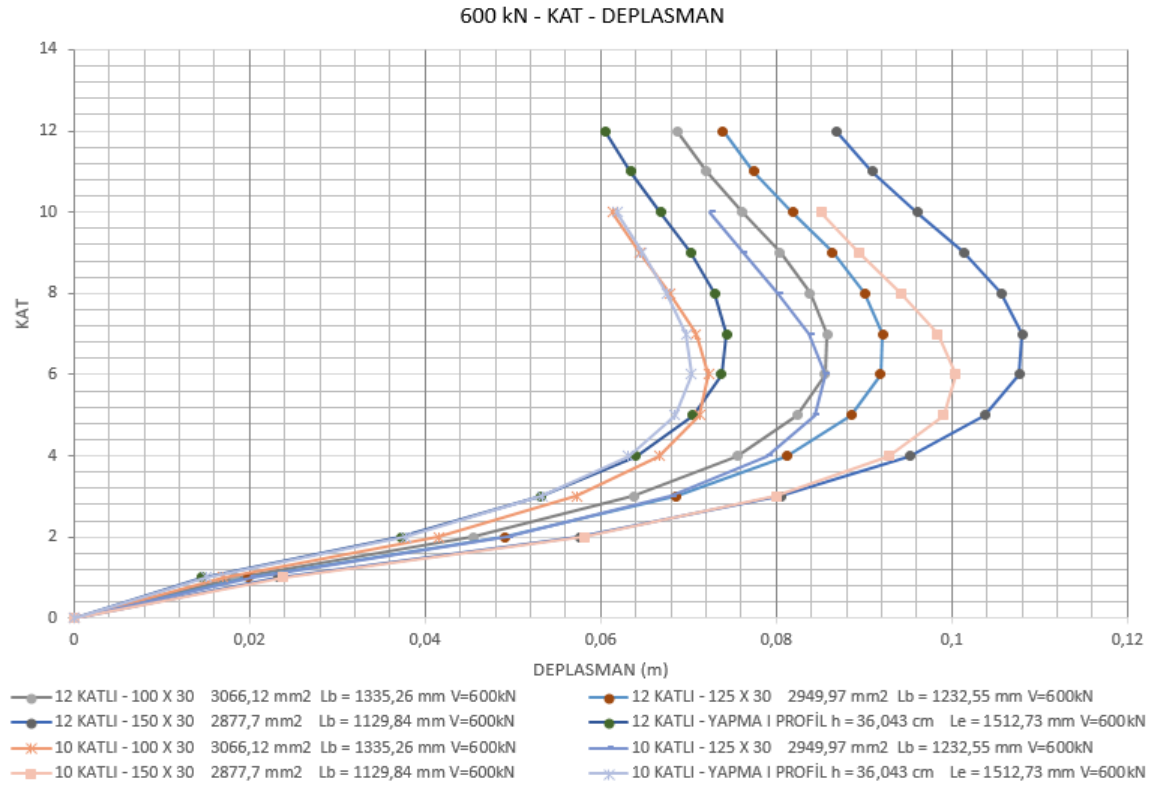
#### 4.3.2. 10 Katlı Bina ile 12 Katlı Binanın Yer değiştirme Grafiklerinin Karşılaştırması



**Grafik 4.17:** 10 katlı bina ile 12 katlı binanın katlara göre deplasmanlarının karşılaştırılması

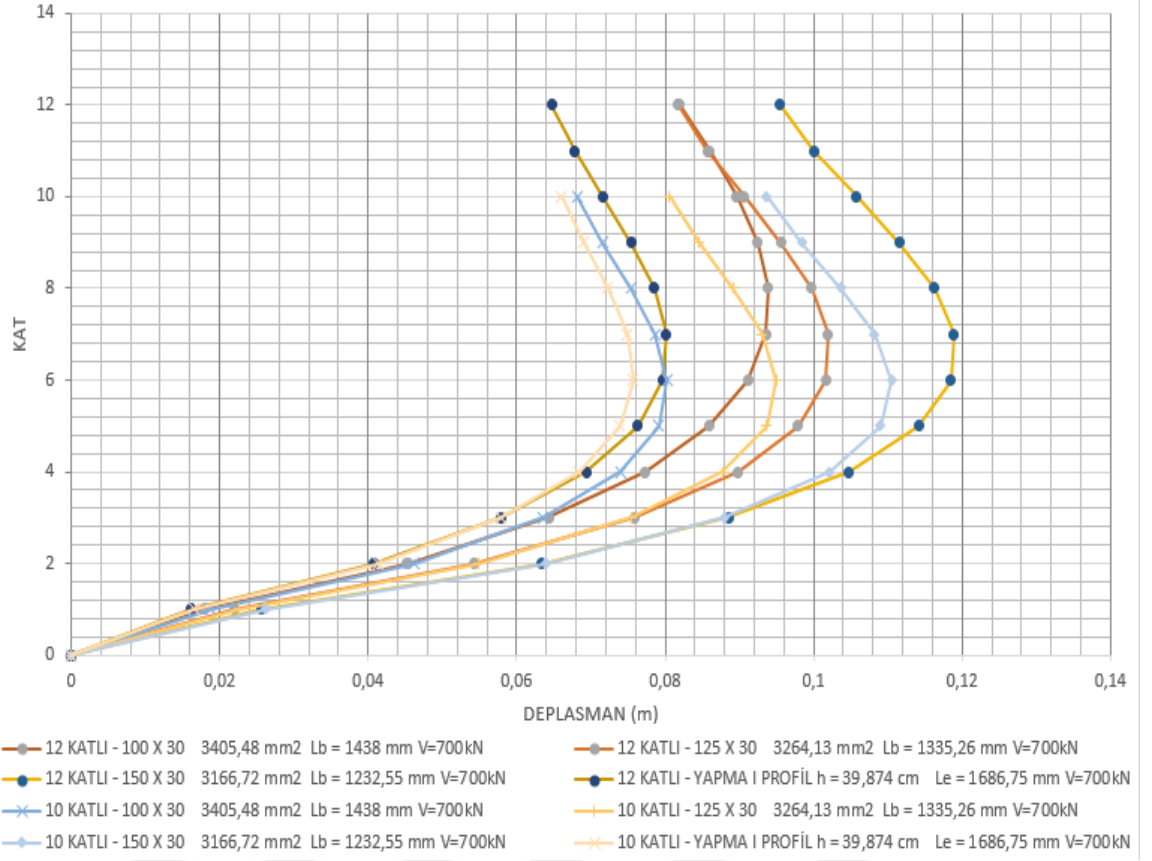


**Grafik 4.18:** 10 katlı bina ile 12 katlı 500 kN'a göre tasarlanan kirişlerin katlara göre deplasmanlarının karşılaştırılması

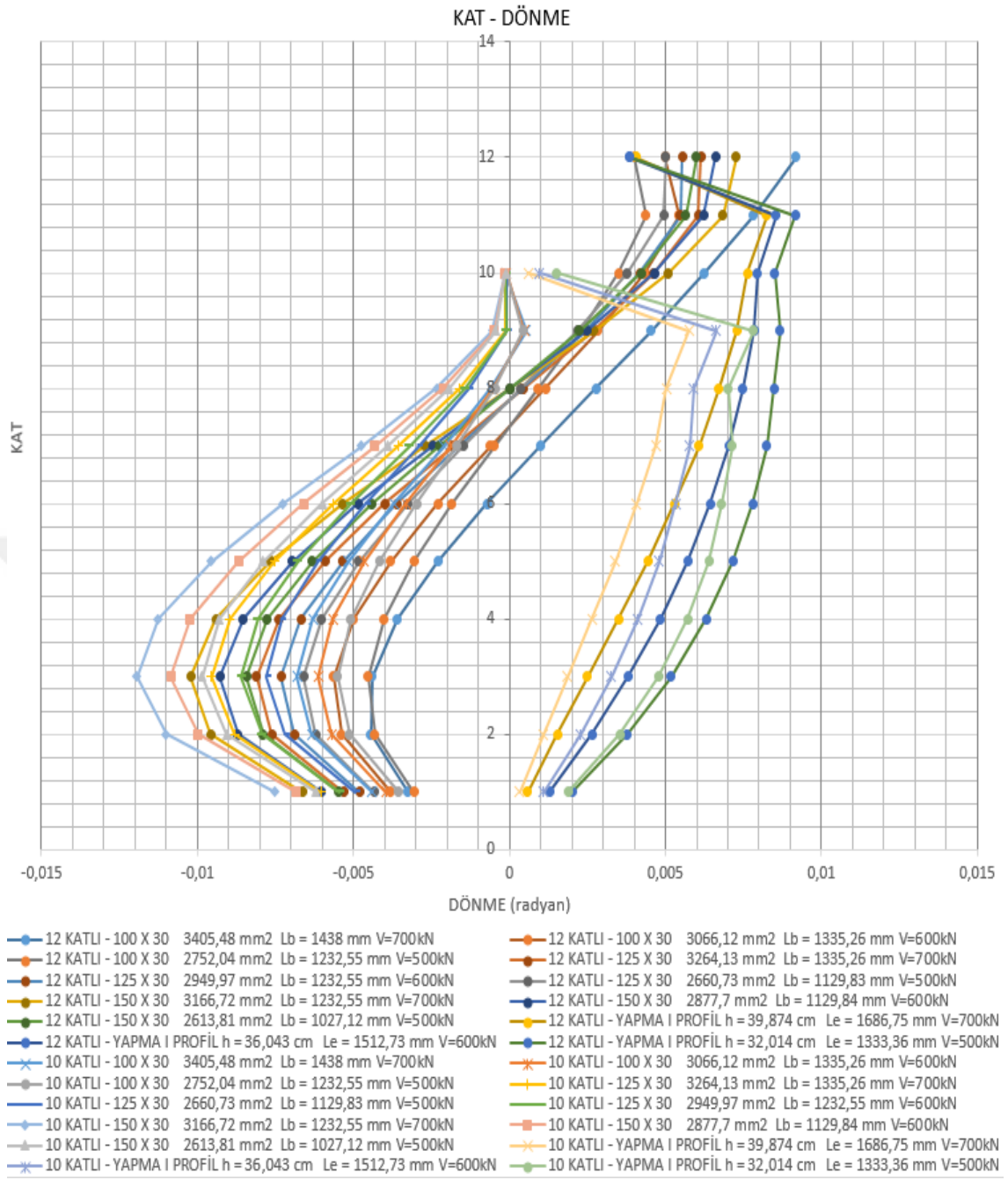


**Grafik 4.19:** 10 katlı bina ile 12 katlı 600 kN'a göre tasarlanan kirişlerin katlara göre deplasmanlarının karşılaştırılması

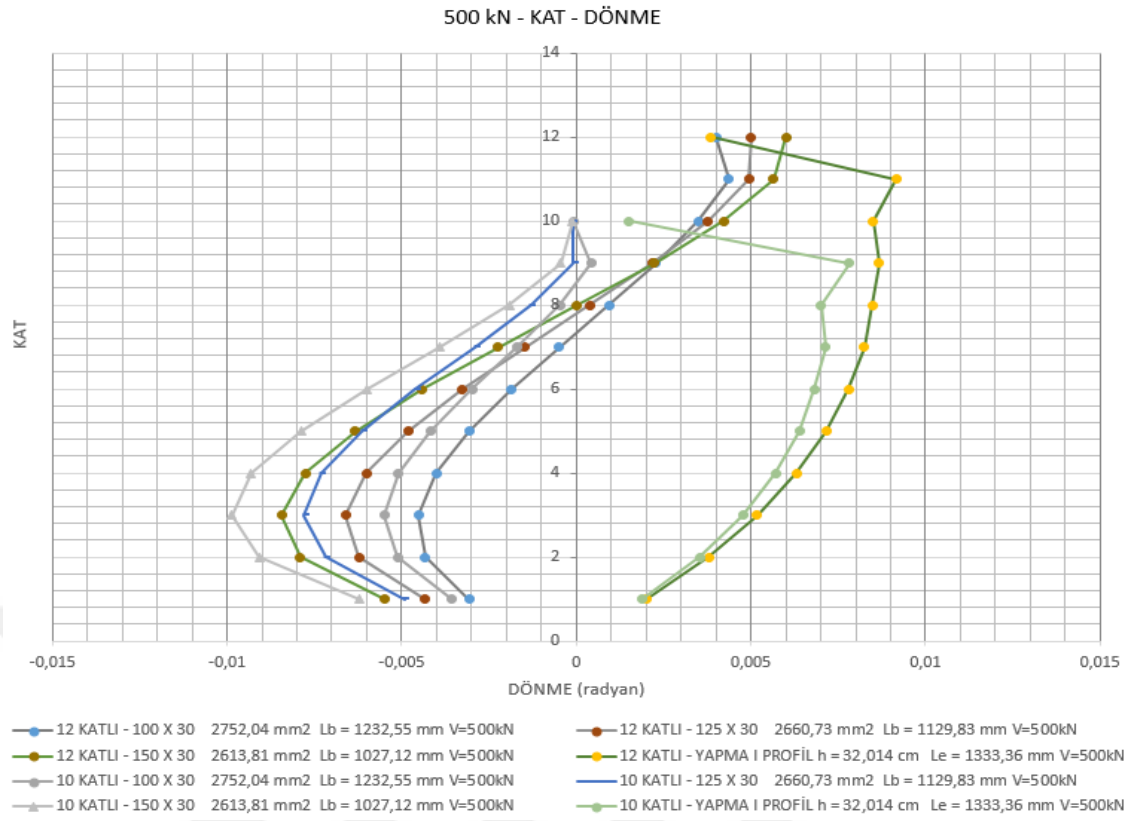
# 700 kN - KAT - DEPLASMAN



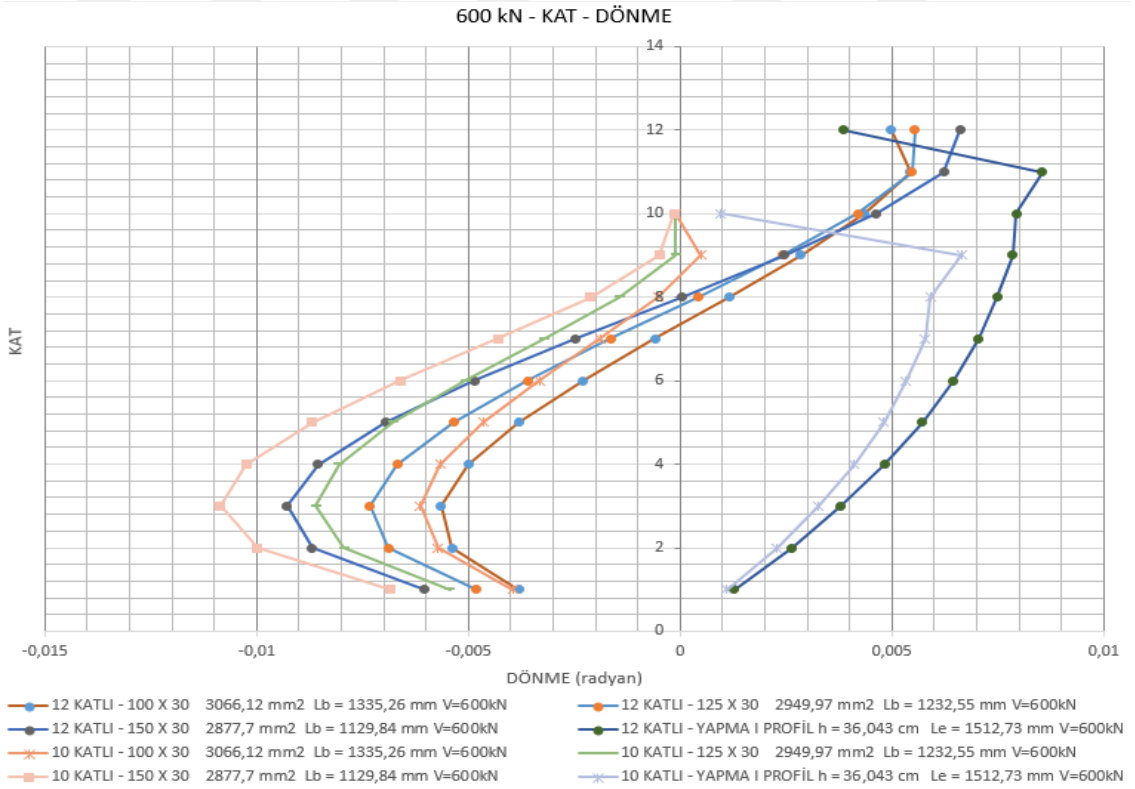
**Grafik 4.20:** 10 katlı bina ile 12 katlı 700 kN'a göre tasarlanan kirişlerin katlara göre deplasmanlarının karşılaştırılması



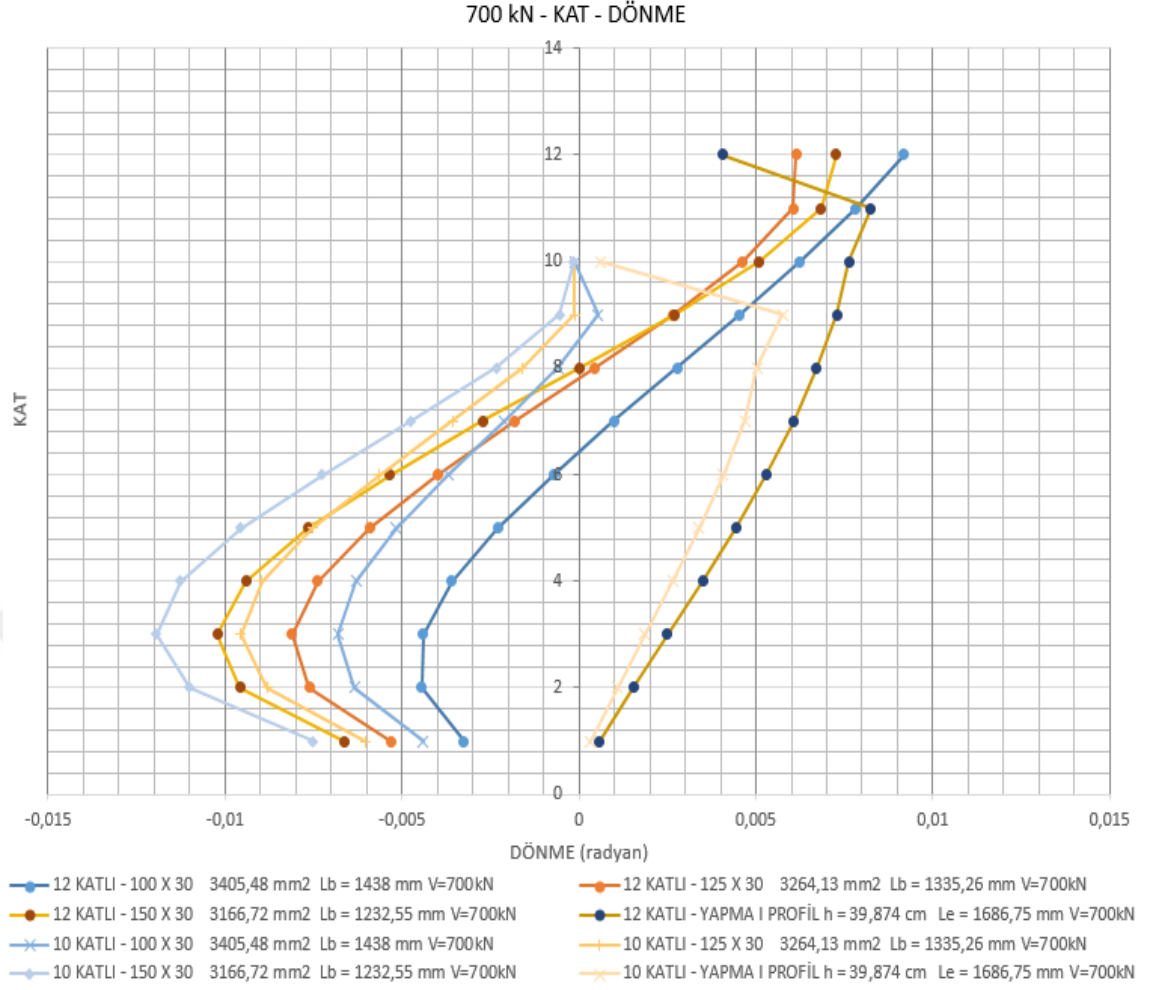
**Grafik 5.21:** 10 katlı bina ile 12 katlı binanın katlara göre dönmelerinin karşılaştırılması



**Grafik 4.22:** 10 katlı bina ile 12 katlı 500 kN'a göre tasarlanan kirişlerin katlara göre dönmelerinin karşılaştırılması



**Grafik 4.23:** 10 katlı bina ile 12 katlı 600 kN'a göre tasarlanan kirişlerin katlara göre dönmelerinin karşılaştırılması



**Grafik 4.24:** 10 katlı bina ile 12 katlı 700 kN'a göre tasarlanan kirişlerin katlara göre dönmelerinin karşılaştırılması

**Tablo 4.1:** Bağ kirişlerine ait donatı detayı ve malzeme özellikleri

|               | L <sub>b</sub> , L <sub>e</sub> (mm) | A (mm <sup>2</sup> ), | f <sub>c</sub> ' (MPa) | V (kN) | F <sub>y</sub> (MPa) |
|---------------|--------------------------------------|-----------------------|------------------------|--------|----------------------|
| h = 100 cm    | 1232,55                              | 2752,04               | 30                     | 500    | S420                 |
| h = 125 cm    | 1129,83                              | 2660,73               | 30                     | 500    | S420                 |
| h = 150 cm    | 1027,12                              | 2613,81               | 30                     | 500    | S420                 |
| h = 32,014 cm | 1333,36                              | 15004,2               | 30                     | 500    | S355JR               |
| h = 100 cm    | 1335,26                              | 3066,12               | 30                     | 600    | S420                 |
| h = 125 cm    | 1232,55                              | 2949,97               | 30                     | 600    | S420                 |
| h = 150 cm    | 1129,84                              | 2877,7                | 30                     | 600    | S420                 |
| h = 36,043 cm | 1512,76                              | 16201,29              | 30                     | 600    | S355JR               |
| h = 100 cm    | 1438                                 | 3405,48               | 30                     | 700    | S420                 |
| h = 125 cm    | 1335,26                              | 3264,13               | 30                     | 700    | S420                 |
| h = 150 cm    | 1232,55                              | 3166,72               | 30                     | 700    | S420                 |
| h = 39,874 cm | 1686,75                              | 17362,2               | 30                     | 700    | S355JR               |

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, bağ kirişli boşluklu perde duvarlı yapıların tasarımını bağ kirişlerinin betonarme perdeye gömülen kısımlarının bağ kirişi yüksekliğine göre geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bunun için SAP2000’de iki boyutta 10 katlı ve 12 katlı bağ kirişli yapılar ASCE 7-16’ya göre modellenerek incelenmiştir. Betonarme bağ kirişi TBDY-2018 deprem yönetmeliğine göre, çelik bağ kirişi ise ANSI/AISC 341-16 yönetmeliğine göre tasarlanarak donatı miktarları, eleman boyutları, gömülü derinlikleri taşıma kuvvetine göre kesit dayanımları tahkik edilmiştir. Yapıya doğrusal olmayan statik itme (push over) analizi ile yapının performansı belirlenmiştir.

Aynı yüksekliklerdeki yapılara etkiyen eşdeğer deprem yükü altında (bağ kirişlerinin boyutları değiştirilerek) kat düzeylerine gelen kesme kuvvetlerinin ve bağ kirişlerinin maruz kaldığı kesme kuvvetlerinin kesitlere göre değişimlerinin çok küçük olduğu görülmüştür. Fakat betonarme kirişlerde aynı kesitte olup farklı donatı miktarına sahip bağ kirişlerinin deplasman ve dönmelerinin farklı olduğu bulgusu elde edilmiştir. Aynı şekilde betonarme ve çelik bağ kirişlerinin aynı kesme kuvveti altında farklı dönme ve deplasman değerlerine sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Yapılan çalışma neticesinde binanın ve bağ kirişlerinin tasarımı, TBDY-2018 ve uluslararası yönetmeliklere ek olarak tasarım kılavuzları ile konu üzerinde yapılan çalışmalarda deneylere dayanan formüller göz önüne alınarak tasarlanan binanın;

- Çelik bağ kirişlerinin aynı kesme kuvvetine göre tasarlandığı halde çelik bağ kirişi yüksekliği betonarme bağ kirişi yüksekliğine göre daha kısa olduğu için kat yüksekliğini az etkilediğinden çelik bağ kirişi betonarme bağ kirişinin yerine tercih edilebilir.
- Betonarme bağ kirişinin plastik mafsall oluşumu, çelik bağ kirişine göre daha fazladır.
- Çelik bağ kirişleri, yapıya betonarme bağ kirişlerine göre daha rijit bir performans sergilemiştir.

- Betonarme bağ kirişlerinin yüksekliği arttıkça yapının daha sünek bir performans sergilediği görülmüştür.
- Betonarme bağ kirişlerinin boyutları arttıkça çapraz donatılarının gömülü derinliği azalmakta, çelik bağ kirişlerinin boyutları arttıkça gömülü çelik profil derinliği artmaktadır.
- Betonarme bağ kirişleri, çelik bağ kirişlerine göre daha fazla dönme yapmaktadır.
- Bağ kirişli perde duvarlı sistemlerde, binanın orta katlarında deplasmanlar daha fazla olduğu fark edilmiştir.
- Çelik bağ kirişli boşluklu perde sisteminde binanın en üst katındaki kamçı etkisi, betonarme bağ kirişli boşluklu perde sistemine göre daha etkili olduğu fark edilmiştir.

## 6. KAYNAKÇA

**ACI 318-19**, (2019)., Building Code Requirements for Structural Concrete  
(ACI 318-19), American Concrete Institute.

**Altunışık A.C.**, (2019)., Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) Genel  
Konular ve Uygulama Örnekleri, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası.

**ANSI/AISC 341-16**, (2016)., Seismic Provisions for Structural Steel Buildings,  
Chicago.

**ASCE/SEI 7-16**, (2017)., Minimum Design Loads and Associated Criteria for  
Buildings and Other Structures, Virginia.

**Ayazoğlu, R.**, (2015)., Sürtünmeye Dayalı Sönümleyiciler İle Bağlı Betonarme Perde  
Duvarlı Yüksek Binaların Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik  
Üniversitesi.

**Demir, M.R.** (2008)., Boşluklu Perdelerin Modellenmesi, Yüksek Lisans  
Tezi, Gazi Üniversitesi.

**El-Tawil, S. ve ark.**, (2009)., Recommendations For Seismic Design Of Hybrid  
Coupled Wall Systems, The Structural Engineering Institute (SEI) of the American  
Society of Civil Engineers.

**Foroughi S.**, (2016)., Bağ Kirişli (Boşluklu) Sismik Davranışlarının Araştırılması,  
Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi.

**Genç O.**, (2009)., Boşluklu Perdeli Yapı Sistemlerinde Güçlendirici Kiriş Etkisinin  
İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi

**Harries K.A. ve ark.**, (1992)., Concrete Walls Coupled By Ductile Steel Link Beams,  
Earthquake Engineering, Tenth World Conference, Balkema, Rotterdam.

**Harries K.A. ve ark.,** (2000)., Behavior and Design of Reinforced Concrete, Steel and Steel-Concrete Coupling Beams.

**Narticles, Ed. Mustafa Erkan., 2 Mayıs 2020.,**

<<https://www.2n.com.tr/Narticles/Performans%20Analizi.pdf>>

**TBDY – 2018,** (2018). Türk Bina Deprem Yönetmeliği

**Yapı Mühendisliği, Ed. Doç. Dr. Bilge Doran., 3 Ağustos 2020.,**

<<https://docplayer.biz.tr/10732062-1-perdeli-sistemler-statik-ve-betonarme-kesit-hesaplari.html>>

**Jlang J. ve ark.,** (2017)., Seismic behavior of coupled shear wall structures with various concrete and steel coupling beams, The Structural Design of Tall and Special Buildings.

**Sowmya, B. ve Chandra, M.S.,** (2014)., Behaviour of Coupled Shear Walls in Multi-Storey Buildings, International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT).

## 7. ÖZGEÇMİŞ

**Ad-Soyad:** Batuhan SERİNKAN

**Doğum Tarihi ve Yeri:** 1994 - İstanbul

**E-posta:** serinkan\_batuhan@hotmail.com

### ÖĞRENİM DURUMU:

**Lisans:** 2017, Gümüşhane Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği

### Mesleki Deneyimler:

Proje Grup - Saha Mühendisi ( 01.07.2017 - 30.03.2018 )

Artyol Yapı Güçlendirme - Şantiye Şefi ( 02.04.2018 - 31.08.2019 )

Proje Grup - Şantiye Şefi ( 01.09.2019 - )